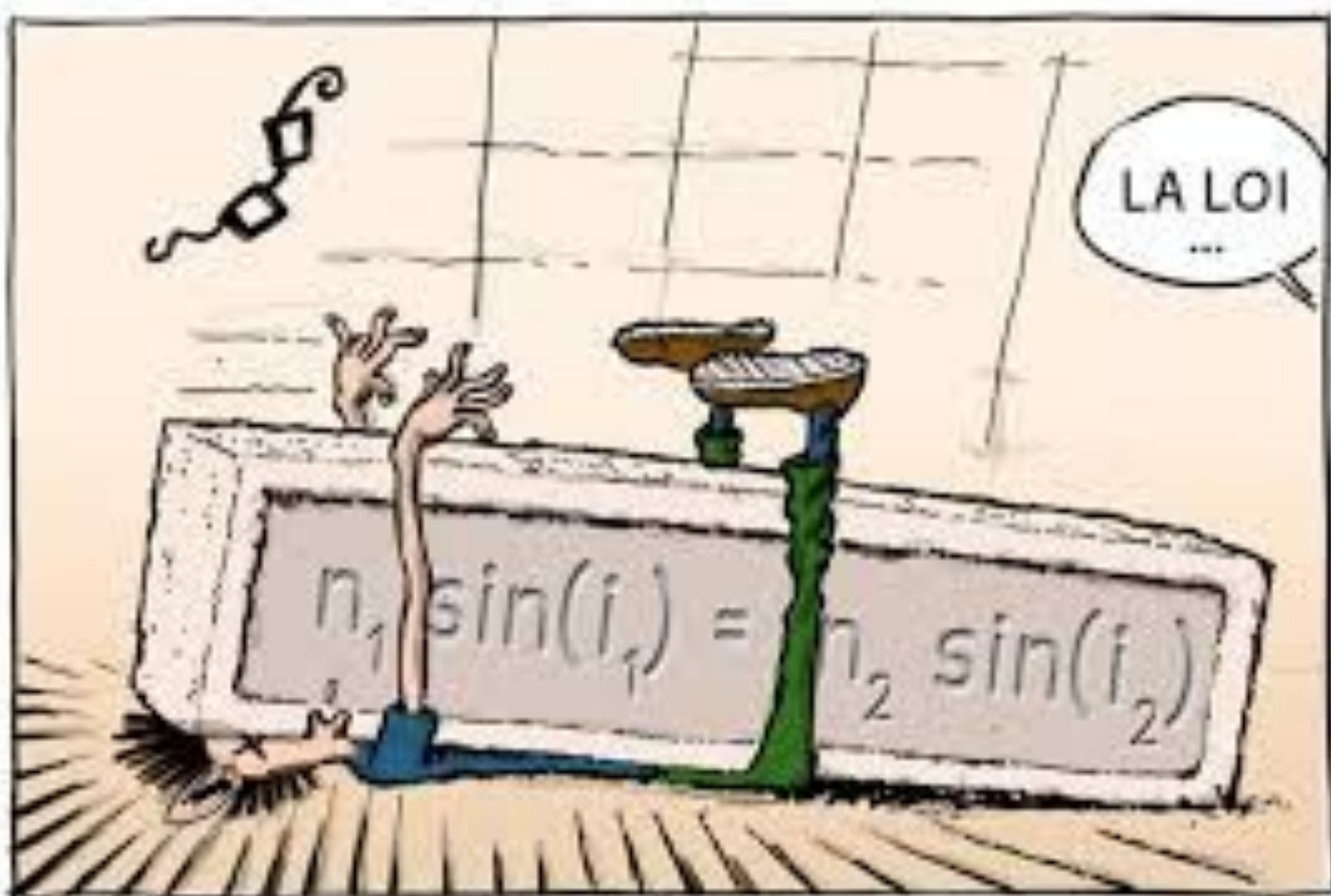


Physics Education Laboratory Lecture 19

Content Knowledge for Optics
and Acoustics

Francesco Longo - 13/12/21

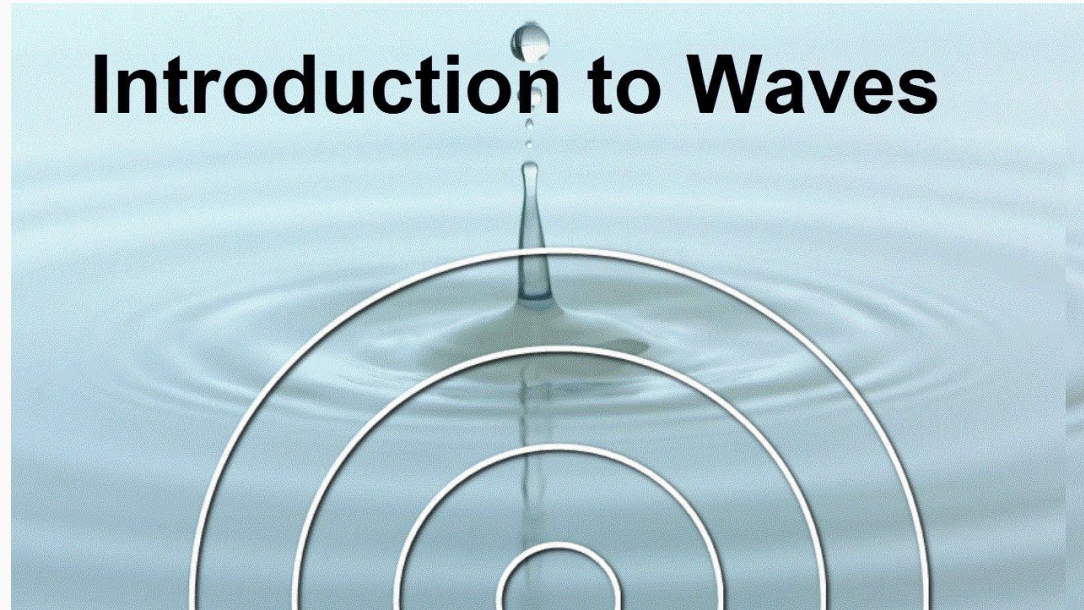


Geometric optics is when we treat light as a single beam (A ray) and study the properties. It deals with lenses, mirrors, phenomenon of total internal reflection, formation of rainbows, etc etc. In this case, the wavelike properties of light become insignificant as the objects we deal with are very huge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

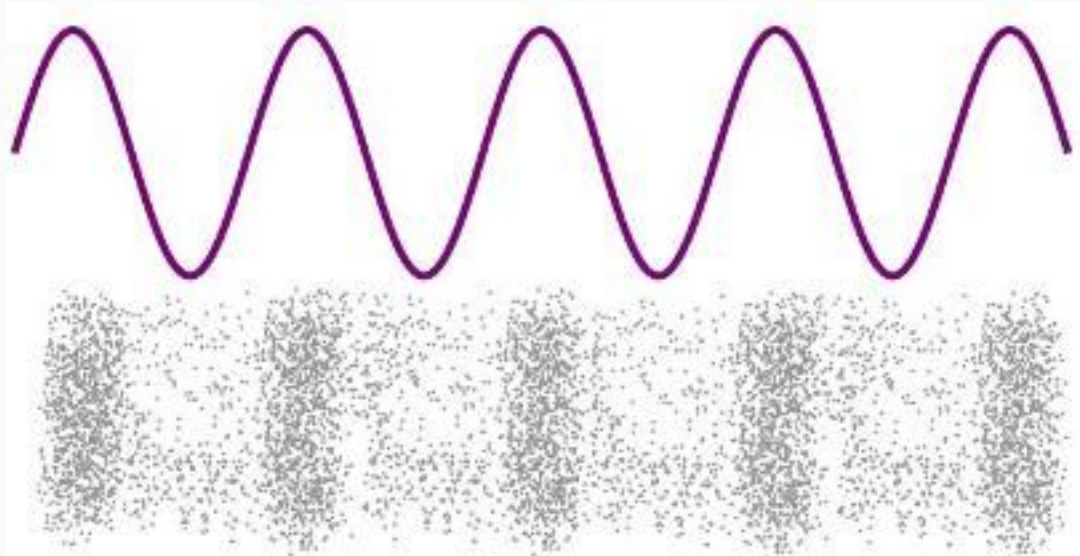
Key Concepts in Wave Physics

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



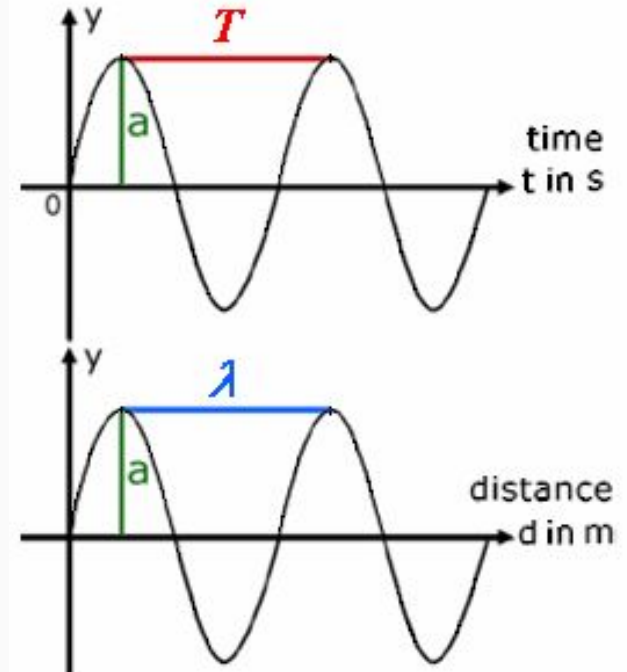
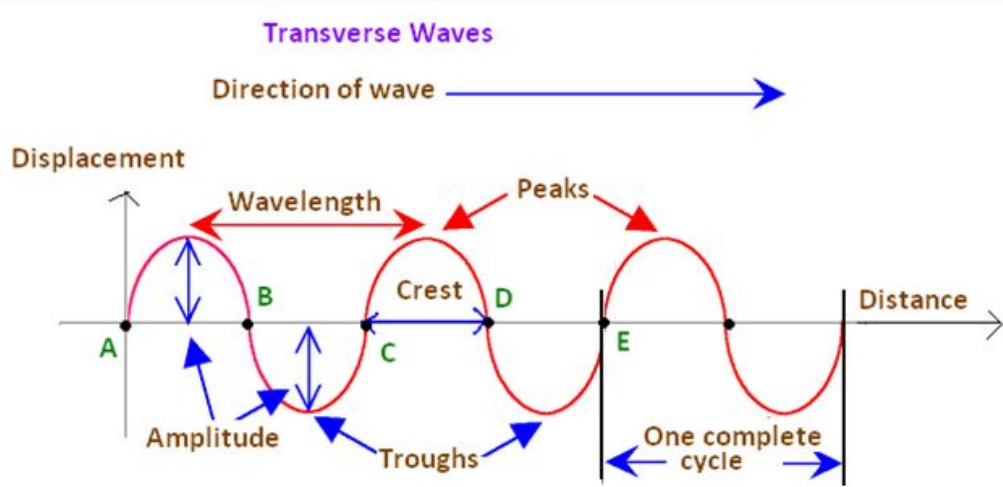
Key Concepts in Wave Physics

- Transverse vs Longitudinal waves



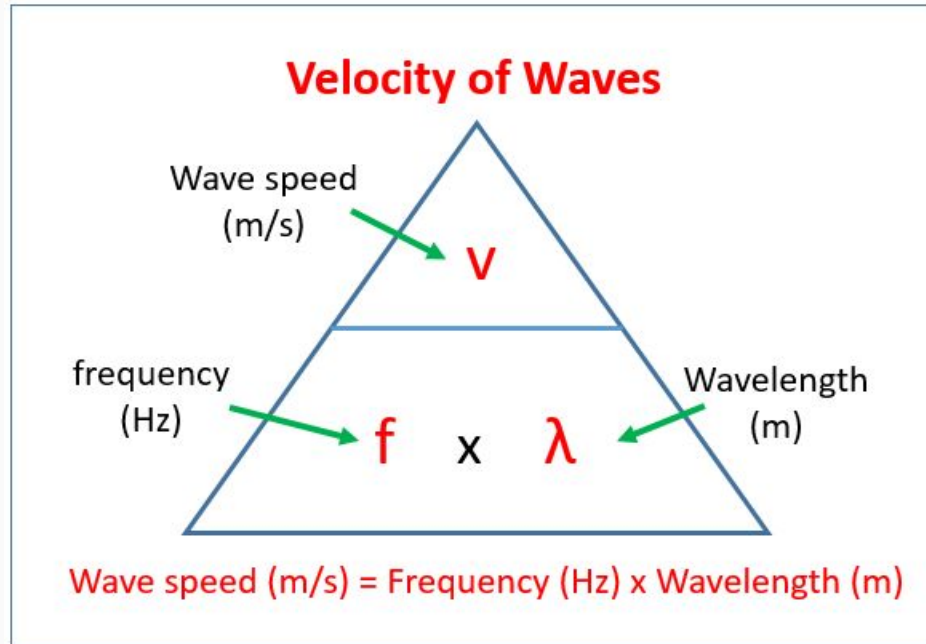
Key Concepts in Wave Physics

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

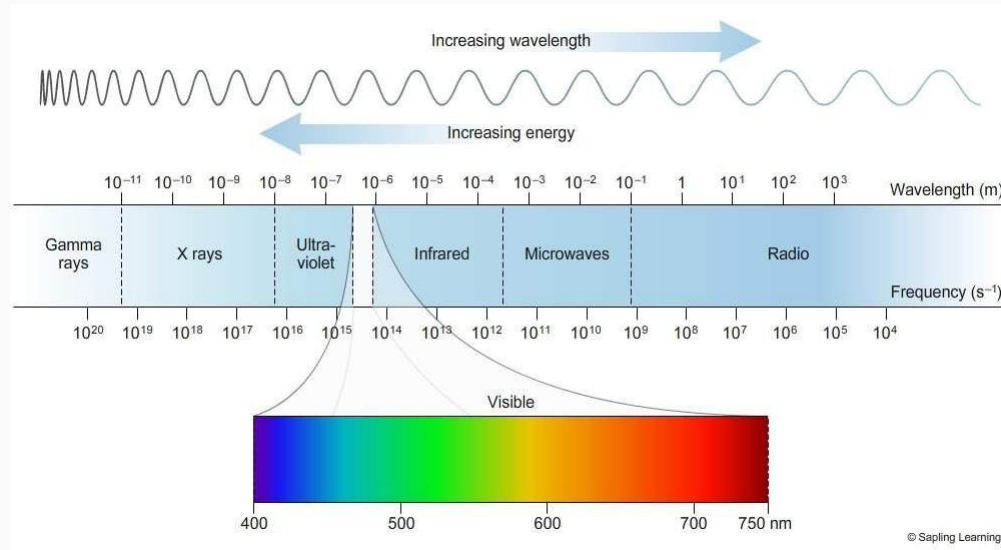
Combine to get the 1D differential wave equation:

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

works for anything that moves!

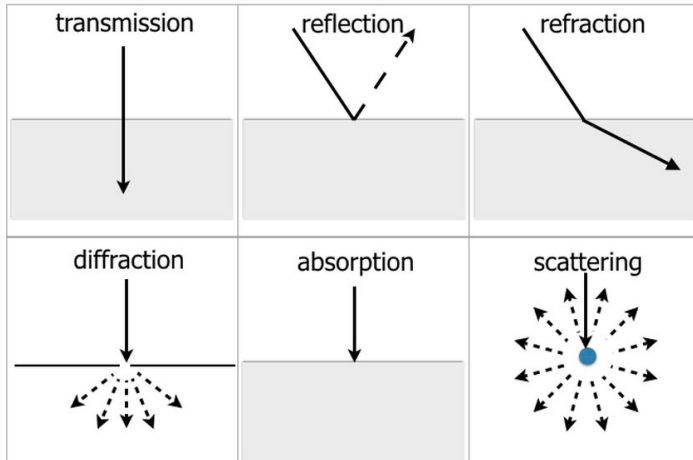
Key Concepts in Wave Physics

- The Electromagnetic spectrum

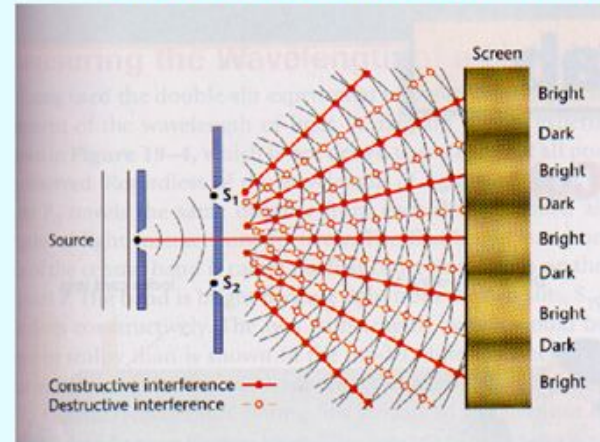


Key Concepts in Wave Physics

- Waves phenomena
- Interference
- Reflection and Refraction



Interference of Waves

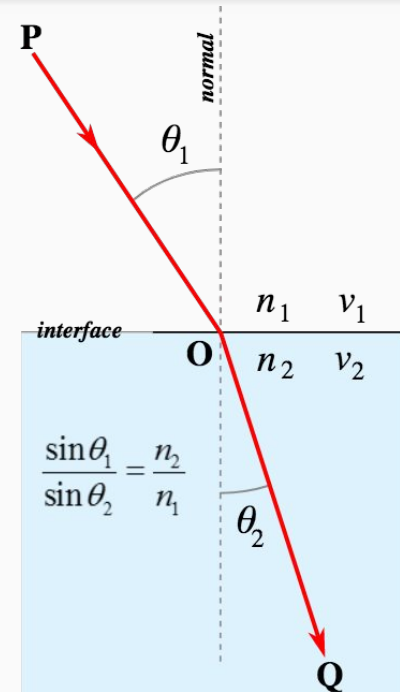
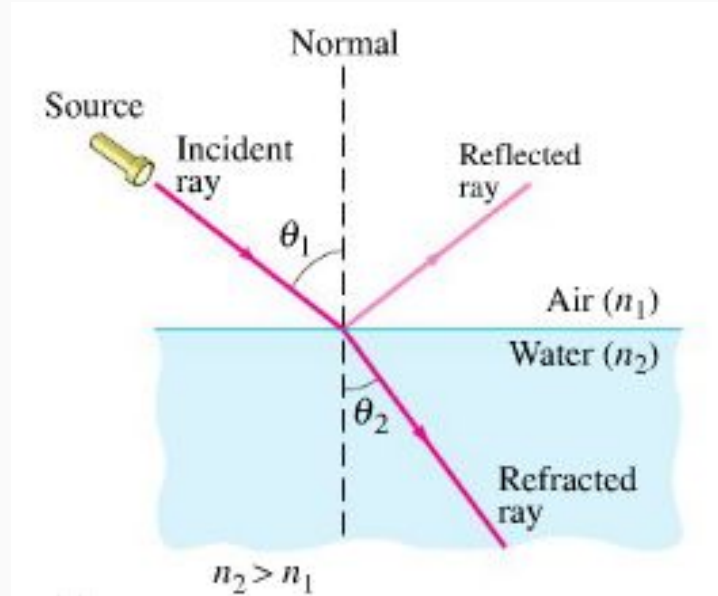


Constructive makes bright bands, destructive makes dark bands.

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

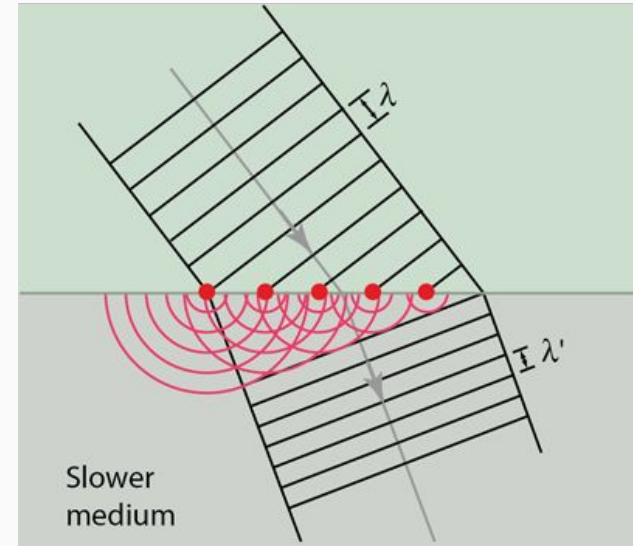
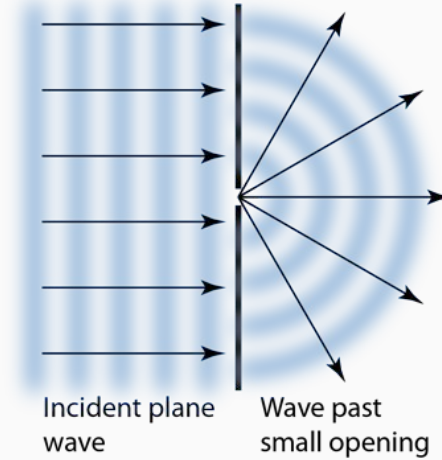
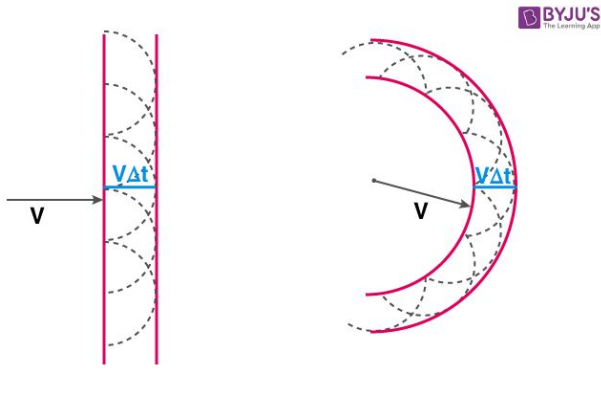
Key Concepts in Wave Physics

- Snell's law



Key Concepts in Wave Physics

- The Huygens' principle



Key Concepts in Wave Physics

- Acoustic waves
- Intensity of sound

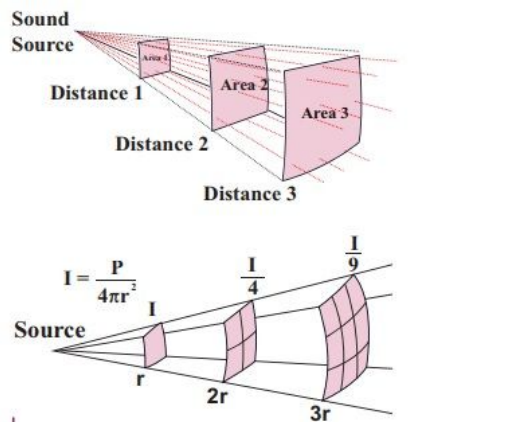
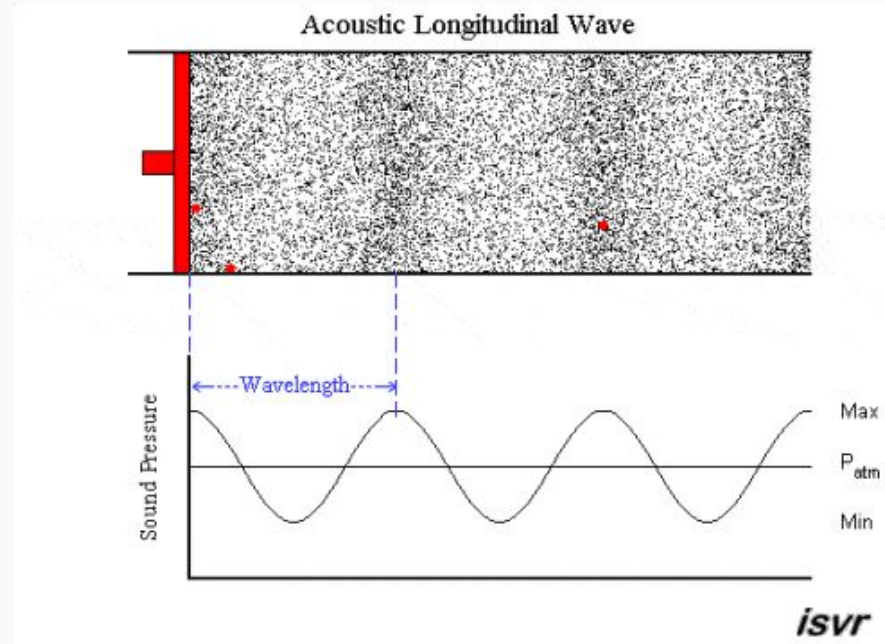
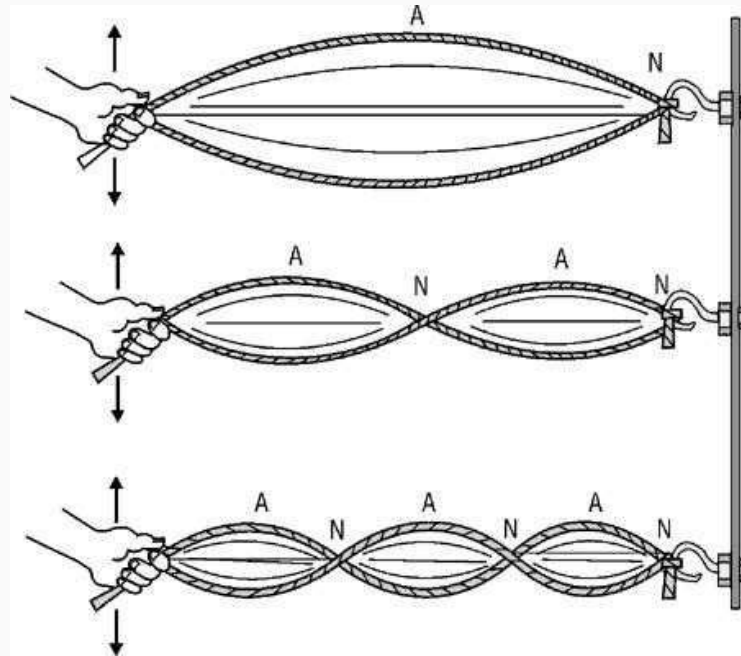


Figure 11.35 Intensity of sound waves



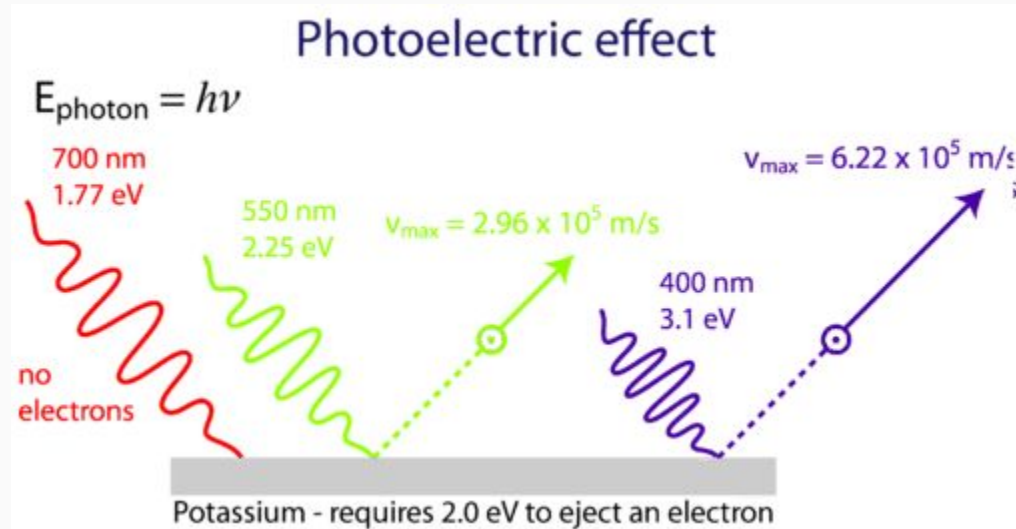
Key Concepts in Wave Physics

- Stationary waves



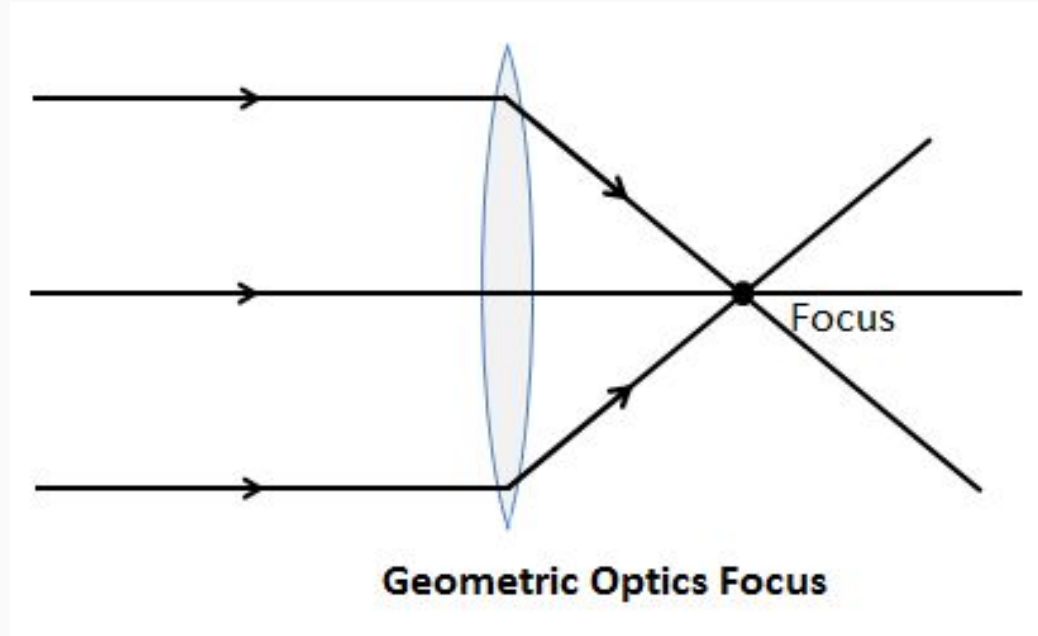
Key Concepts in Wave Physics

- Energy transported by waves



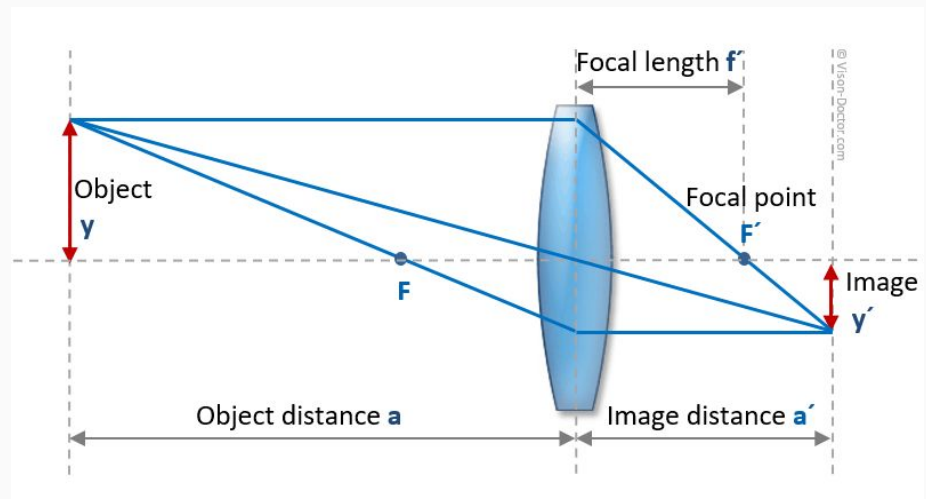
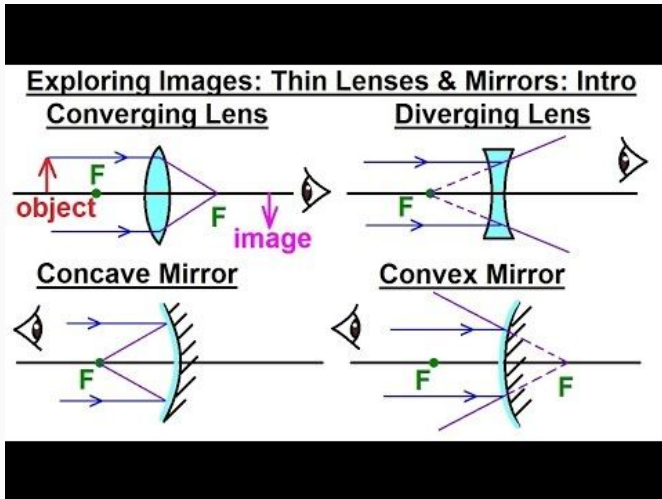
Key Concepts in Geometrical Optics

- Mirrors
- Lenses
- Prisms



Key Concepts in Geometrical Optics

- Image / Object
- Rays



Key Concepts in Geometrical Optics

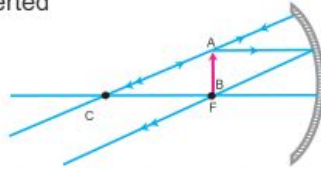
- Mirrors

Images Formed by Concave Mirror

Position of Object: at F

Position of Image: at infinity

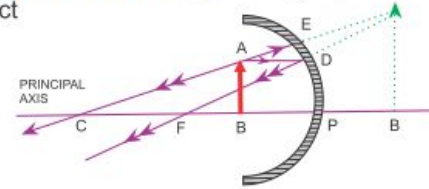
Properties of the image: highly enlarged, real and inverted



Position of Object: between F and P

Position of Image: behind the mirror

Properties of the image: enlarged, virtual and erect

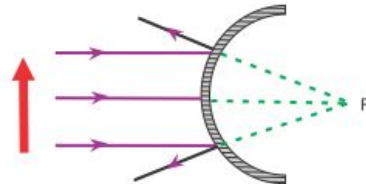


Images Formed by Convex Mirror

Position of Object: at infinity

Position of Image: at F behind the mirror

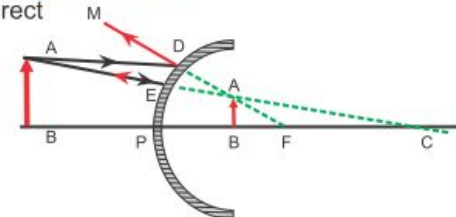
Properties of the image: highly diminished, virtual and erect



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 image contains two ray diagrams. The left diagram shows a convex lens with an object AB of height h at distance u from the optical center O. The image A'B' is formed at distance v from O with height h'. The focal points are F1 and F2, and the center of curvature is 2F1 and 2F2. The right diagram shows a concave lens with an object AB of height h at distance u from the optical center O. The image A'B' is formed at distance v from O with height h'. The focal point is F1 and the center of curvature is 2F1.

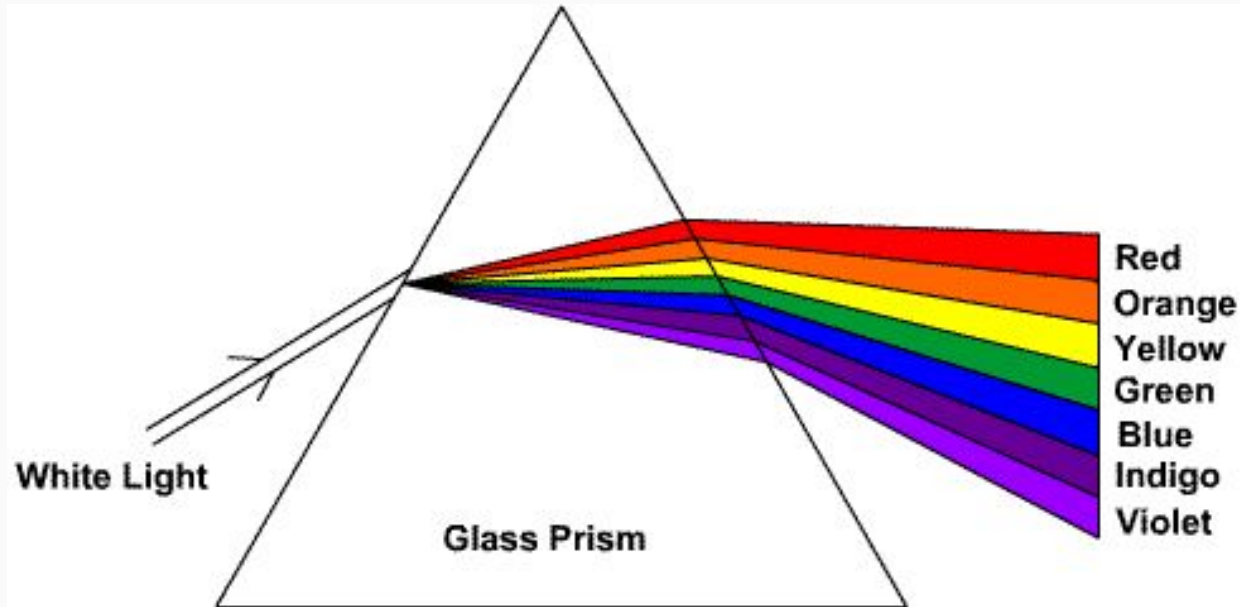
Convex Lens **Concave Lens**

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

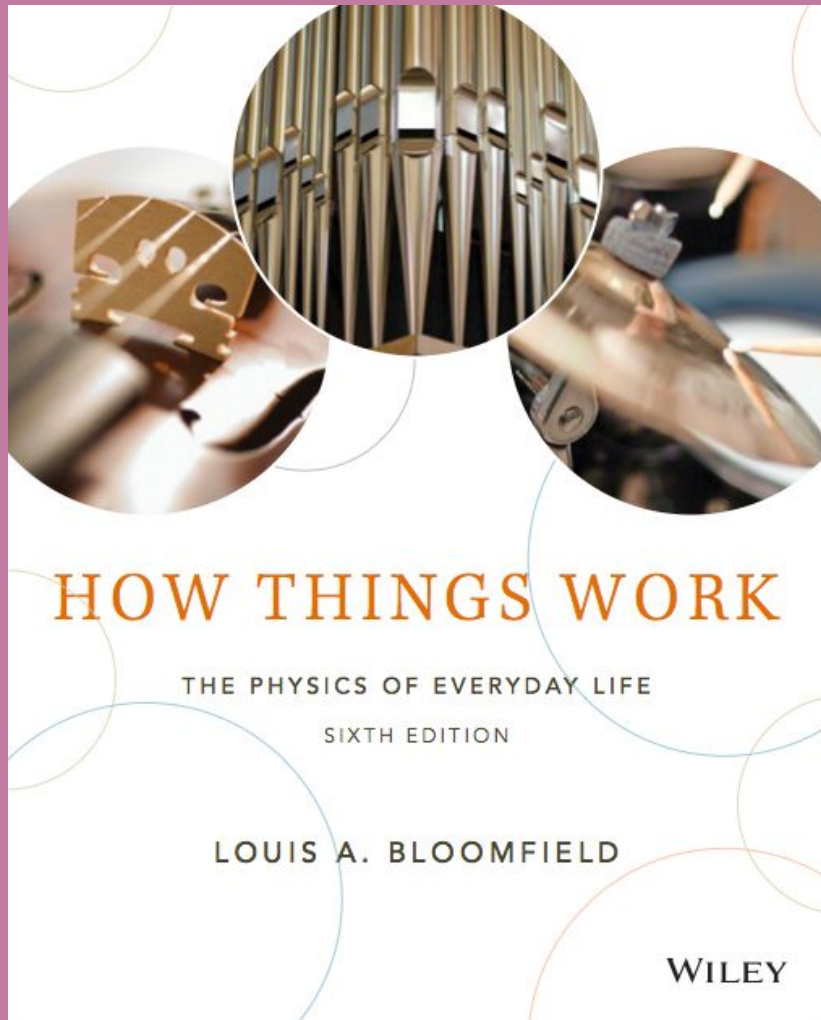
Foreword by Sir Arnold Wolfendale



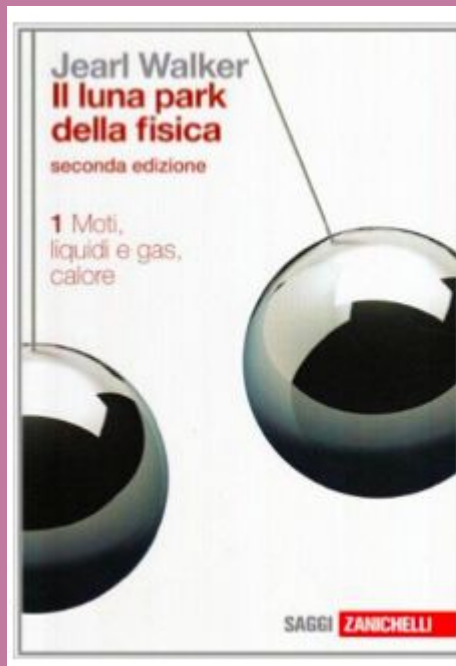
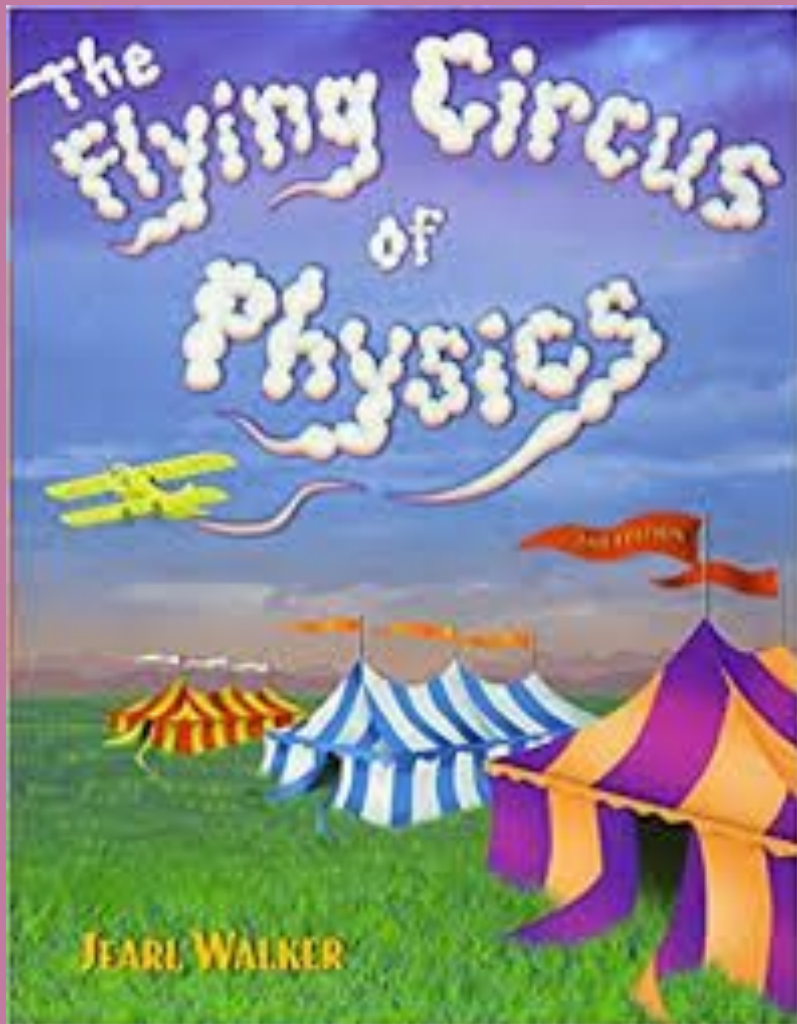
EDP
SCIENCES

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

Ch. 3



Ch. 9, Ch. 13





The Flying Circus of Physics

- Home
- The Book
- Topics
- Store 
- News/Updates
- Other Publications
- Flying Circus Blog
- About Jearl Walker
- Links
- Email Sign Up

amazon
SHOP. CONNECT. ENJOY. Privacy

Site Map
Privacy Statement
Terms of Use
Contact Us

© 2020 Jearl Walker. All Rights Reserved

The Flying Circus of Physics is a book about curious events and effects of the everyday world. This site is an extension of the book.

Spotlight story for this month: Click on the title down below here
Secondary stories for this month: Click on "News/Updates" in menu at the left
Archived stories and links (hundreds): [1A](#), [1B](#), [1C](#), [1D](#), [1E](#), [1F](#), [1G](#), [2A](#), [2B](#), [2C](#), [2D](#), [2E](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), and [Z](#)
Index to this site and the book, not only individual terms but also collections, such as "Pub physics" and "Accidents" and "Stunts": [A](#), [B](#), [C](#), [D](#), [E](#), [F](#), [G](#), [H](#), [I](#), [J-K](#), [L](#), [M-O](#), [P-Q](#), [R](#), [S](#), [T-Z](#)

Seven videos in my Flying Circus of Physics video series with Cleveland State University has been posted. About one per month is going up. <https://www.youtube.com/channel/UChrOvC-DFkPNxKlxe-XKD3g>

Facebook Flying Circus of Physics site (public site): my old television videos, many photos, and more stories. Here is the [link](#). Come for a visit.
Jay Waller stories: [Physics for Citations](#) (over 11,000) and links (over 2000) for items in the book (pdf files): [Chap 1](#), [Chap 2](#), [Chap 3](#), [Chap 4](#), [Chap 5](#), [Chap 6](#), [Chap 7](#)

--- Jearl Walker



Flying Circus Of Physics Spotlight

[Sports initiated earthquakes](#)
Friday, April 01, 2016
 Fans at some sporting events can be so enthusiastic that they shake the ground enough for seismic detectors to record ground waves. With coordinated jumping, you would think the stadium would collapse.

Flying Circus Of Physics Sample

Run or walk in the rain?
 Should you run or walk when crossing a street in the rain without an umbrella (Fig. 1-1)?
 Running certainly means that you spend less time in the rain, but it also means that you may be intercepting more of the raindrops. Does the answer change if a wind blows the drops either toward or away from you?
[MORE](#)

<http://www.flyingcircusofphysics.com/>



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

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 Fasci chiari e scuri 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 nevicate 138

6.22 Fine del fascio dei riflettori 139

6.22 CURIOSITÀ Raggi solari del solstizio d'inverno a Newgrange 139

6.23 CURIOSITÀ Lampo verde 140

6.24 Distorsione del sole basso sull'orizzonte 141

6.25 Luna rossa durante le eclissi lunari 142

6.26 Rischiaramento della parte superiore dei cumulonembi 142

6.27 Miraggio dell'oasi 143

6.28 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 Sparizione 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

6.86 CURIOSITÀ Mangiatori di spade ed esofagoscopia 200

6.87 CURIOSITÀ Mangiatori di spade ed esofagoscopia 200

6.88 Ottica 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

6.57 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

6.86 CURIOSITÀ Mangiatori di spade ed esofagoscopia 200

6.87 CURIOSITÀ Mangiatori di spade ed esofagoscopia 200

6.88 Ottica 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

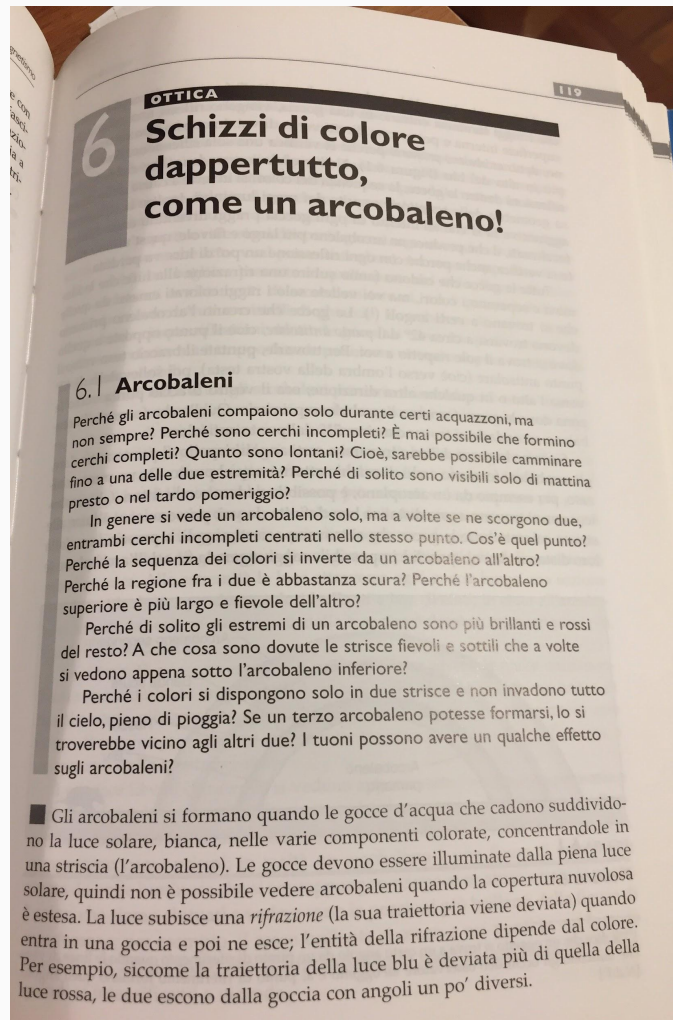
6.143 Scie
 6.144 Nu
 6.145 Lu
 6.146 In
 6.147 Ri
 6.148 N
 6.149 L
 6.150 F
 6.151 F
 6.152
 6.153
 6.154
 6.155
 6.156

7.1
 7.2
 7.3
 7.4

- 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 (!). 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!

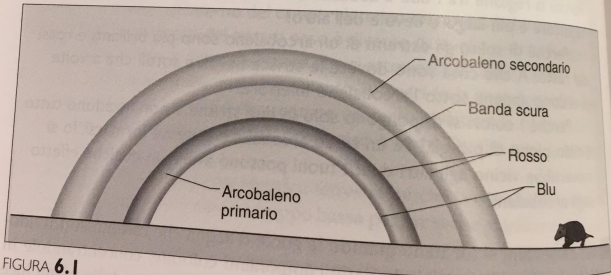


FIGURA 6.1

Problema 6.1.

(!) 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 [N.d.T.]

Il meccanismo è una volta dalla luce, il rosso sta e richiede due sa della divergenza la riflessione ancora meno l'ultimo effetto è perduta. ce che le illu- ssi da quello no primario osto a quello teso verso il atelo di 42° ta verso la nno l'arco-

antisolare, punto rialzato. Gli arcobaleni contribuiscono 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!

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 ternario e quaternario (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, uscire 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-

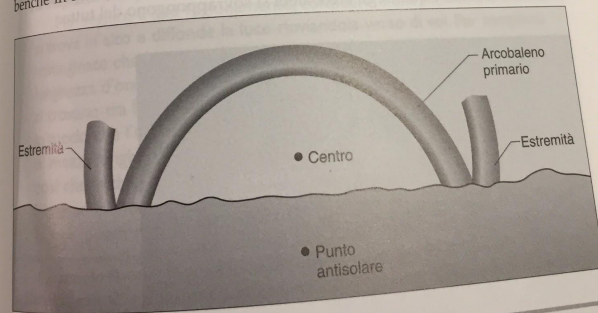


FIGURA 6.2

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.

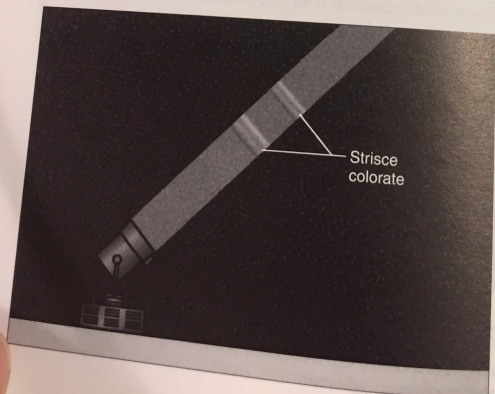


FIGURA 6.3

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

La luce dalle gocce è giusta per il riflettore corcosi cheché diGli sferetenti a nune luce è bizza d'acco sue c

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 bizzarri 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