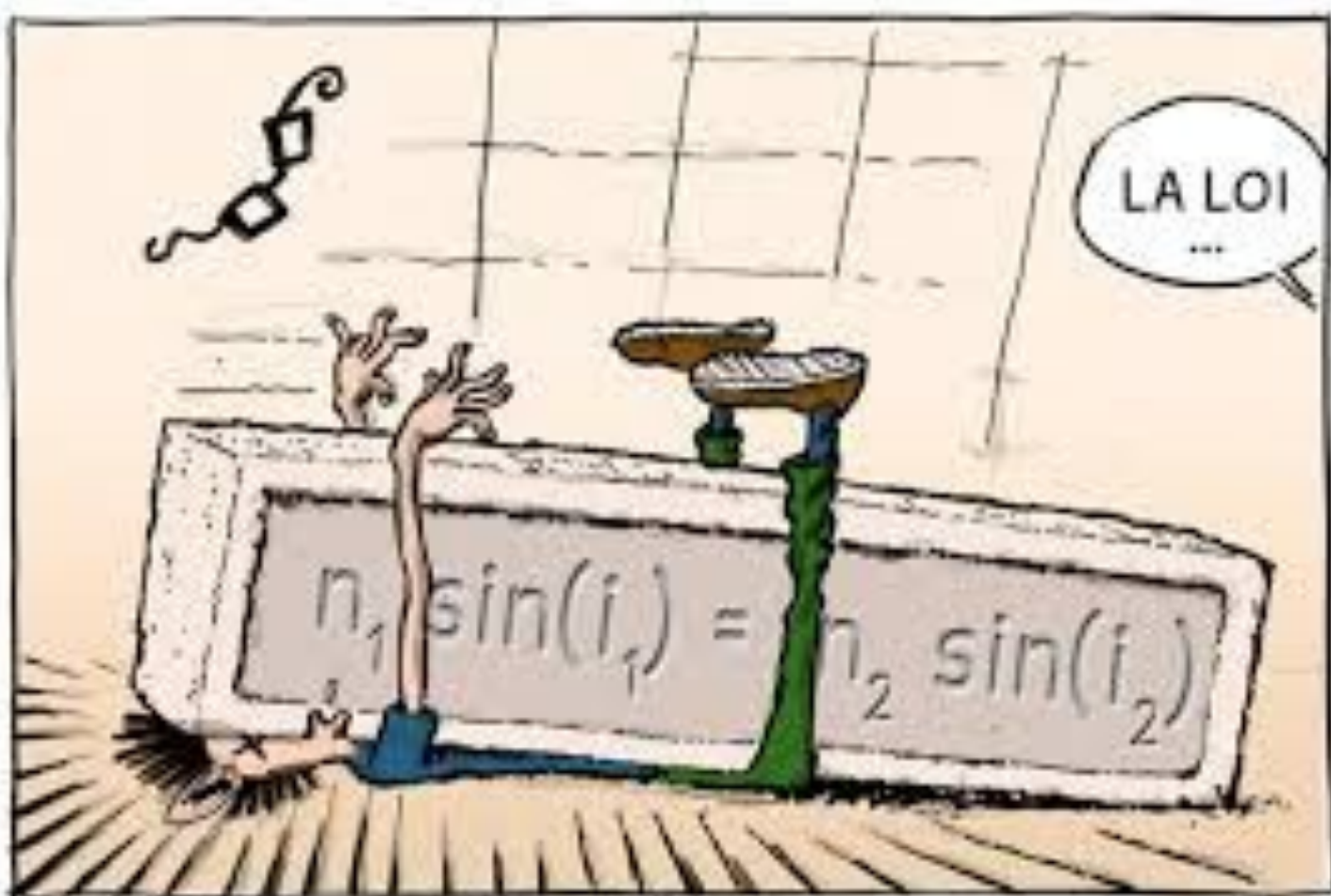


Physics Education Laboratory Lecture 15

Content Knowledge for Optics
and Acoustics

Francesco Longo - 04/12/23

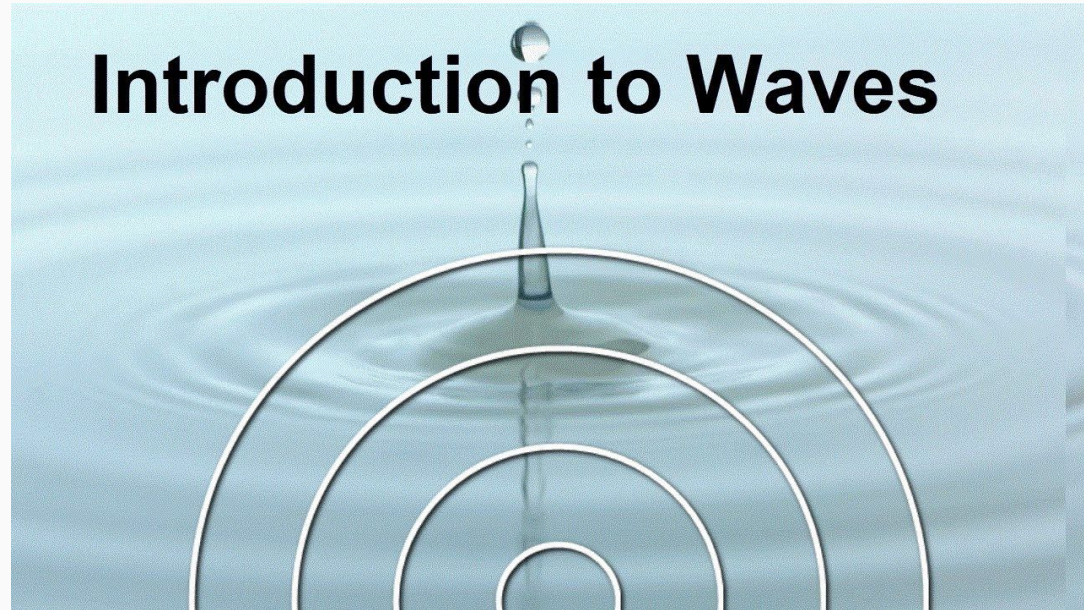


Geometric optics is when we treat light as a single beam (A ray) and study the properties. It deals with lenses, mirrors, phenomenon of total internal reflection, formation of rainbows, etc etc. In this case, the wavelike properties of light become insignificant as the objects we deal with are very huge as compared to the wavelength of light.

In **physical optics**, we consider the wave like properties of light and develop the more advanced concepts on the basis of Huygens' principle. We would deal with Young's double slit experiment and consequently with interference of light which is a characteristic of waves. We also deal with polarization and Diffraction which are also typical wavelike properties. Diffraction happens only when the obstacle's size is of the order of the wavelength of light. Maxwell's electromagnetic theory put the wave theory of light on a very firm footing. It is to be noted that reflection and refraction are explained by physical optics as well.

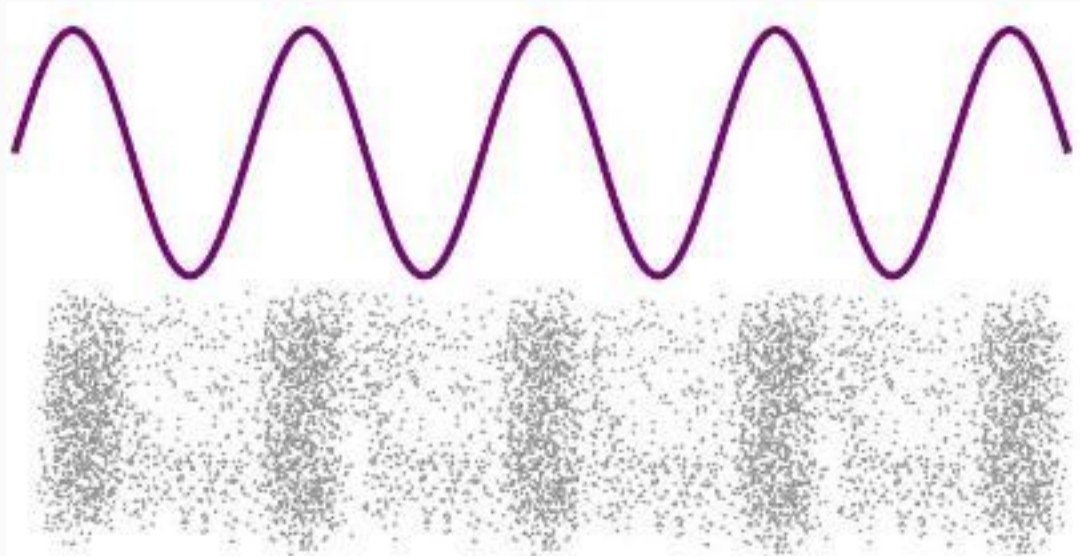
Key Concepts in Wave Physics

- Nature of Waves
- Propagation - Perturbation
- Wave equation
- Waves phenomena
- Huygens' principle



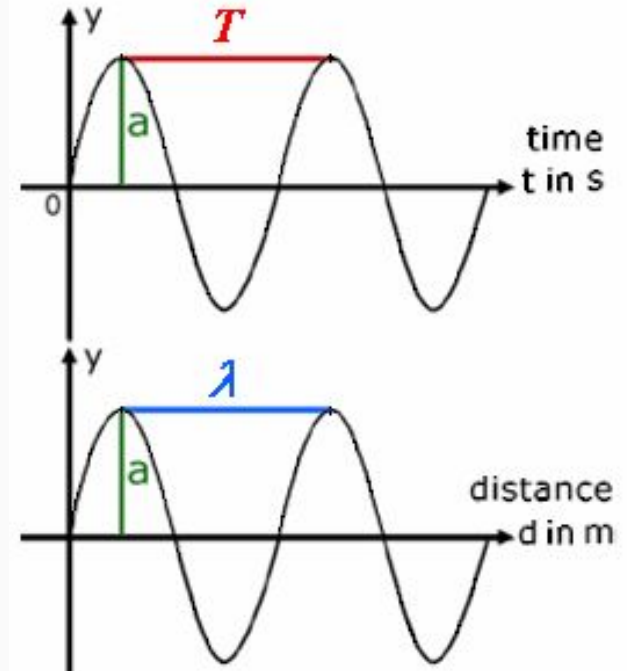
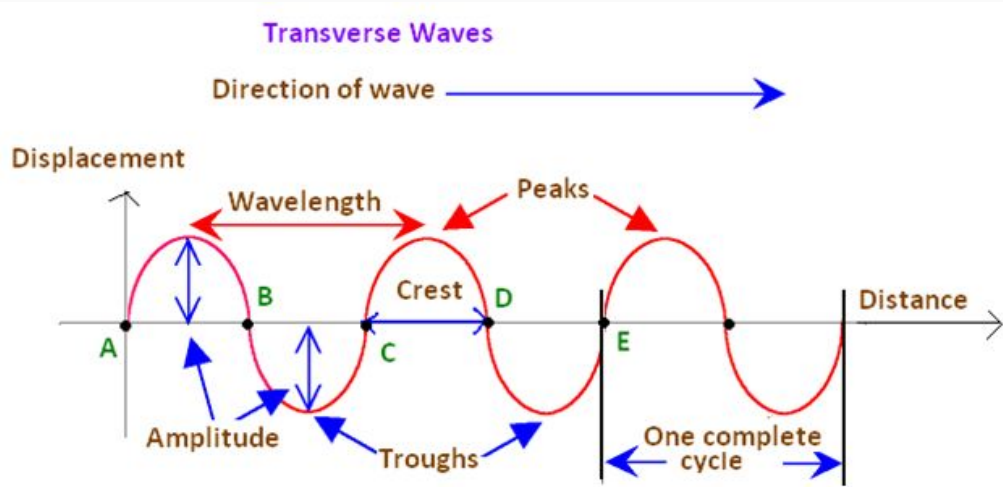
Key Concepts in Wave Physics

- Transverse vs Longitudinal waves



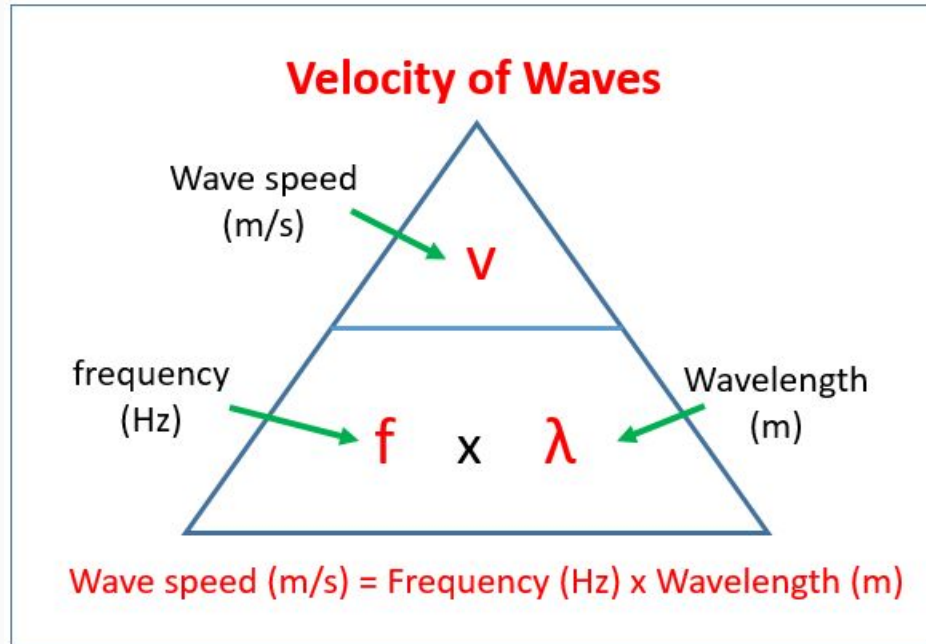
Key Concepts in Wave Physics

- Propagation / Disturbance
- Amplitude, Wavelength, Frequency, Period



Key Concepts in Wave Physics

- Velocity of wave



Key Concepts in Wave Physics

- Wave equation (how?)

The wave equation

Let $y = f(x')$, where $x' = x \pm vt$. So $\frac{\partial x'}{\partial x} = 1$ and $\frac{\partial x'}{\partial t} = \pm v$

Now, use the chain rule: $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x'} \frac{\partial x'}{\partial x}$ $\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial x'} \frac{\partial x'}{\partial t}$

So $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x'}$ $\Rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial x'^2}$ and $\frac{\partial y}{\partial t} = \pm v \frac{\partial f}{\partial x'}$ $\Rightarrow \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x'^2}$

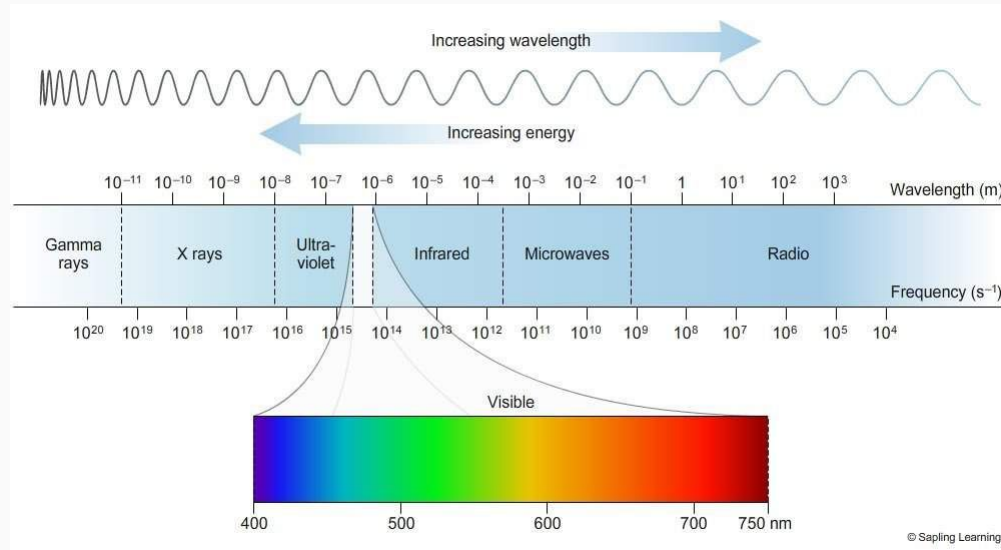
Combine to get the 1D differential wave equation:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

works for anything that moves!

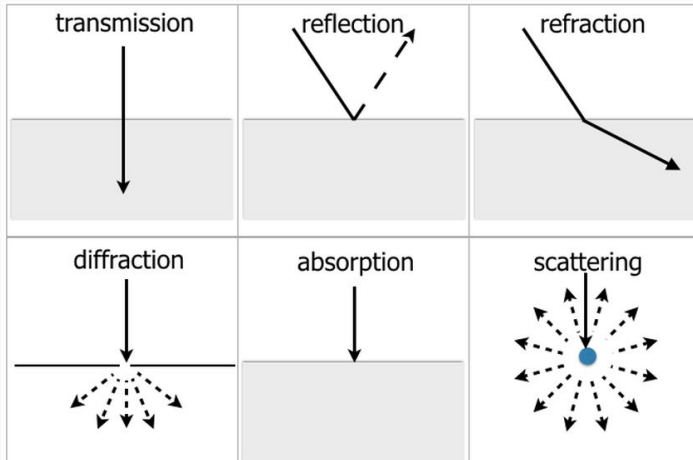
Key Concepts in Wave Physics

- The Electromagnetic spectrum

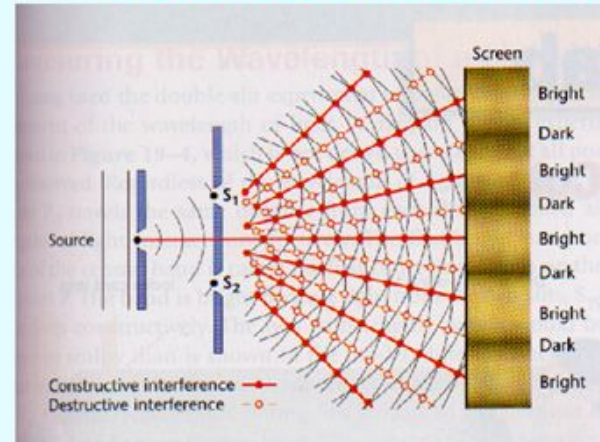


Key Concepts in Wave Physics

- Waves phenomena
- Interference
- Reflection and Refraction



Interference of Waves

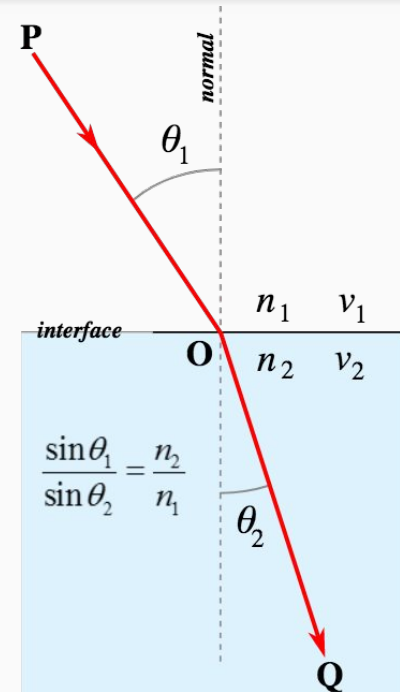
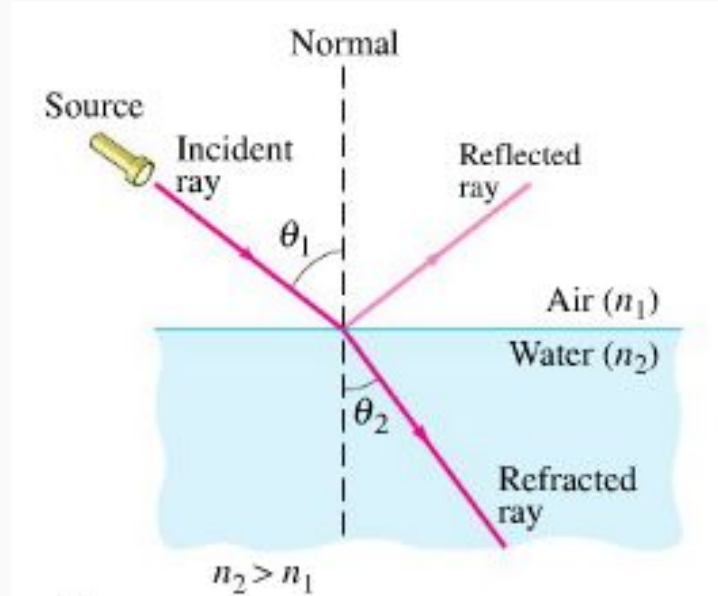


Constructive makes bright bands, destructive makes dark bands.

Where crest meets crest or trough meets trough, we have constructive interference.
Crest plus trough cause destructive interference.

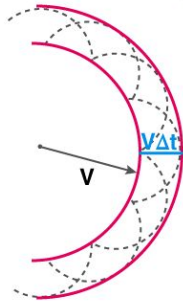
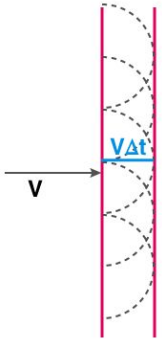
Key Concepts in Wave Physics

- Snell's law

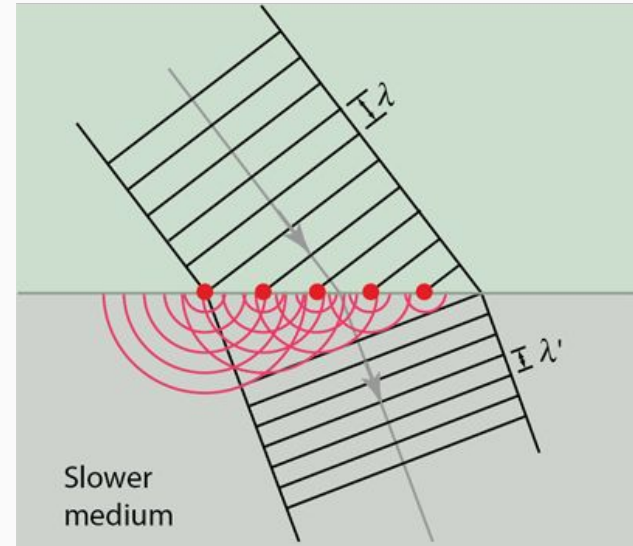
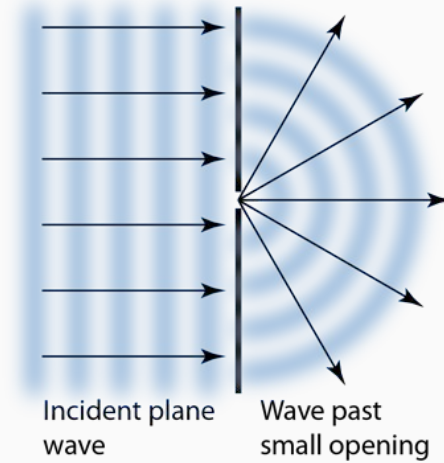


Key Concepts in Wave Physics

- The Huygens' principle



BYJU'S
The Learning App



Key Concepts in Wave Physics

- Acoustic waves
- Intensity of sound

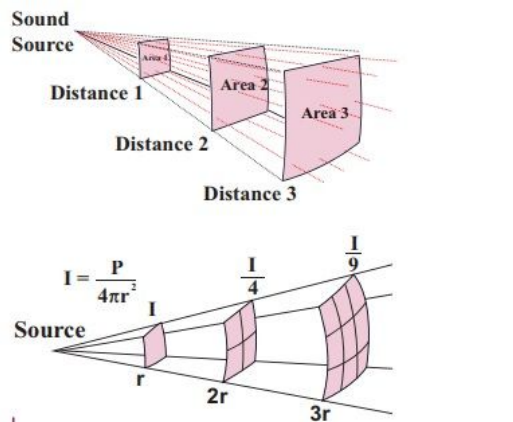
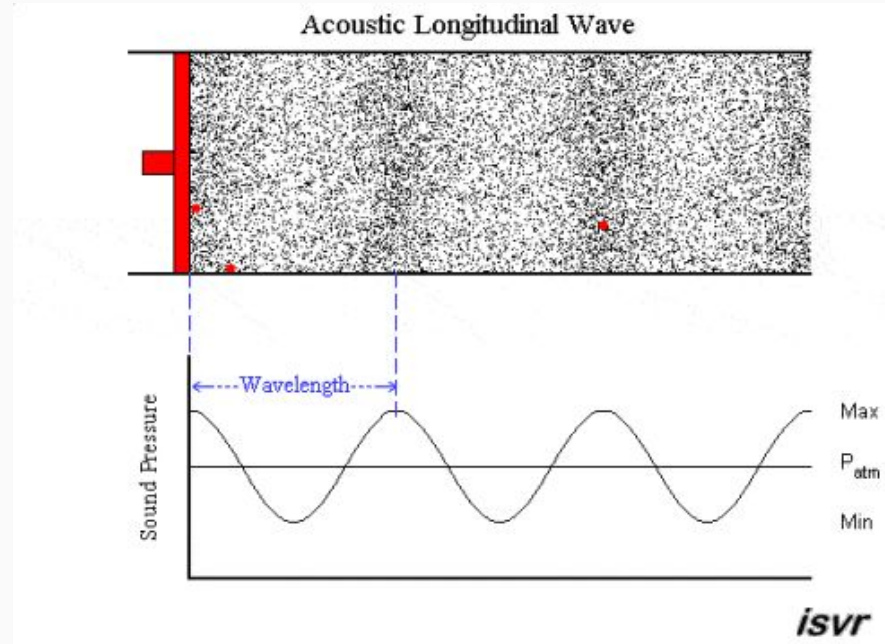
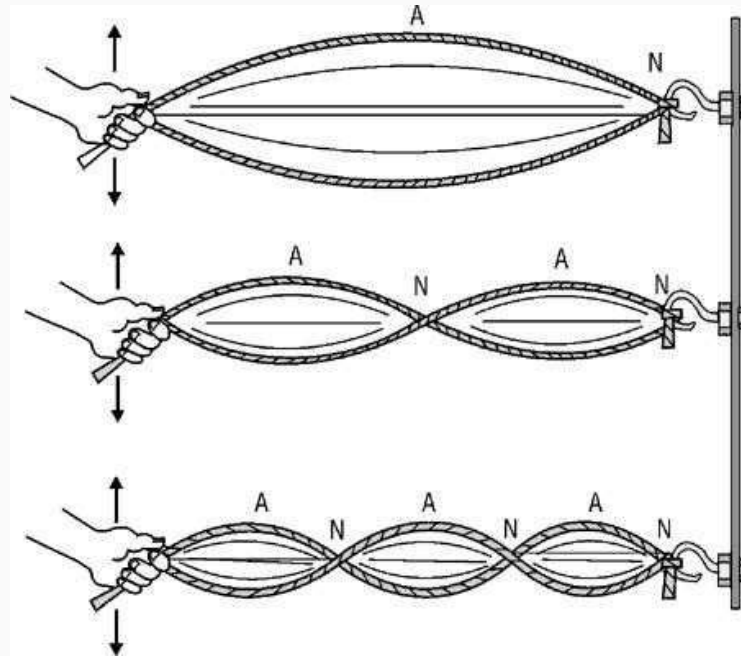


Figure 11.35 Intensity of sound waves



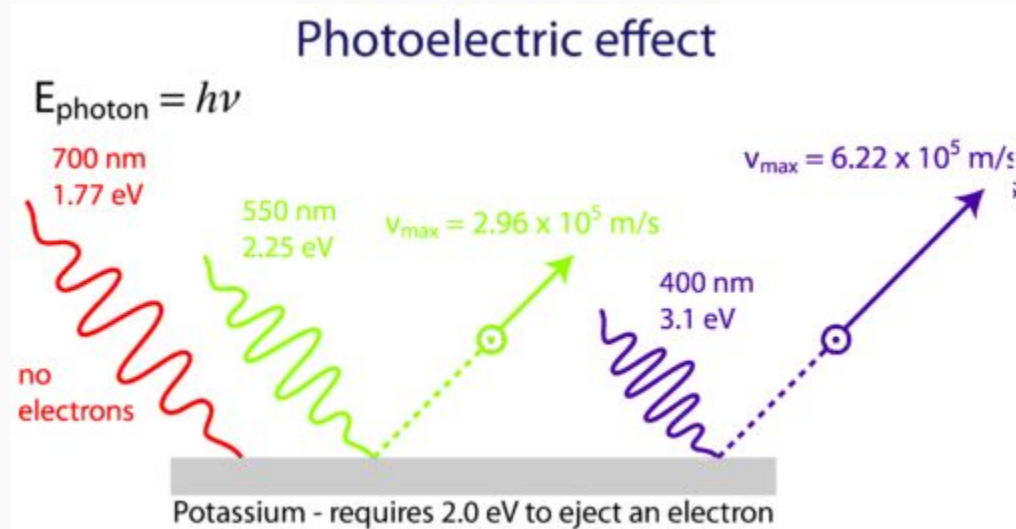
Key Concepts in Wave Physics

- Stationary waves



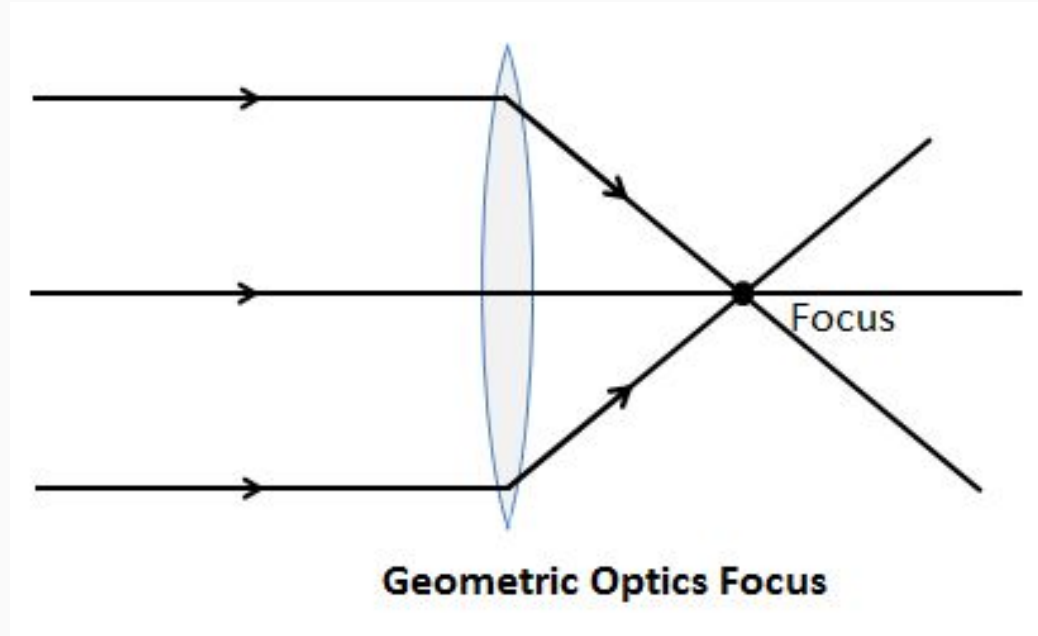
Key Concepts in Wave Physics

- Energy transported by waves



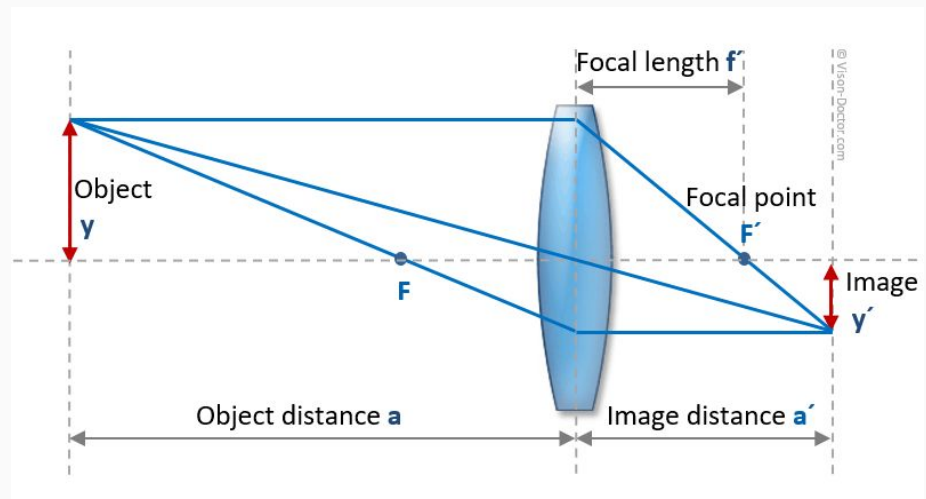
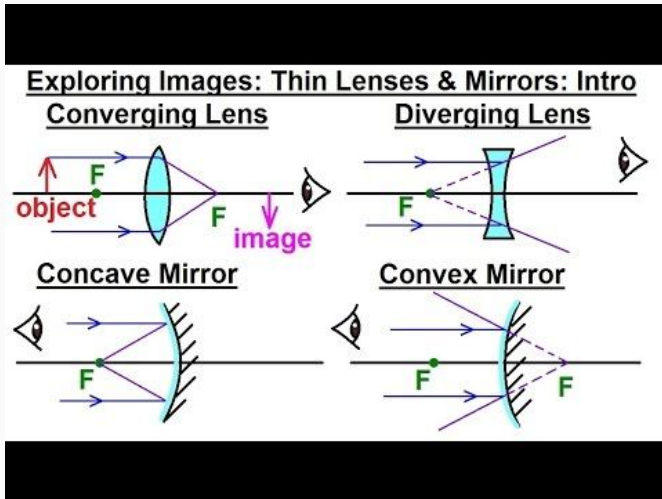
Key Concepts in Geometrical Optics

- Mirrors
- Lenses
- Prisms



Key Concepts in Geometrical Optics

- Image / Object
- Rays



Key Concepts in Geometrical Optics

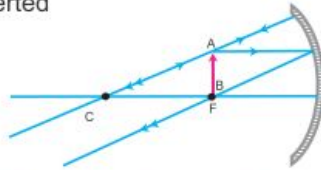
- Mirrors

Images Formed by Concave Mirror

Position of Object: at F

Position of Image: at infinity

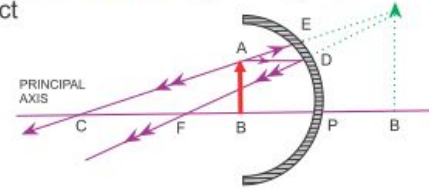
Properties of the image: highly enlarged, real and inverted



Position of Object: between F and P

Position of Image: behind the mirror

Properties of the image: enlarged, virtual and erect

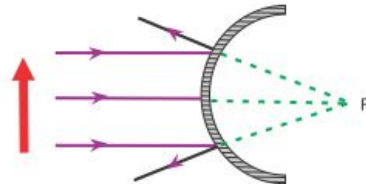


Images Formed by Convex Mirror

Position of Object: at infinity

Position of Image: at F behind the mirror

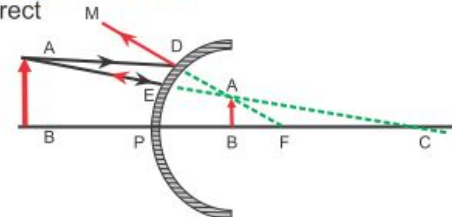
Properties of the image: highly diminished, virtual and erect



Position of Object: between infinity and pole

Position of Image: behind the mirror

Properties of the image: diminished, virtual and erect

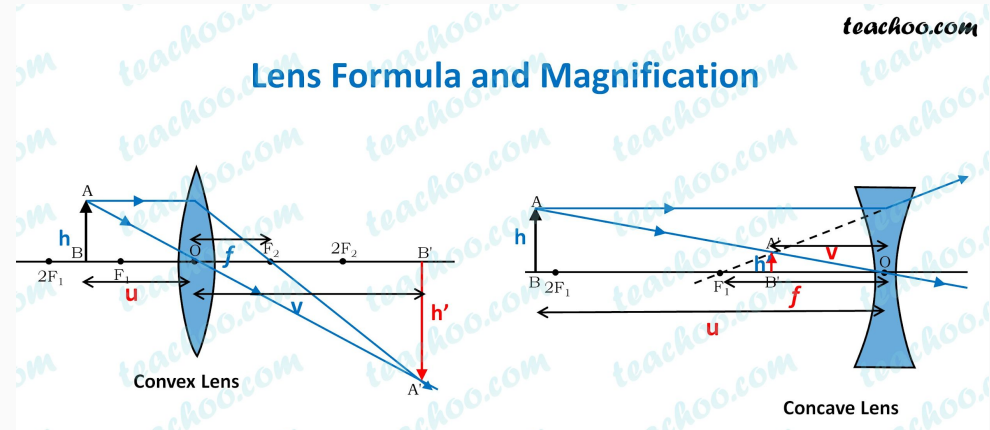


Key Concepts in Geometrical Optics

- Lenses equation

teachoo.com

Lens Formula and Magnification



The diagram illustrates the ray paths for a convex lens (left) and a concave lens (right). For the convex lens, an object AB of height h is placed at a distance u from the optical center O. The image A'B' is formed at a distance v from O with height h'. The focal length is f. For the concave lens, an object AB of height h is placed at a distance u from O. The image A'B' is formed at a distance v from O with height h'. The focal length is f.

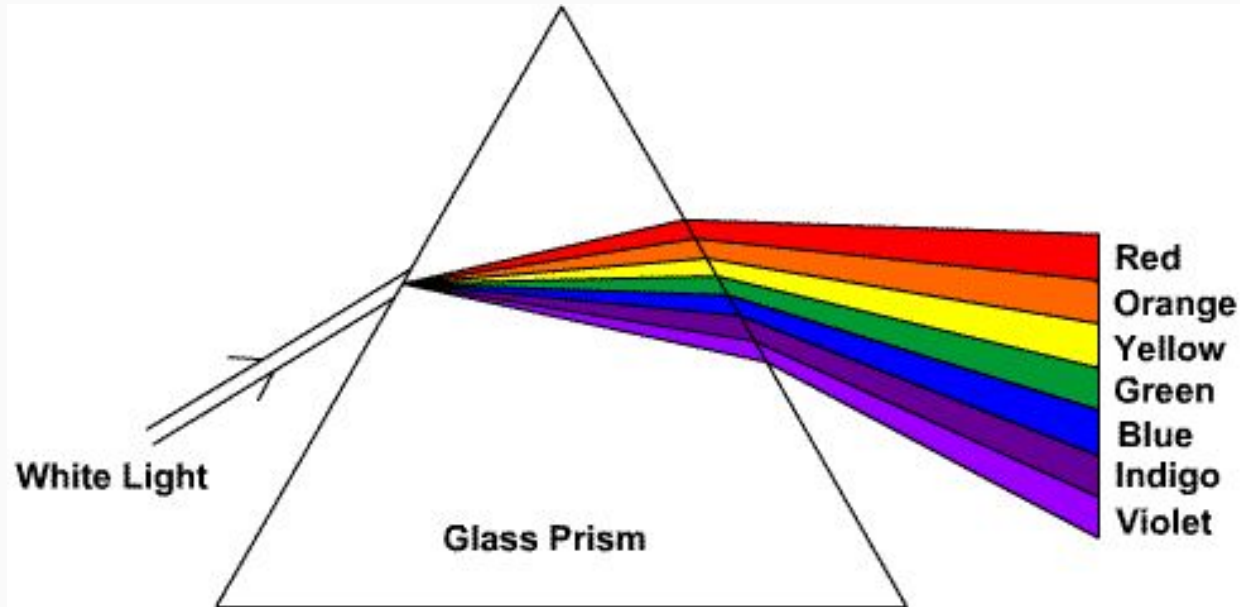
Convex Lens **Concave Lens**

Lens Formula:
$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

Magnification
$$m = \frac{\text{Height of image}}{\text{Height of Object}}$$

$$m = \frac{v}{u}$$

Key Concepts in Geometrical Optics

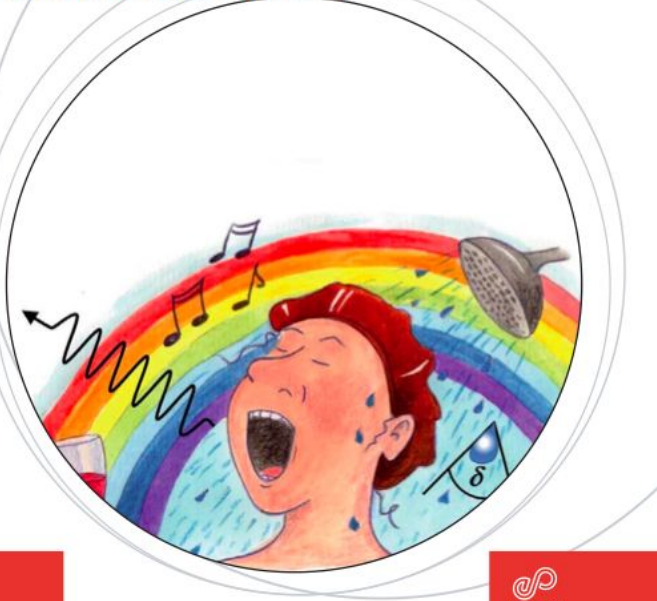


JO HERMANS

With illustrations by Wiebke Drenckhan

Physics in Daily Life

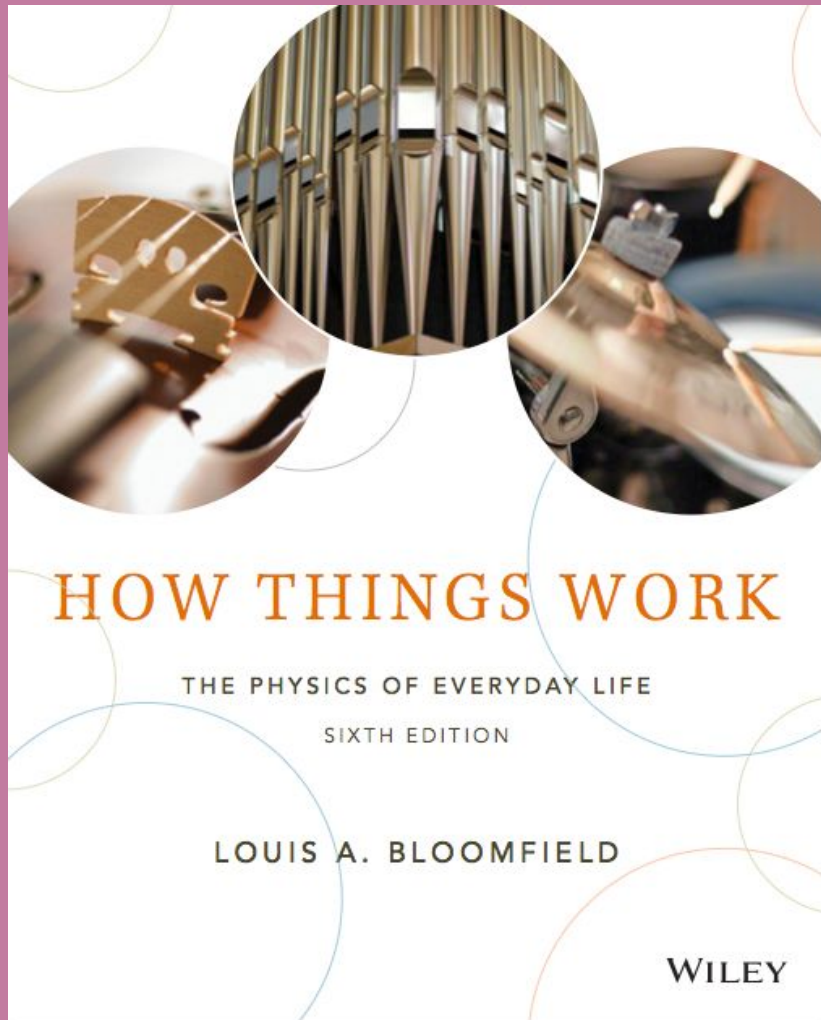
Foreword by Sir Arnold Wolfendale



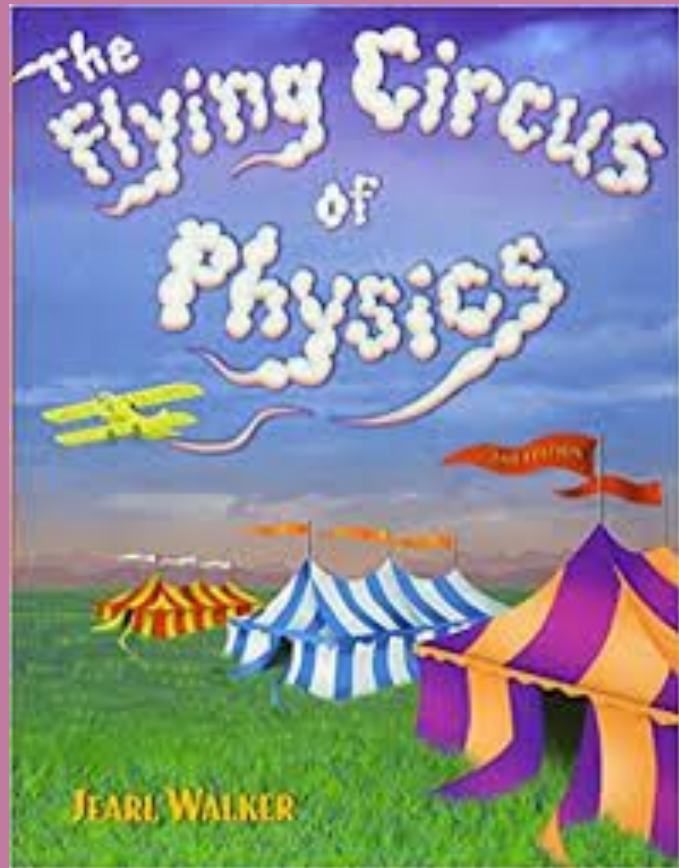
EDP
SCIENCES

https://drive.google.com/file/d/1TAIcDXSI9PVJDvXdoPfAsqpJb2G_uYki/view?usp=sharing

Ch. 3



Ch. 9, Ch. 13



<https://www.youtube.com/c/flyingcircusofphysics>

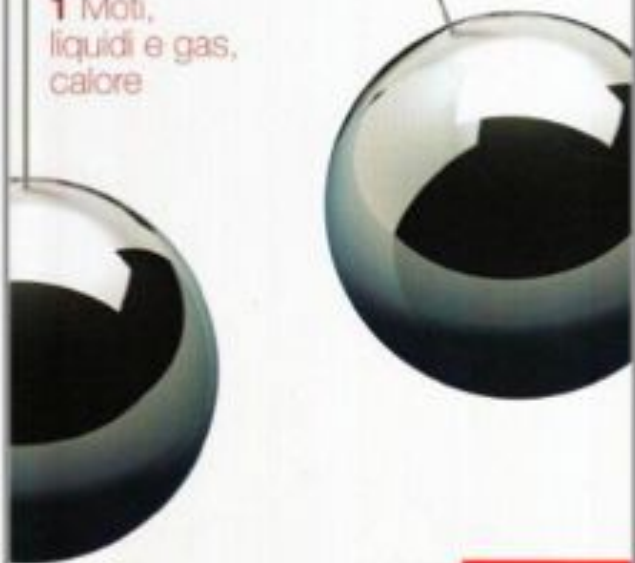


<https://www.youtube.com/channel/UChrOvC-DFkPNxKlxe-XKD3g>

Jearl Walker
**Il luna park
della fisica**

seconda edizione

1 Moti,
liquidi e gas,
calore



SAGGI ZANICHELLI

Jearl Walker
**Il luna park
della fisica**

seconda edizione

2 Elettricità,
magnetismo,
suono e colore



SAGGI ZANICHELLI

Read the index and choose one topic from daily life experience

5.50 La corrente in un filo teso alla stazione 118

6 OTTICA

Schizzi di colore dappertutto, come un arcobaleno

- 6.1 Arcobaleni 119
- 6.2 Arcobaleni bizzarri 122
- 6.3 Arcobaleni artificiali 124
- 6.4 Il cielo diurno 125
- 6.5 Colori del cielo 126
- 6.6 Montagne azzurre e bianche, nuvole rosse 128
- 6.7 Rosso di sera 129
- 6.8 Tramonti e vulcani 129
- 6.9 Anelli di Bishop 130
- 6.10 Archi di contrasto nelle nuvole 131
- 6.11 Colori del cielo durante un'eclissi solare 131
- 6.12 Quando il cielo diventa verde, meglio andare in cantina 133
- 6.13 Al tramonto il cielo allo zenit che diventa più azzurro 133

6.14	Chiazze scure e borse rosse	135
6.15	Fasce chiare e scure nel cielo	135
6.16	Foschie azzurre, rosse e marroni	135
6.17	Luci delle città lontane	137
6.18	Quanto è lontano l'orizzonte?	137
6.19	Colore del cielo nuvoloso	138
6.20	Carte nel cielo	138
6.21	Aumento di luminosità durante le nevicite	138
6.22	Aumento di luminosità durante le nevicite	139
6.22	Fine del fascio dei riflettori	139
6.23	CURIOSITÀ Raggi solari del solstizio d'inverno a Newgrange	139
6.23	CURIOSITÀ Lampo verde	140
6.24	Lampo verde	140
6.25	Distorsione del sole basso sull'orizzonte	141
6.26	Luna rossa durante le eclissi lunari	142
6.27	Rischiaramenti e luccichio delle stelle	142
6.28	Rischiaramenti e luccichio delle stelle	142
6.28	Miraggio dell'oasi	143
6.29	Miraggio dentro un muro	144
6.30	Mostri marini, tritoni e miraggi su larga scala	145
6.31	Fantasma tra i fiori	149
6.32	Sfarfallamenti e luccichio delle stelle	149
6.33	Fasce d'ombra	151
6.34	Aureola di 22° e cani solari	151
6.35	Un cielo pieno di aureole, archi e punti luminosi	152
6.36	Ombra delle montagne	154
6.37	Spaziazione dell'ombra delle nuvole	155
6.38	Colori dell'oceano	156
6.39	Sentiero brillante del Sole e della Luna	157
6.40	Anelli di luce	157
6.41	Ombre e colori nell'acqua	158
6.42	Colore dell'ombra	160
6.43	Vedere la parte buia della Luna	160
6.44	Heiligenschein ed effetto di opposizione	160
6.45	Onde nei campi di grano	164
6.46	Gloria	164
6.47	Corona	165
6.48	Corone sul vetro ghiacciato	166
6.49	Nuvole iridescenti	166
6.50	Luna blu	167
6.51	Colore dei fari antinebbia	167
6.52	Colore della sabbia bagnata	168
6.53	Colori della neve e del ghiaccio	169
6.54	Firnspiegel e scintillio della neve	169
6.55	Whiteout e cecità da neve	170
6.56	Occhiali da sci gialli	171

6.57	Quando il ghiaccio si fa scuro	172
6.58	Nuvole chiare e scure	172
6.59	Nubi nottilucenti	173
6.60	Guardarsi allo specchio	174
6.61	Riflessi sull'acqua e specchi sulla scena	174
6.62	Il fantasma di Pepper e la testa decapitata	176
6.63	Inclinazione delle finestre delle torri di controllo	177
6.64	Immagini in due o tre specchi	177
6.65	Caleidoscopi	179
6.66	Labirinti di specchi	181
6.67	Tiro a segno laser	182
6.68	Triangoli scuri tra gli addobbi natalizi	182
6.69	Da scintillanti a neri più nero del nero	185
6.70	Catarifrangenti	186
6.71	CURIOSITÀ Atterraggi al buio al di là delle linee nemiche	187
6.72	Specchi unidirezionali	187
6.73	Specchietti retrovisori interni	188
6.74	Specchietti retrovisori esterni	189
6.75	Il bar delle Folies-Bergère	189
6.76	Arte rinascimentale e proiettori ottici	190
6.77	Arte anamorfica	191
6.78	Luce e buio dei lampioni	192
6.79	Immagini multiple dei doppi vetri	192
6.80	Il riflettore più potente del mondo	193
6.81	I raggi assassini di Archimede	194
6.82	CURIOSITÀ Illuminare l'arbitro	195
6.83	Luci spettrali al cimitero	196
6.84	Come il pescatore vede il pesce	196
6.85	Come il pesce vede il pescatore	197
6.86	Leggere attraverso buste chiuse	199
6.87	CURIOSITÀ Mangiatori di spade ed esofagoscopia	200
6.88	Optica del box doccia	200
6.89	Magie con la rifrazione	202
6.90	L'uomo invisibile e animali trasparenti	203
6.91	Strade distorte dalla rifrazione	205
6.92	Innaffiare le piante alla luce del sole	206
6.93	Accendere il fuoco con il ghiaccio	206
6.94	Diamanti	207
6.95	Opali	208
6.96	Effetto alessandrite	209
6.97	Zaffiro stellato	209
6.98	Figure in un bicchiere di vino, sulla finestra e in una goccia d'acqua	210
6.99	Ombre con bordi e fasce luminose	211

- 6.100 Fasce chiare e scure sull'ala 213
- 6.101 CURIOSITÀ Onde d'urto dell'automobile Thrust SSC 215
- 6.102 La fotocamera stenopeica e il suo contrario 215
- 6.103 Immagini del sole sotto gli alberi 217
- 6.104 Luci attraverso uno schermo, righe fra le dita 217
- 6.105 Graffi chiari e ragnatele colorate 219
- 6.106 Striature luminose sul parabrezza 221
- 6.107 Riflessi su un disco di vinile 223
- 6.108 Colori creati da oggetti con sottili scanalature 224
- 6.109 Anticontraffazione: elementi otticamente variabili 225
- 6.110 Anelli colorati su uno specchio appannato o polveroso 226
- 6.111 Colore del latte nell'acqua 228
- 6.112 Colore del fumo dei fuochi da campo 228
- 6.113 Effetto ouzo 229
- 6.114 Colori di macchie d'olio, pellicole di sapone e pentole di metallo 229
- 6.115 Colori strutturali di insetti, pesci, uccelli e del fondoschiena di scimmie 229
- 6.116 Perle 235
- 6.117 Protuberanze sugli occhi degli insetti e sugli aerei *stealth* 235
- 6.118 Piante iridescenti 237
- 6.119 Anticontraffazione: inchiostri otticamente variabili 238
- 6.120 Saturazione del colore nei petali dei fiori 239
- 6.121 Giallo brillante dei pioppi tremuli 239
- 6.122 Colori degli occhi 240
- 6.123 Diventare blu dal freddo 240
- 6.124 Screziature 241
- 6.125 Colori alla luce fluorescente 243
- 6.126 Occhiali da sole polarizzati 244
- 6.127 Polarizzazione del cielo 245
- 6.128 Orientamento delle formiche 248
- 6.129 Colori, macchie e polarizzazione 249
- 6.130 Assenza di colore in schiume e polveri macinate 251
- 6.131 Lucentezza del velluto nero e dello smalto 252
- 6.132 Colori del vetro verde e del velluto verde 253
- 6.133 Pelle di pesca e apparente morbidezza 254
- 6.134 Feste con Twinkies e vaselina 254
- 6.135 Colori della carne 255
- 6.136 Una birra piccola 256
- 6.137 «Lava più bianco» 257
- 6.138 Moneta che scompare 257
- 6.139 Occhiali da sole e smog 258
- 6.140 Lucentezza dell'oceano 259
- 6.141 Nastro blu sul mare all'orizzonte 259
- 6.142 L'oscurità cala all'improvviso 260

6.143 Scie
6.144 Nu
6.145 Lu
6.146 In
6.147 Ri
6.148 N
6.149 L
6.150 F
6.151 F
6.152
6.153
6.154
6.155
6.156

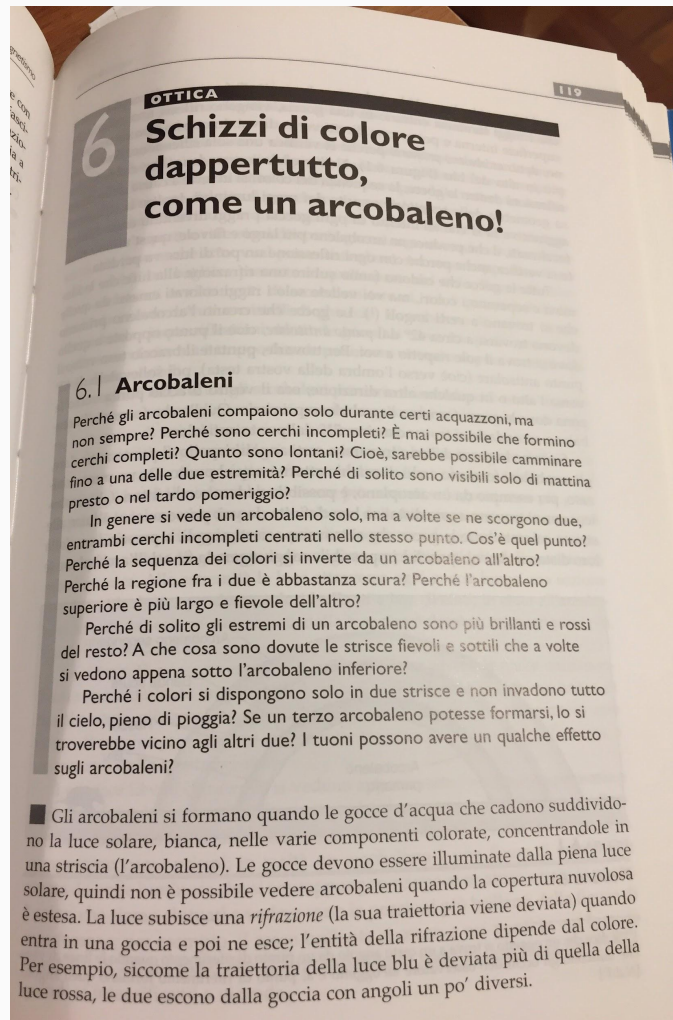
7.1
7.2
7.3
7.4

7.5
7.6
7.7
7.8

- 6.143 Scie di condensazione colorate 260
- 6.144 Nubi madreperlacee 261
- 6.145 Luce violetta del crepuscolo 261
- 6.146 Increspatura nel cielo 262
- 6.147 Riga che attraversa la pioggia lontana 262
- 6.148 Notti chiare 263
- 6.149 Luce zodiacale, *gegenschein* e altre luci notturne 263
- 6.150 Riflessi dell'orizzonte marino 264
- 6.151 Focalizzare la luce con una sfera metallica piena 265
- 6.152 Strane rotazioni in uno specchio curvo 266
- 6.153 Colore del fumo di sigaretta 267
- 6.154 Vedere nell'ultravioletto 267
- 6.155 Alfabeto diffratto 267
- 6.156 Giochi con i riflessi 268

Il Luna Park della Fisica

L'Arcobaleno



Nel caso degli arcobaleni che si vedono più di frequente, che i raggi luminosi entrano in una goccia, vengono riflessi sulla superficie interna e poi escono diretti verso di voi. In questo tipo di arcobaleno, detto *arcobaleno primario* perché si verifica una sola riflessione, le riflessioni dentro le gocce, la sequenza dei colori si inverte a causa della diversa geometria delle traiettorie seguite dai raggi luminosi. Inoltre la riflessione aggiuntiva fa sì che all'interno di ogni goccia i raggi diventino ancora più focalizzati, il che produce un arcobaleno più largo e fiavole; quest'ultimo effetto si verifica anche perché con ogni riflessione un po' di luce va perduta.

Tutte le gocce che cadono fanno subire una rifrazione alla luce che le illumina e separano i colori, ma voi vedete solo i raggi colorati emessi da quelle gocce che si trovano a certi angoli (1). Le gocce che creano l'arcobaleno primario devono trovarsi a circa 42° dal punto *antisolare*, cioè il punto opposto a quello dove si trova il sole rispetto a voi. Per trovarle, puntate il braccio teso verso il punto antisolare (cioè verso l'ombra della vostra testa), poi sollevatelo di 42° verso l'alto o in qualche altra direzione; ora il vostro braccio punta verso la zona dove le gocce formano l'arcobaleno primario. Quelle che formano l'arcobaleno secondario si trovano a circa 51° dal punto antisolare.

Siccome le gocce devono trovarsi a certi angoli rispetto al punto antisolare, gli arcobaleni formano archi di cerchio attorno a quel punto. Da un punto rialzato, per esempio da un aeroplano, è possibile vedere cerchi interi. Gli arcobaleni non si trovano a una distanza ben definita da voi: possono contribuire alle strisce colorate tutte le gocce che si trovano a certi angoli, a prescindere dalla loro distanza da voi; quindi è impossibile raggiungere la fine dell'arcobaleno.

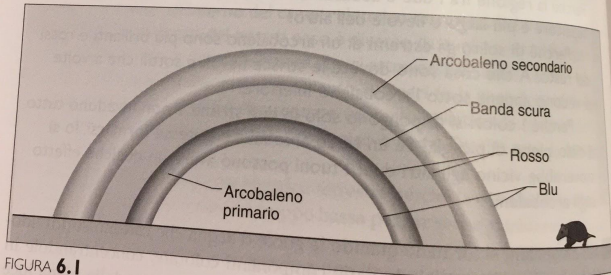


FIGURA 6.1

Problema 6.1.

(1) Si dice che un oggetto si trova a un certo angolo da un punto di riferimento quando le linee di vista che uniscono gli occhi dell'osservatore all'oggetto e al punto di riferimento formano quell'angolo.

Il meccanismo è una volta dalla luce, il rosso sta e richiede due sa della divergenza la riflessione ancora meno l'ultimo effetto perduto.

ce che le illustrati da quello no primario posto a quello teso verso il quello di 42° nta verso la nno l'arco-

antisolare, punto rialzato. Gli arcobaleni contribuiscono alle strisce colorate che si vedono dalla

trovare il pentolone pieno d'oro). Inoltre ognuno vede un proprio arcobaleno personale: una persona che vi sta accanto vede i colori creati da un insieme diverso di gocce.

Di solito gli arcobaleni sono visibili solo di mattina presto o nel tardo pomeriggio, perché nelle ore centrali del giorno il punto antisolare si trova troppo in basso sotto l'orizzonte; potrebbe comunque essere possibile vedere un arcobaleno se da un punto rialzato si guarda in giù verso le gocce.

Gli arcobaleni ternari e quaternari (per i quali sono necessarie rispettivamente tre e quattro riflessioni dentro le gocce) seguono archi circolari attorno al sole (invece che attorno al punto antisolare), ma sono troppo fiavoli per essere visibili nel bagliore presente in quella parte del cielo. Rare volte vengono annunciati avvistamenti di arcobaleni ternari, ma è più probabile che quei colori siano dovuti a cristalli di ghiaccio. L'arcobaleno di ordine cinque (che richiede cinque riflessioni dentro le gocce) si trova tra quello primario e quello secondario, ma è troppo fiavole per essere visto e così pure tutti gli altri arcobaleni possibili.

La regione interna tra gli arcobaleni primario e secondario è scura rispetto a quelle sopra e sotto gli arcobaleni, perché le gocce che vi si trovano non inviano luce verso di voi, al contrario di quelle esterne.

Le estremità degli arcobaleni sono spesso più brillanti e rosse della parte rimanente a causa di vari fattori, fra cui le dimensioni e la forma delle gocce. I colori degli arcobaleni dovrebbero essere più marcati se le gocce sono più grandi, perché in tal caso le componenti colorate della luce seguono un percorso più lungo all'interno di ogni goccia, quindi si separano di più; allo stesso tempo, però, nella caduta le gocce grandi vengono appiattite di più dalla resistenza aerodinamica. Alle estremità la luce attraversa ogni goccia lungo una sezione circolare, ideale per produrre colori brillanti e ben distinti; in cima all'arcobaleno, invece, la sezione attraversata dalla luce non è circolare e i colori sono più spenti e meno distinti.

Le estremità possono essere più brillanti anche perché le gocce corrispondenti sono illuminate meglio dalla luce solare che si insinua sotto un banco di nuvole; sono più rosse se quella luce, percorrendo lunghe distanze in aria prima di raggiungere le gocce, perde tutte le componenti tranne quella rossa, a un estremo dello spettro visibile.

Le strisce fiavoli che a volte si vedono appena sotto l'arcobaleno primario e (più di rado) subito sopra quello secondario, dette *archi soprannumerari*, indicano che i colori dell'arcobaleno non sono dovuti soltanto al fatto che le gocce si comportano come prismi; in realtà un arcobaleno è una *figura di interferenza* creata da onde luminose che si sovrappongono dopo aver attraversato le gocce. I colori che siamo abituati a vedere sono le porzioni più brillanti della figura di interferenza; per esempio, il rosso brillante si osserva nei punti in cui le onde luminose di colore rosso che si sovrappongono sono in fase l'una con l'altra, quindi si intensificano a vicenda.

Se le dimensioni delle gocce sono grosso modo uniformi, è possibile vedere i fiocchi archi soprannumerari; in caso contrario, questi si sovrappongono troppo per essere distinguibili, perciò si vede soltanto un debole e diffuso alone biancastro.

Fra i modelli teorici degli arcobaleni, i più semplici funzionano bene nel caso di gocce più grandi di 0,1 mm circa, ma gocce più piccole richiedono modelli molto più complessi, ancora in corso di studio.

I tuoni fanno oscillare le gocce e quindi ne distorcono la forma, con il risultato di rendere i colori indistinti o di farli scomparire. Questo può succedere anche a causa di oscillazioni create nelle gocce dallo sbalottamento cui l'aria le sottopone mentre cadono, soprattutto se esse sono grandi.

6.2 Arcobaleni bizzarri

Perché alcuni arcobaleni sono bianchi e altri rossi? Come si spiega la rarità e la povertà di colori degli arcobaleni che si vedono alla luce della luna? Che forme e colori hanno gli arcobaleni che si vedono nella nebbia, su una nuvola o su un prato coperto di rugiada? Quando si vede un arcobaleno nel cielo sopra uno specchio d'acqua e allo stesso tempo un arcobaleno sulla superficie liquida, il secondo è un semplice riflesso del primo?

In rari casi, vicino alla parte inferiore di un arcobaleno normale si può vedere una striscia di colori che sembra verticale. Da che cosa ha origine? Gli arcobaleni normali vengono prodotti dalla luce visibile. Anche la luce infrarossa e quella ultravioletta producono arcobaleni?

■ La separazione dei colori negli arcobaleni è minore se le gocce d'acqua sono più piccole. Uno dei motivi è che, se il diametro della goccia è minore, i colori hanno meno probabilità di separarsi al suo interno; se le gocce sono abbastanza piccole, essi si sovrappongono e formano un arcobaleno bianco.

Gli arcobaleni rossi possono formarsi quando il sole è basso sull'orizzonte; in questa situazione la luce solare deve attraversare l'atmosfera per un lungo tratto, quindi la diffusione della luce da parte delle molecole d'aria le sottrae gran parte della componente blu, a uno degli estremi dello spettro visibile, così che le gocce sono illuminate più che altro da luce rossa.

Di notte possono apparire arcobaleni formati dalla luce della luna; sembreranno però sbiaditi perché al buio l'occhio umano vede male i colori. Questi arcobaleni vengono notati di rado perché sono fiocchi, e anche perché nessuno si aspetta di vedere arcobaleni di notte.

Si possono vedere arcobaleni nella nebbia, su banchi di nuvole o su prati coperti di rugiada, ma sono difficili da individuare, perché spesso le gocce sono tanto piccole che non danno luogo a colori distinti e gli archi potrebbero confondersi nel bagliore diffuso. Si tratta di strisce bianche, a forma di iperbo-

6.2 Arcobaleni

li o ellissi

tale. È an

superficie

Se si f

vedere st

ce rifless

mare un

re una o

ficie del

bili di t

rispetto

so non

nella fo

An

mità c

chio c

poi il

possibile vederlo. E anche possibile vedere un arcobaleno su uno specchio d'acqua, se la superficie è in parte ricoperta di gocce sospese.

Se si forma un arcobaleno normale sopra uno specchio d'acqua, è possibile vedere sulla superficie liquida un arcobaleno riflesso, che però non è un semplice riflesso del primo perché è formato da un insieme diverso di gocce. Per formare un arcobaleno riflesso, i raggi luminosi devono entrare nelle gocce, subire una o due riflessioni al loro interno, uscirne e poi venire riflessi dalla superficie dell'acqua prima di propagarsi nella vostra direzione. Le gocce responsabili di tutto questo si trovano a un angolo differente nel vostro campo visivo rispetto a quelle che formano l'arcobaleno normale; perciò l'arcobaleno riflesso non si sovrappone a quello normale (per esempio sarà un po' diverso sia nella forma sia nella posizione rispetto ad altri oggetti, come una nuvola).

Anche le strisce apparentemente verticali, a volte visibili vicino alle estremità di un arcobaleno normale, sono prodotte da luce riflessa da uno specchio d'acqua; in questo caso, però, la luce prima viene riflessa all'angolo giusto per illuminare la luna? In casi rari si può vedere un arcobaleno aggiuntivo completo che circonda quello normale (e che spesso viene identificato per errore con l'arcobaleno terziario). L'arcobaleno normale è centrato nel punto antisolare; quello aggiuntivo, invece, è centrato in un punto spostato verso l'alto rispetto al punto antisolare, a causa del cambiamento nella geometria del sistema dovuto alla riflessione. Se sono visibili solo le estremità dell'arcobaleno aggiuntivo, esse possono sembrare verticali, benché in realtà siano incurvate.

ga la rarità
la luna?
bia,

tempo
flesso

e si può
origine?
he

qua sono
e, i colori
bbastan-

orizzonte;
n lungo
sottrae
ile, così

embre-
Questi
essuno

i prati
e sono
bbero
berbo-

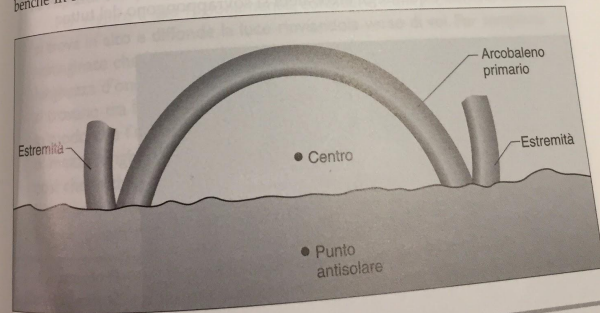


FIGURA 6.2

Problema 6.2. La luce riflessa dall'acqua può formare un arcobaleno centrato in un punto che si trova più in alto rispetto al centro dell'arcobaleno primario. Qui sono rappresentate soltanto le estremità dell'arcobaleno aggiuntivo.

Anche le componenti ultravioletta e infrarossa della luce solare possono formare strisce dell'arcobaleno, che sono invisibili per l'occhio umano e presentano colori quali vengono intesi di solito, ma che possono essere rivelate con strumenti appositi.

6.3 Arcobaleni artificiali

Quando viene spruzzata acqua vicino a voi e alla luce diretta del sole, come mai appaiono due arcobaleni che si intersecano? Quando un riflettore viene puntato verso l'alto con un certo angolo durante una notte piovigginosa, perché si possono vedere due strisce brillanti nel fascio di luce (Figura 6.3)?

In alcuni luoghi è possibile vedere un fenomeno simile a un arcobaleno sulla strada, anche se questa è asciutta. In rari casi si sono sentite storie di arcobaleni nel fango e in altri posti sorprendenti. Da che cosa hanno origine questi colori?

Si possono vedere arcobaleni puntiformi su una singola goccia d'acqua che pende da una graffetta, se si dirige verso di essa un fascio di luce in una stanza buia. Con un po' di pazienza si possono rendere visibili punti colorati che corrispondono ai primi dodici ordini di arcobaleni (cioè a un numero di riflessioni interne che arriva a dodici).

■ Quando le gocce d'acqua sono vicine, ciascun occhio le vede da una prospettiva diversa; è per questo che si osservano due arcobaleni che si intersecano. Quando le gocce sono lontane, gli occhi le vedono da una prospettiva praticamente identica e quindi gli arcobaleni si sovrappongono del tutto.

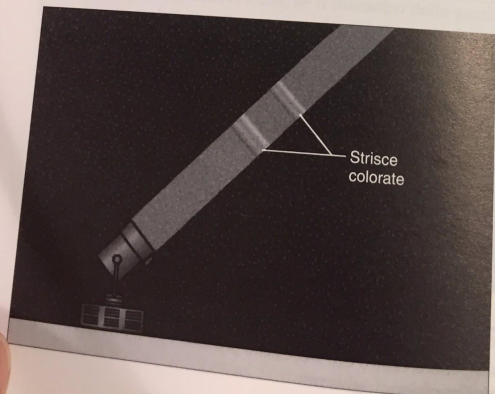


FIGURA 6.3

Problema 6.3.
Strisce colorate visibili nel fascio di luce di un proiettore in una notte piovigginosa.

La luce dalle gocce giuste per il riflettore corre verso di voi e i raggi colorati. La striscia più lontana dal riflettore corrisponde all'arcobaleno naturale primario (quello più in basso), l'altra all'arcobaleno naturale secondario. Al ruotare del fascio, la posizione delle gocce che inviano i raggi colorati verso di voi si sposta su e giù lungo il fascio, così che si muovono anche le strisce. Esse hanno colori sbiaditi soprattutto perché di notte l'occhio umano distingue male i colori.

La luce del riflettore viene rifratta e suddivisa nelle componenti colorate dalle gocce di pioggia che intercettano il fascio; alcune si trovano all'angolo giusto per inviare verso di voi i raggi colorati. La striscia più lontana dal riflettore corrisponde all'arcobaleno naturale primario (quello più in basso), l'altra all'arcobaleno naturale secondario. Al ruotare del fascio, la posizione delle gocce che inviano i raggi colorati verso di voi si sposta su e giù lungo il fascio, così che si muovono anche le strisce. Esse hanno colori sbiaditi soprattutto perché di notte l'occhio umano distingue male i colori.

Gli arcobaleni che si formano su strade asciutte sono dovuti a minuscole sfere di vetro trasparente, che a volte vengono distribuite sulle strisce riflettenti dipinte sull'asfalto per renderle più visibili di notte. Se si staccano in un numero sufficiente e si sparpagliano sulla strada, le sfere scompaiono nella luce diretta del sole in colori proprio come gocce d'acqua. Gli altri arcobaleni più bassi sono più difficili da spiegare, ma è probabile che siano dovuti a gocce d'acqua, pezzetti di vetro o altri oggetti che suddividono la luce bianca nelle sue componenti colorate.

6.4 Il cielo diurno

Perché di giorno il cielo è chiaro? A quanto pare, in qualche modo l'atmosfera deflette la luce verso di voi; ma se l'aria è trasparente, perché la luce non la attraversa senza venire deflessa?

A questa domanda si risponde spesso chiamando in causa la diffusione della luce da parte di Rayleigh, un modello che tratta la diffusione della luce da parte delle molecole d'aria. Albert Einstein ha fatto notare che, se questa fosse la risposta completa, di giorno il cielo sarebbe scuro.

Per seguire il suo ragionamento, considerate una molecola d'aria che si trova in alto e diffonde la luce rinviandola verso di voi. Per semplicità immaginate che la luce solare abbia una sola componente, con una certa lunghezza d'onda. Vi arriva anche la luce diffusa da altre molecole che si trovano tra la prima molecola e voi; una di loro sarà posizionata in modo che l'onda luminosa rinviata da essa sarà sfasata esattamente di mezza lunghezza d'onda rispetto a quella rinviata dalla prima molecola, così che le due onde si elideranno e il risultato sarà il buio (Figura 6.4). Siccome in media ogni molecola dovrebbe avere una compagna che elide la luce inviata nella vostra direzione, non dovrete riceverne affatto e il cielo dovrebbe essere buio tranne che nella direzione del sole. Giusto!

■ La luce viene diffusa dalle molecole d'aria secondo il modello di Rayleigh, quindi il ragionamento di Einstein dovrebbe funzionare. Ma, come ha notato Einstein stesso, il cielo non è scuro perché la densità dell'atmosfera non è uniforme; inoltre le molecole si muovono di continuo e per breve tempo si ammassano, eliminando la possibilità che a ogni istante dato la luce diffusa da

Bayesian methods for metacognitive developments skills

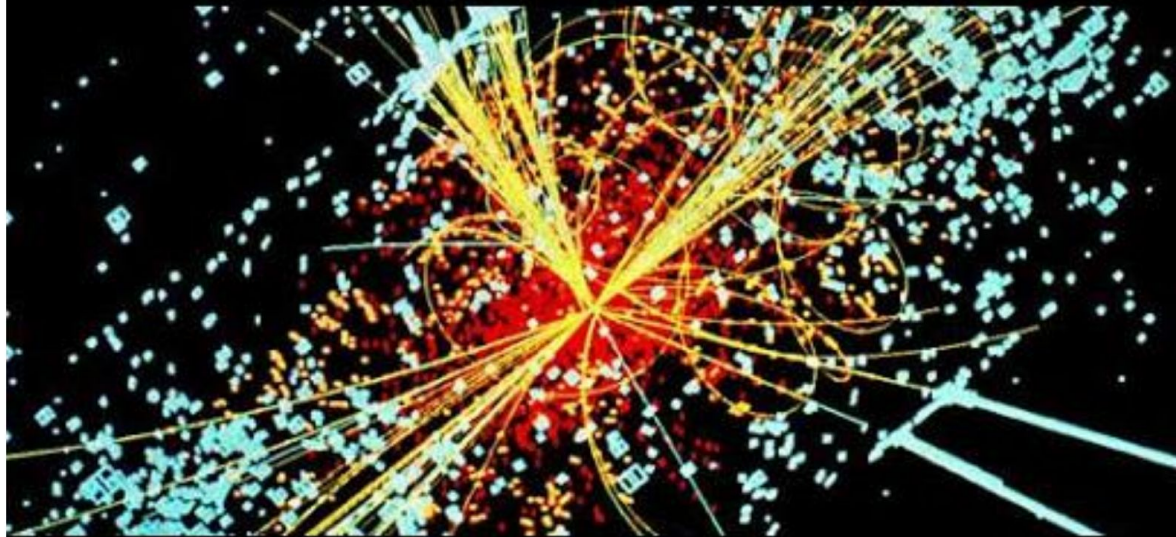
by A.Ventura et al.

<https://student.desmos.com/join/gheqk7?lang=it>

<https://student.desmos.com/join/jkz7pf?lang=it>

<https://student.desmos.com/join/779rzp?lang=it>

Introduzione alla Teoria della Probabilità



Dal lancio di dadi alla rivelazione di particelle
- Teorema di Bayes-

The Bayes theorem

Riscrivendo quanto ottenuto nella espressione precedente otteniamo:

prob delle "causa" H_i , dato l'evento E

prob di avere E dato H_i

prob che avvenga H_i

$$P(H_i | E) = \frac{P(E | H_i) P(H_i)}{\sum_j P(E | H_j) P(H_j)}$$

Teorema di Bayes

somma su tutte le possibile "cause" H_1, H_2, H_3, \dots

5 - Notazione e considerazioni finali:

Possiamo riscrivere il teorema di Bayes per i nostri fini operativi rinominando alcune variabili, siano:

$$R = \frac{P(E|H)}{P(E|\bar{H})} \quad C_f = P(H|E) \quad C_i = P(H)$$

ricordando che

$$P(E) = P(E|H)P(H) + P(E|\bar{H})P(\bar{H}) \quad \text{allora}$$

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E|H)P(H) + P(E|\bar{H})(1-P(H))} = \frac{P(H) \cdot \frac{P(E|H)}{P(E|\bar{H})}}{P(H) \cdot \frac{P(E|H)}{P(E|\bar{H})} + 1 - P(H)}$$

$\rightarrow P(\bar{H}) = 1 - P(H)$
cambio notazione

$$C_f = \frac{C_i R}{C_i R + 1 - C_i}$$

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori



Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori



Quando si risolvono degli esercizi, specialmente in fisica, si tende a valutare l'esito del proprio operato in un unico modo: *Confrontando il proprio risultato numerico con quello fornito dal libro.*

Risulta immediata l'evidenza che un approccio simile NON è semplicemente ATTUABILE in un contesto "reale" scientifico, nell'ambito, ad esempio, di una ricerca.

Quando la soluzione non è già nota in partenza, perché il territorio non è ancora ben esplorato, oppure più banalmente perché non c'è una qualche figura autorevole a fornirci l'esito esatto; come possiamo testare la validità del nostro operato?



IF:

"SE...assumiamo la correttezza dell'ipotesi"

Nel contesto degli esercizi forniti dal libro di testo, solitamente l'ipotesi che vogliamo testare è "Il metodo risolutivo che ho utilizzato è quello corretto per questo problema". In situazioni più realistiche potrebbe essere: "la mia applicazione dei fondamentali principi della fisica è adeguata allo scenario corrente" se ad esempio si stanno facendo delle predizioni di un fenomeno di natura fisica.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori



AND:

"E...eseguo un test in questo modo: (descrizione)"

In questo passaggio è fondamentale descrivere COME si hanno intenzione di cambiare i parametri forniti dal testo. Idealmente questi vanno cambiati con il fine di porsi in una situazione "comoda", una in cui si è sostanzialmente certi di cosa dovrebbe accadere e di come si comporterà il sistema che abbiamo in analisi.

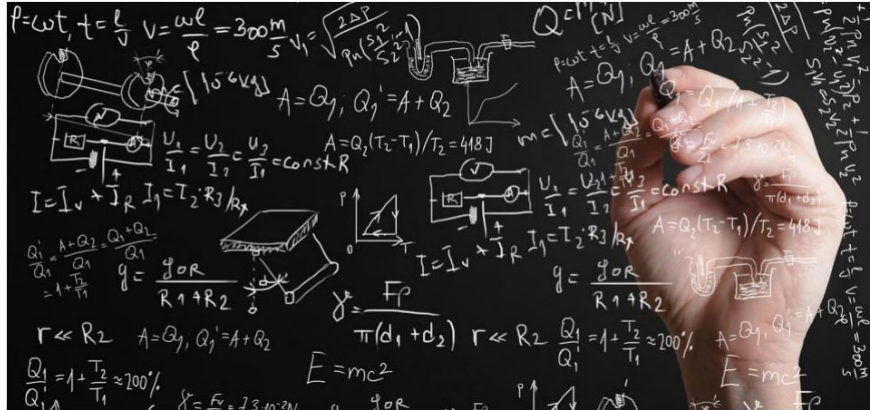


THEN:

"ALLORA...mi aspetto questo esito"

Descriviamo accuratamente come la quantità calcolata precedentemente dovrebbe variare al mutare dei parametri nel modo che abbiamo stabilito.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori



AND/BUT:

"E/MA...eseguendo i calcoli"

mettiamo effettivamente in pratica quanto abbiamo escogitato e otteniamo un risultato nuovo.

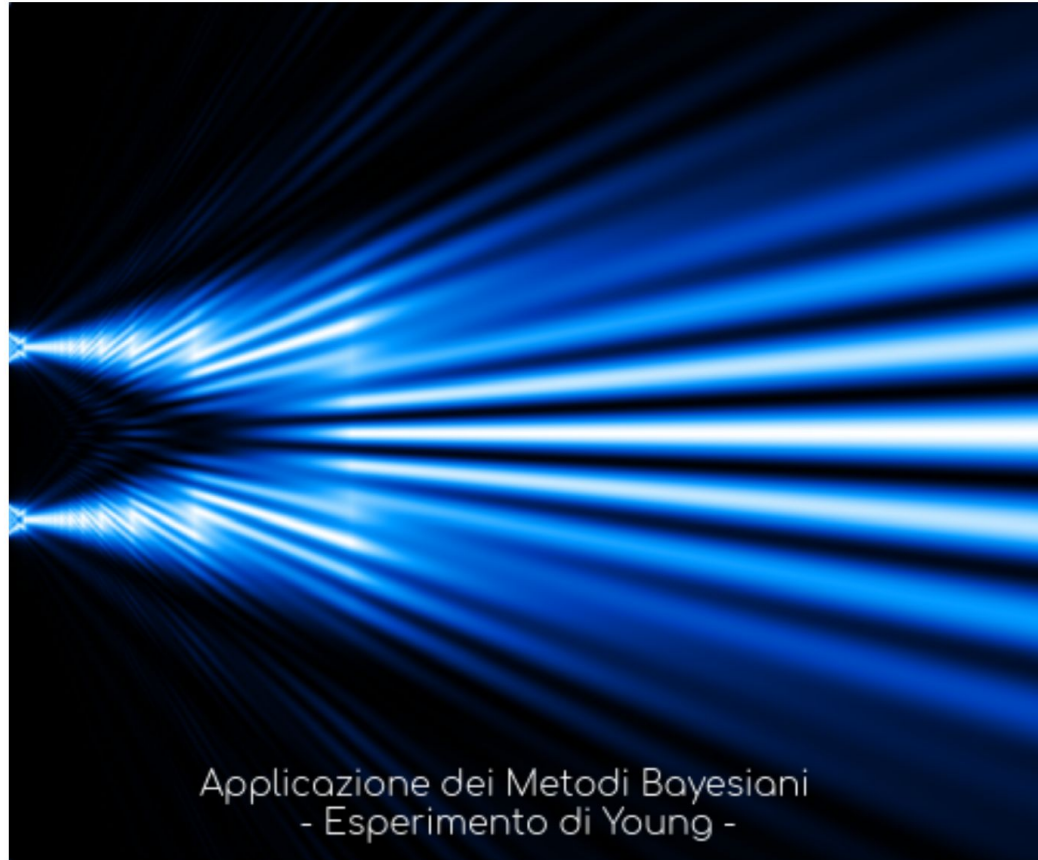


THEREFORE:

"DI CONSEGUENZA...possiamo trarre questa conclusione(conferma o confutazione)"

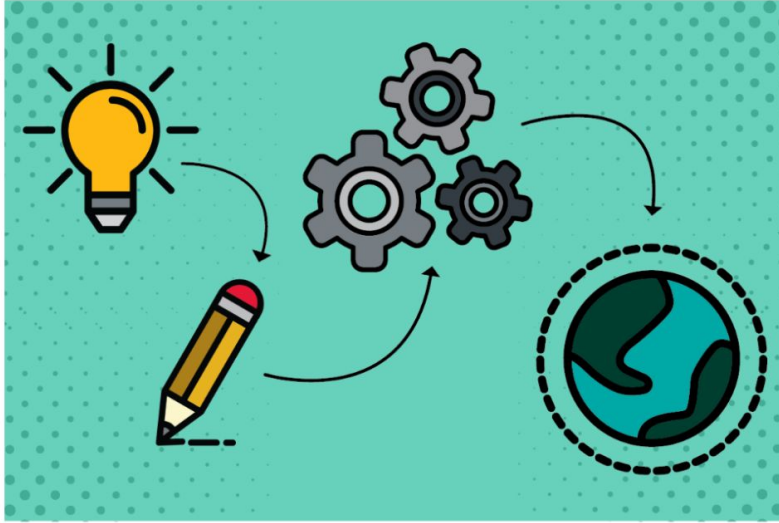
Facciamo una riflessione finale e stabiliamo se il risultato ottenuto con il nostro esperimento mentale avvalorata o scredita in qualche modo l'ipotesi iniziale...o non vi influisce in alcun modo (esperimento inconcludente).
distinguiamo quindi 3 casi:

- conferma: la predizione è ragionevole e consistente con il risultato.
- confutazione: la predizione NON è consistente con il risultato, nonostante la sua "ragionevolezza".
- esito nullo: la predizione NON è consistente con il risultato, ma si ritiene probabile che essa non fosse molto valida o ragionevole a causa di una conoscenza di base non sufficiente.



Applicazione dei Metodi Bayesiani
- Esperimento di Young -

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young



A differenza dei compiti assegnati, la scienza non si fa esclusivamente stando seduti a riflettere sulla propria scrivania.

Il passaggio per noi ora fondamentale è quello di andare oltre il puro esperimento concettuale basato unicamente sui calcoli, e lanciarsi verso l'ideazione di esperienze reali, poiché il fine ultimo della scienza non è quello di rimuginare su sé stessa, ma di descrivere accuratamente il mondo in cui viviamo.

Le situazioni surreali e semplificate dei problemi di testo, spesso tendono a creare un qualche distacco dalla realtà e farci chiedere: "Sì, ma tutto ciò a che cosa mi serve nel mondo reale?", dove la resistenza dell'aria esiste, dove le funi non sono indistruttibili e dove le onde del mare non sembrano descrivere una perfetta funzione sinusoidale.

Ma non dobbiamo scordare che è la padronanza delle situazioni più semplici che ci permette poi di destreggiarci nel mondo fisico, come vedremo oggi.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young



Vediamo quali sono i passaggi fondamentali di un'esperienza laboratoriale, affiancati ad un esempio pratico.

1 - IPOTESI:

Il primo passo consiste sempre nell'elaborare correttamente e nel modo più completo possibile l'ipotesi che si vuole testare, stabilendo un livello di convinzione iniziale.

Consideriamo un giocattolo costituito da una molla che lancia una macchina lungo una traiettoria rettilinea. Il costruttore del giocattolo afferma che l'auto raggiunge una velocità media di 10m/s. vogliamo testare questa dichiarazione.

ipotesi: L'auto raggiunge effettivamente la velocità media dichiarata dal costruttore.

livello di convinzione: $C_i = 0.9$ (ci fidiamo abbastanza)



2 - DESIGN DELL'ESPERIMENTO:

Stabilita l'ipotesi da testare è **ESSENZIALE** descrivere nei minimi dettagli *COME* si intende effettuare la verifica. L'attenzione non va infatti rivolta unicamente ai calcoli necessari ad ottenere il parametro cercato (la velocità dell'auto), ma deve soffermarsi accuratamente anche sulle modalità operative dell'esperimento.

Di fondamentale importanza nel mondo scientifico è infatti la ripetibilità dei risultati: il mio esperimento ha valore oggettivo unicamente se un collega può leggere il mio operato, provare a ripetere la stessa esperienza ed ottenere risultati coerenti. Se non ci si sofferma a sufficienza sulle caratteristiche dell'esperimento, si ottengono poi dei risultati che non possono essere riottenuti dagli altri scienziati per mancanza di informazioni.



2 - DESIGN DELL'ESPERIMENTO:

Nel nostro caso possiamo procedere in questo modo:

- Segnare con del nastro colorato due punti sufficientemente distanti sul percorso
- Misurare con un metro a nastro la lunghezza che intercorre tra i due segnali appena disposti.
- Un operatore è addetto alla carica della molla, un secondo operatore possiede invece un cronometro
- Al rilascio della macchinina, l'operatore dotato di cronometro farà partire lo strumento superato il primo segmento di nastro e lo interromperà raggiunto il secondo.
- Dalla misura dell'intervallo di tempo e della distanza che intercorre tra i due segnali possiamo ottenere la velocità media che andiamo cercando.

Si eseguono queste misure diverse volte.



2 - DESIGN DELL'ESPERIMENTO:

Idealmente abbiamo il desiderio di minimizzare quanto più possibile gli errori associati alla misura, ogni decisione presa per fare ciò è bene venga specificata. Nel nostro caso:

- i due segnali devono essere quanto più separati possibile per permettere all'operatore di poterli distinguere adeguatamente.
- Lo spesso del nastro è bene venga minimizzato così da non avere incertezza sul punto di inizio e di fine del percorso noto
- La molla andrebbe sempre caricata allo stesso modo, avendo quindi o un sistema di blocco opportuno o un segno sul banco a cui fare riferimento.



3 - ANALISI DATI:

Il terzo step consiste nel raccogliere tutti i dati raccolti, ordinarli, valutarli ed utilizzarli per calcolare le grandezze cercate.

Si faccia attenzione al fatto che ad ogni grandezza misurata è associata una incertezza.

Questa può essere legata alla natura dello strumento ed al suo funzionamento (Errori Massimi) oppure alla fluttuazione statistica legata alla ripetizione delle misure (Errori Statistici).



4 - ANALISI DEGLI ERRORI

La trattazione adeguata degli errori richiede conoscenze ulteriori a quelle a nostra disposizione, quindi non ce ne occuperemo.

Ci tengo però ugualmente a fare presente questo passaggio perché ad esso è associato un concetto di grande importanza:

Ogni risultato di natura scientifica è tale solo in relazione all'errore ad esso associato.

Se tentassimo di misurare la massa di un singolo elettrone utilizzando una bilancia da cucina, correttamente diremmo:

$$m_e = 0 \pm 0.05 \text{ g}$$

Ma a questa misura è associata una incertezza spropositatamente enorme rispetto al valore della grandezza che andiamo cercando, tanto che secondo la stessa bilancia non potremmo distinguere un elettrone da una manciata di molecole.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young



l'analisi degli errori è dunque molto importante per il passaggio successivo:

5 - VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Come visto per l'esperimento concettuale, alla fine di tutto, ciò che dobbiamo fare è valutare l'esito della nostra esperienza, dicendo se abbiamo ottenuto una conferma, una confutazione o *un risultato nullo*.

Ebbene, un ottimo metodo per ottenere un esito nullo è quello di avere delle incertezze troppo grandi.

Supponiamo infatti che la velocità trovata per la nostra macchina sia $v = 8.34 \pm 5 \frac{m}{s}$

in questo caso non saremmo in grado di stabilire l'esito dell'esperimento, in quanto questo risultato sarebbe sì in accordo con il valore fornito dal costruttore (10 m/s), ma anche con uno completamente diverso (3 m/s ad esempio)...



5 - VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Ammettendo di avere un esito con un'incertezza *ragionevole*, possiamo invece, come al solito, avere una:

CONFERMA - l'esito avvalorava l'ipotesi ed è coerente con quanto atteso entro l'incertezza trovata

CONFUTAZIONE - l'esito non è concorde con l'ipotesi di partenza entro l'incertezza trovata

consideriamo però un altro possibile esito:

FALSA CONFUTAZIONE - l'esito non è concorde con l'ipotesi trovata...ma ciò è dovuto ad alcune incorrettezze riconoscibili nella misura.

Supponiamo di aver trovato ad esempio l'esito:

$$v = 9.05 \pm 0.6 \frac{m}{s}$$



5 - VALUTAZIONE DEI RISULTATI

Un po' adirati ci rivolgiamo al costruttore, chiamandolo per chiedere spiegazioni.

Molto gentilmente esso ci risponde comunicandoci che la velocità da loro fornita è da intendersi "Nel vuoto" e che nella nostra esperienza non è stata valutata e sottratta la resistenza dovuta all'attrito con l'aria.

In questo caso quella che abbiamo ottenuto potrebbe trattarsi di una falsa confutazione...ossia è necessario screditare l'esperienza effettuata, **NON** l'ipotesi di partenza!.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young

R	Interpretazione
$< \frac{1}{150}$	Confutazione molto forte
tra $\frac{1}{150}$ e $\frac{1}{20}$	Confutazione forte
tra $\frac{1}{20}$ e $\frac{1}{3}$	Sostanziale confutazione
tra $\frac{1}{3}$ e 1	debole confutazione
1	esito nullo
tra 1 e 3	debole conferma
tra 3 e 20	sostanziale conferma
tra 20 e 150	conferma importante
> 150	conferma molto importante

6 - AGGIORNAMENTO BAYESIANO

Dopo aver valutato i risultati non resta che procedere come di consueto stabilendo un valore di R ed aggiornando il nostro livello di convinzione.

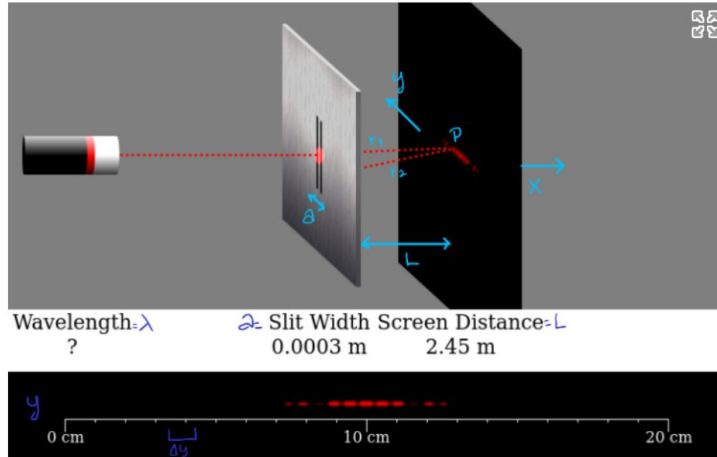
Nel nostro caso avendo ottenuto una falsa confutazione e non avendo ulteriormente esplorato l'ipotesi di resistenza in aria, possiamo concludere di aver ottenuto un ESITO NULLO, $R = 1$.

E la nostra convinzione relativa al valore riportato sulla scatola del nostro giocattolo rimane invariata

$$C_f = C_i = 0.9$$

Continuiamo a fidarci del costruttore allo stesso modo.

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young



Opportunamente decidi di allestire uno schermo ed una doppia fenditura, allineati in modo da poter eseguire l'esperimento di Young.

Sia questo il tuo laboratorio:

<https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Light-and-Color/Youngs-Experiment/Youngs-Experiment-Interactive>

Prova ad eseguire correttamente le misure per ottenere la lunghezza d'onda. (Si ricorda che il Massimo ed i minimi centrali sono di ordine 0, $m = 0$)

$\Delta y(m)$	$a(m)$	$L(m)$	m_1-m_2	lunghezza d'onda (nm)
	0.00025			
	0.00025			
	0.00025			

Aggiornamento Bayesiano e Fenomeni Ondulatori - Esperimento di Young

Using this Interactive

The Young's Double Slit Experiment Interactive is shown in the iFrame below. There is a small hot spot in the top-left corner. Clicking/tapping the hot spot opens the Interactive in full-screen mode. Use the Escape key on a keyboard (or comparable method) to exit from full-screen mode.

There is a second hot-spot in the lower-right corner of the iFrame. Dragging this hot-spot allows you to change the size of iFrame to whatever dimensions you prefer.

