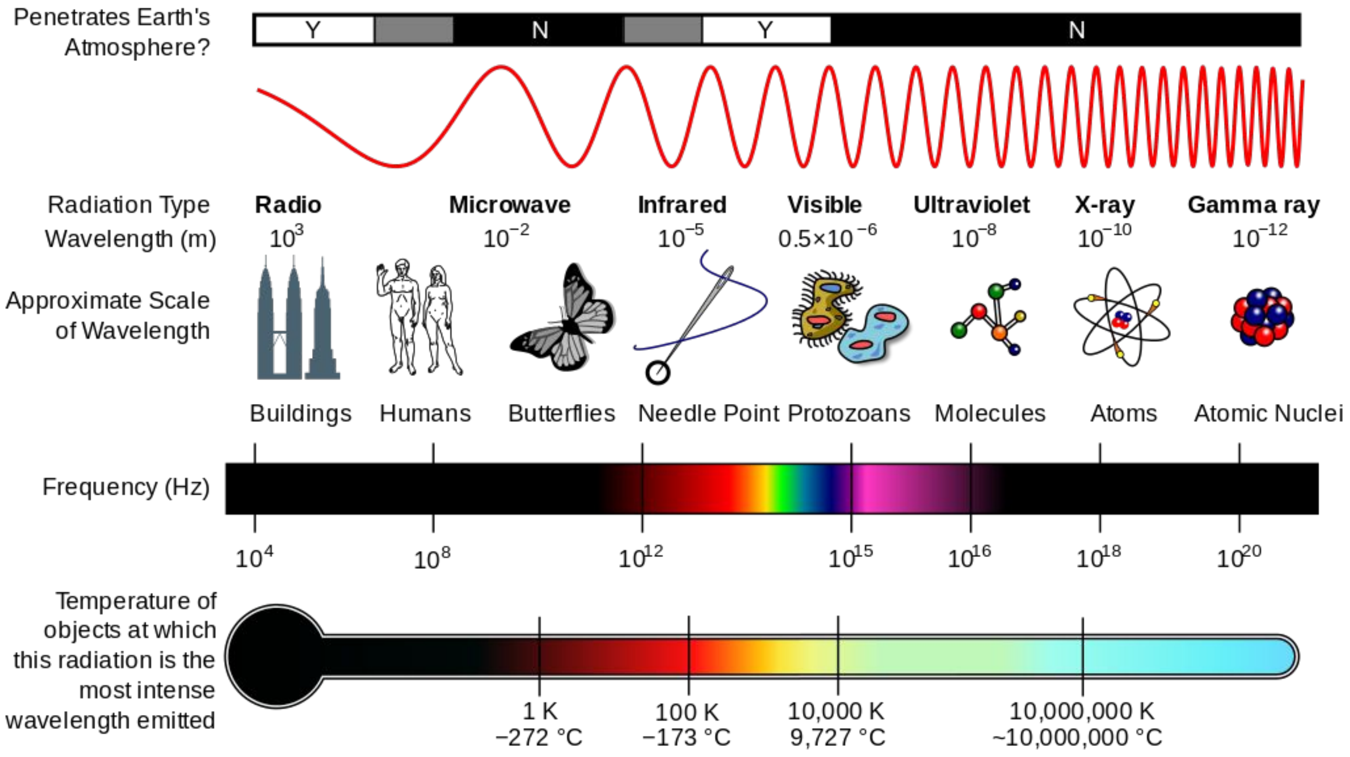
Fenômenos ópticos na atmosfera

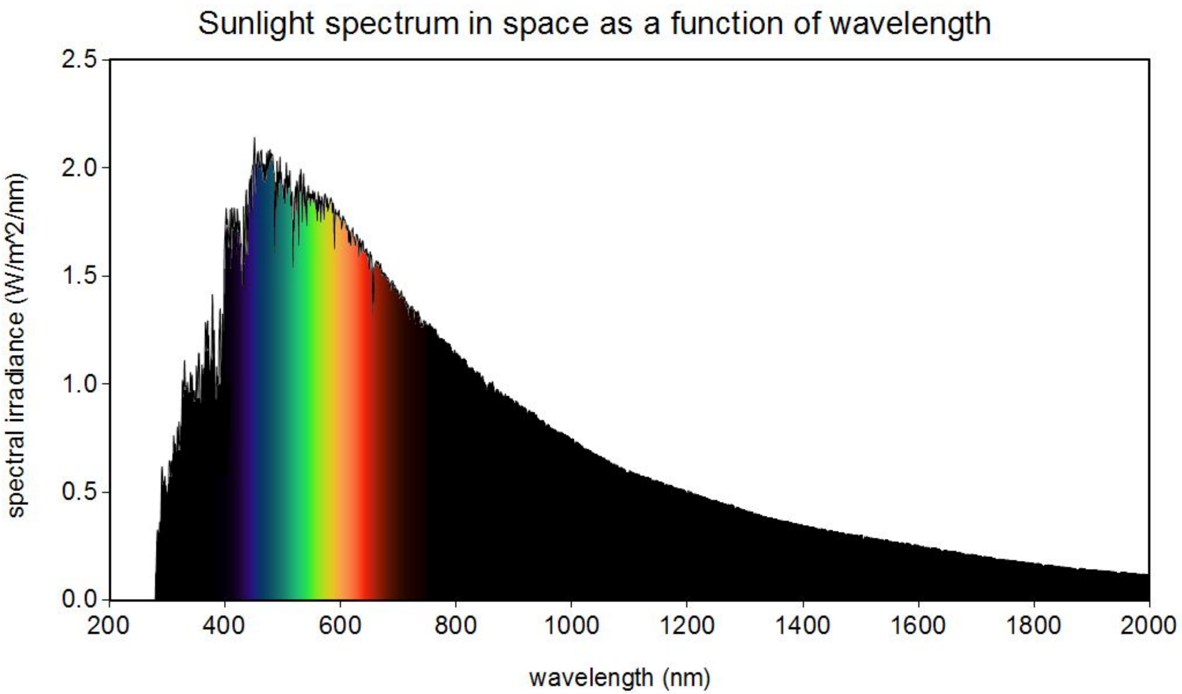
Grupo 9

André Vergili - 9796871
João Paulo Picchetti - 4447785

O espectro eletromagnético



O espectro do Sol



Absorção e espalhamento de luz

A interação de radiação com partículas da atmosfera é caracterizada por um parâmetro adimensional, que depende do comprimento de onda da radiação incidente e do raio da partícula:

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

- Óptica geométrica (x>>1)
- Espalhamento Mie (x~1)
- Espalhamento Rayleigh (x<<1)

Espalhamento Rayleigh

O espalhamento Rayleigh ocorre quando a partícula espalhadora é muito menor que o comprimento de onda da radiação incidente.

- Intensidade de luz espalhada:

$$I = I_0 \frac{1 + \cos^2\theta}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2 \left(\frac{d}{2}\right)^6$$

- Seção de choque de espalhamento:

$$\sigma_s = \frac{2\pi^5}{3} \frac{d^6}{\lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)^2$$

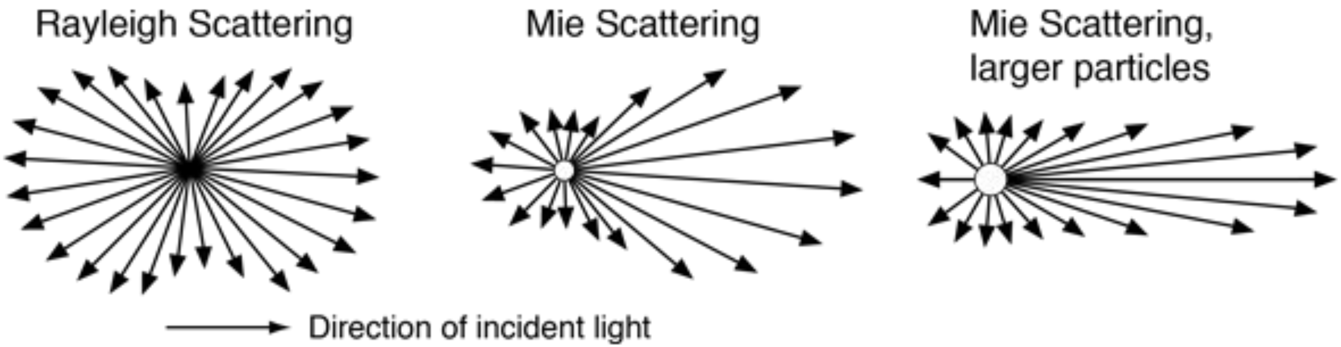
Espalhamento Mie

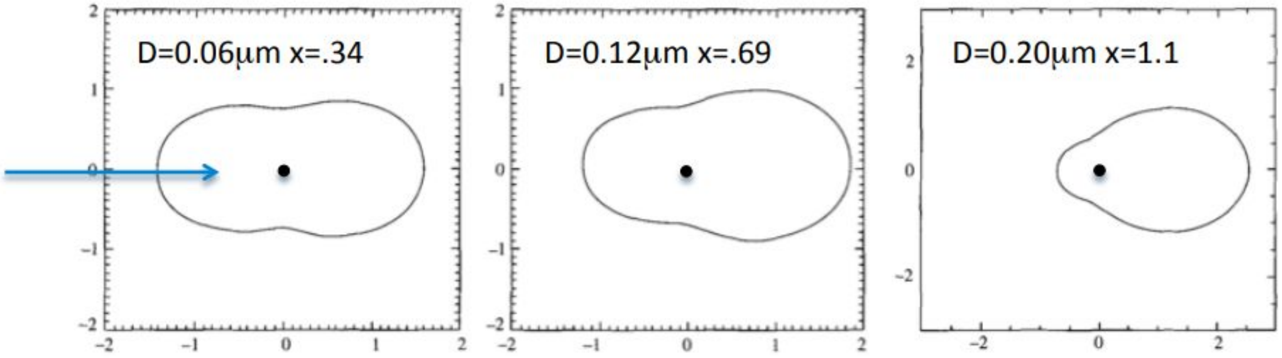
O espalhamento Mie ocorre quando o diâmetro da partícula espalhadora é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação incidente.

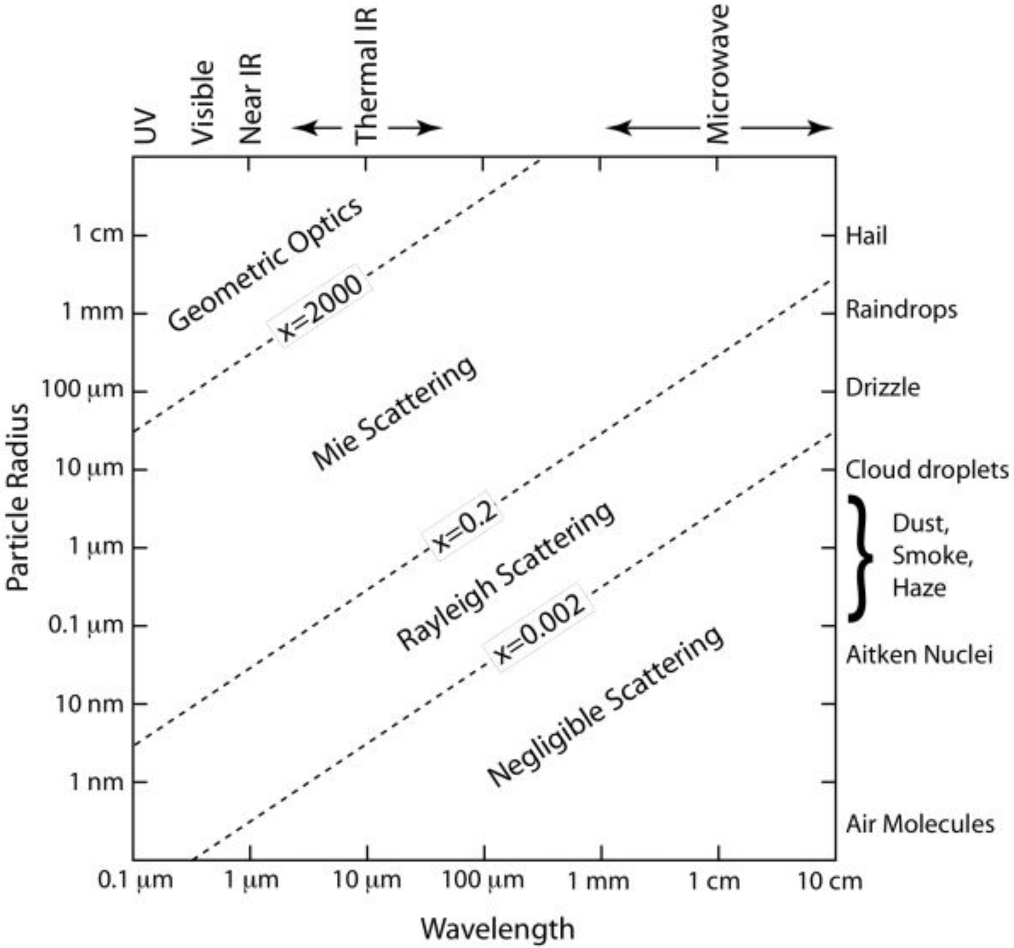
Pólen, aerossóis e gotas das nuvens são causadores do espalhamento Mie.

O espalhamento Mie não depende tão fortemente do comprimento de onda da radiação incidente.

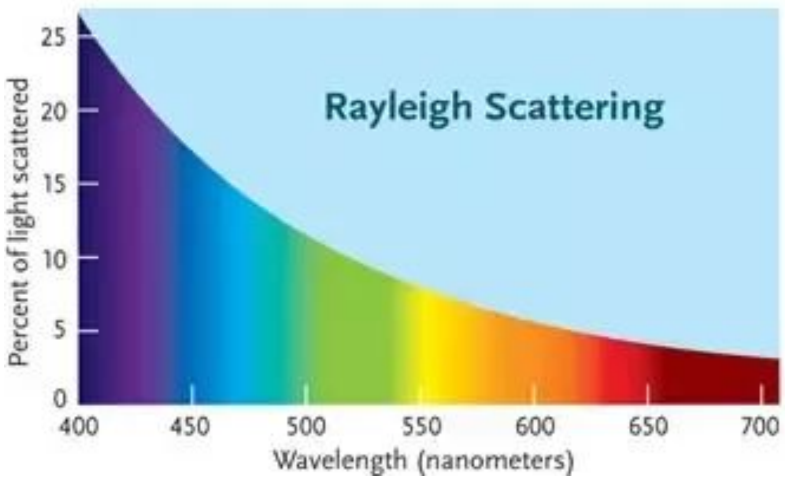
Rayleigh X Mie



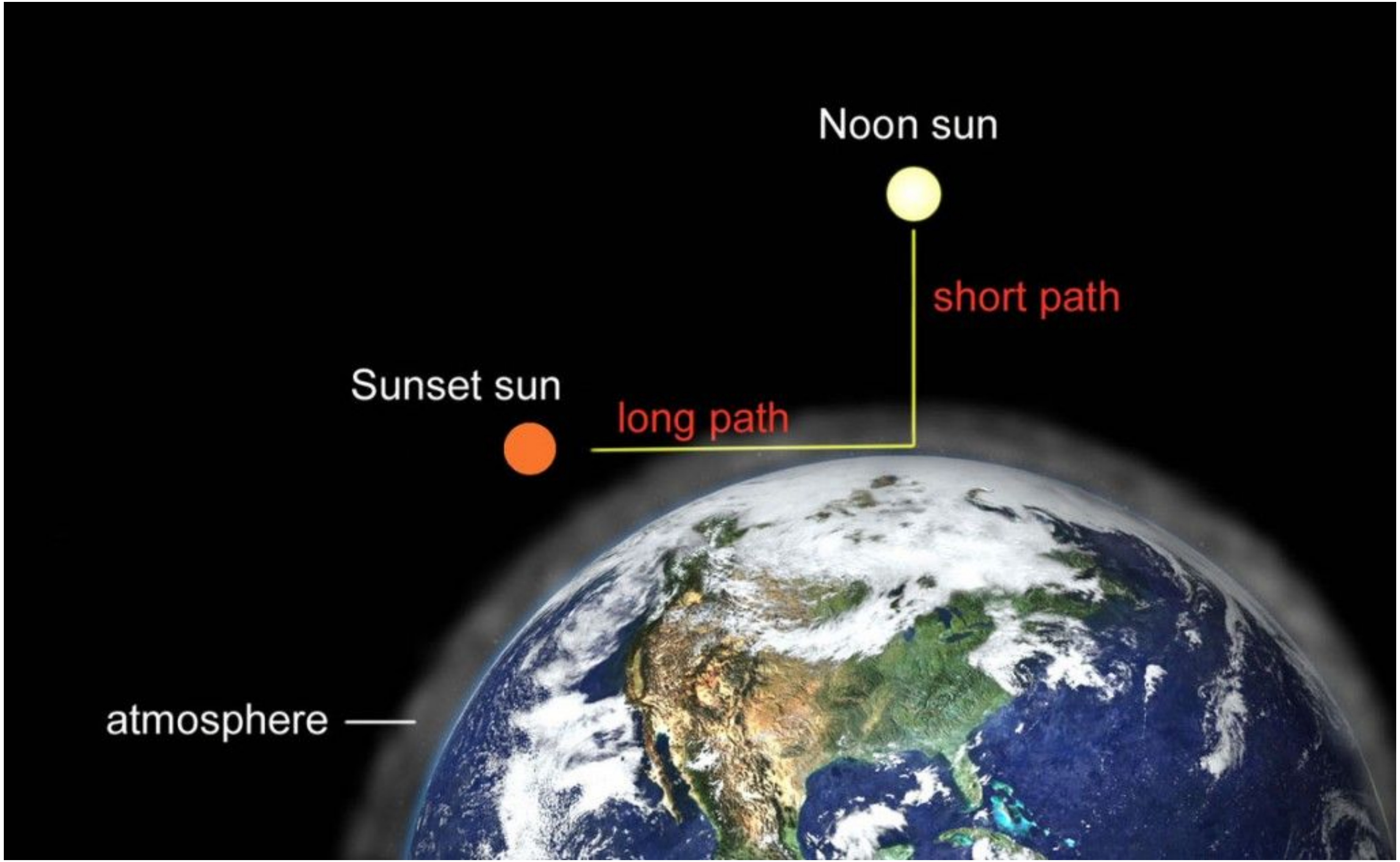



UV
Visible
Near IR
Thermal IR
Microwave
Geometric Optics
x=2000
Mie Scattering
x=0.2
Rayleigh Scattering
x=0.002
Negligible Scattering
Particle Radius
1 cm
1 mm
100 µm
10 µm
1 µm
0.1 µm
10 nm
1 nm
Hail
Raindrops
Drizzle
Cloud droplets
Dust,
Smoke,
Haze
Aitken Nuclei
Air Molecules
0.1 µm
1 µm
10 µm
100 µm
1 mm
1 cm
10 cm
Wavelength

Céu azul


Rayleigh Scattering
Percent of light scattered
25
20
15
10
5
0
400
450
500
550
600
650
700
Wavelength (nanometers)

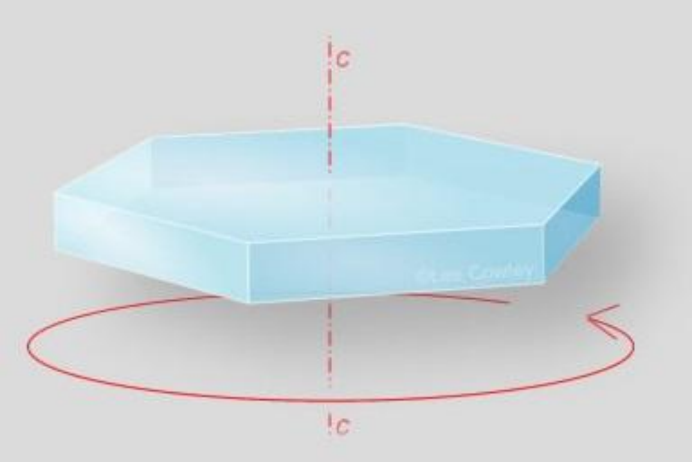
Pôr do Sol / Nascer do Sol

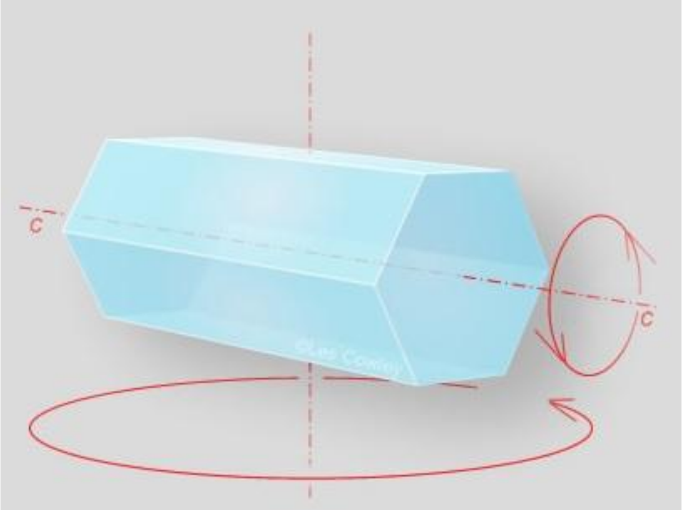

Noon sun
short path
Sunset sun
long path
atmosphere

Halos

-Associados a presença de nuvens tipo cirrostratus na troposfera (5-10 km)

-Podem ocorrer tanto com o Sol quanto a Lua



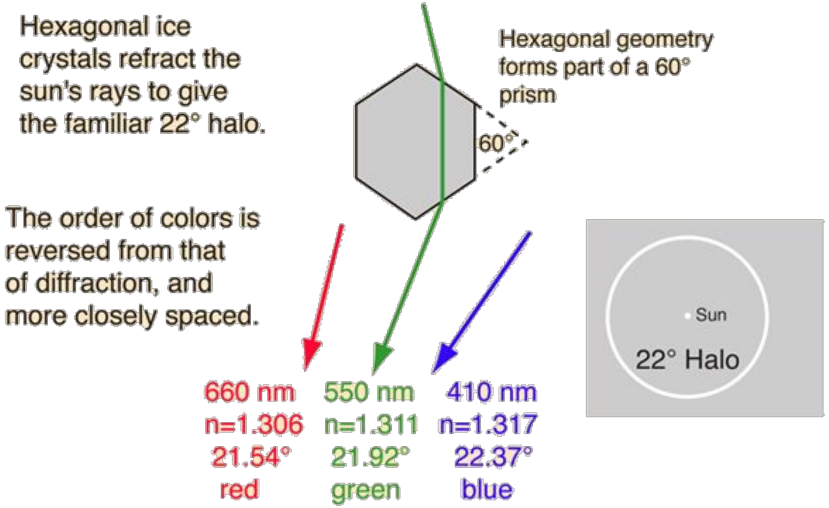


Diferentes orientações dos cristais produzem fenômenos diferentes:

- os discos estão mais frequentemente orientados na horizontal, pois apresentam uma configuração mais estável
- os cilindros encontram-se mais aleatoriamente espalhados mas apenas os orientados horizontalmente produzem fenômenos mais visíveis

Tipos de halos

-Halo de 22º: discos orientados horizontalmente refratam a luz que incide sobre as faces laterais



-Parélios: reflexão total dentro do disco aumenta a intensidade da luz até que ela escape do cristal

Tipos de halos

-Pilares: produzidos por reflexões nas faces horizontais dos discos ou refrações pelas faces laterais dos cilindros

-Arcos circunzenitais e circunhorizontais : produzidos por raios que entram a face horizontal e saem refratados pela face lateral dos discos

Arco-íris

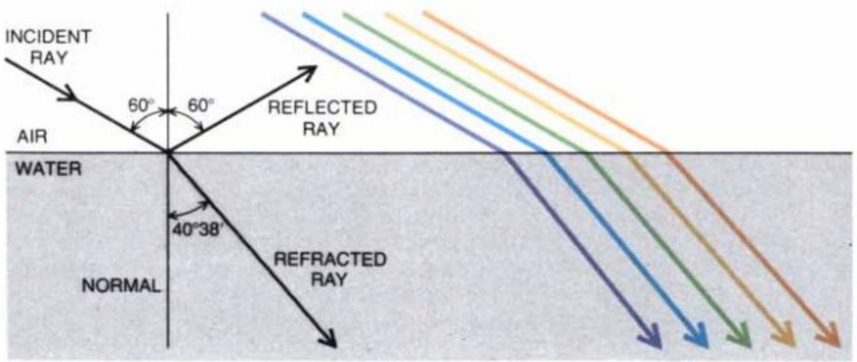
Arco íris secundário

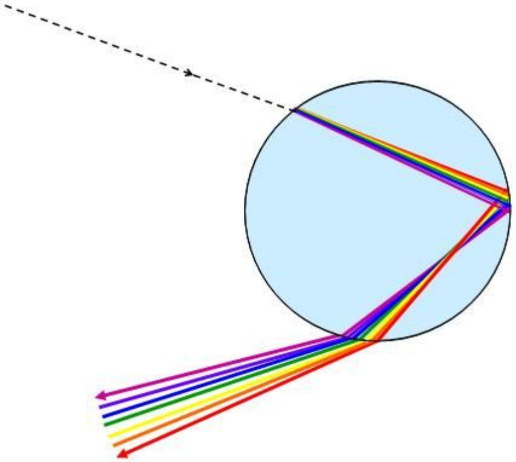
The Theory of the Rainbow

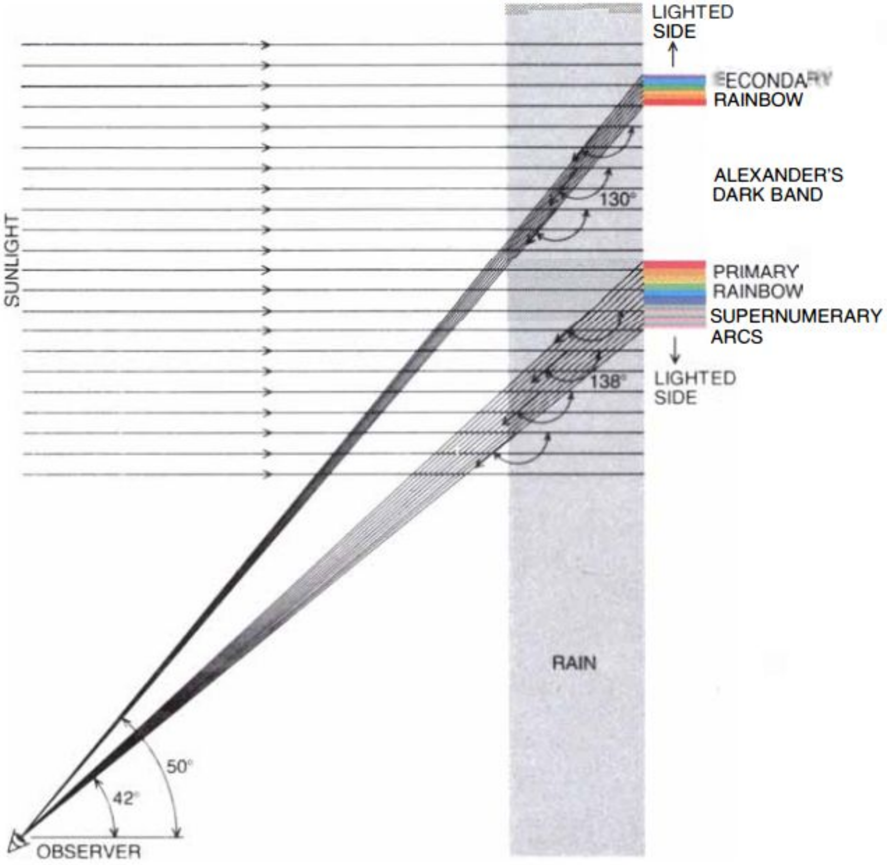
When sunlight is scattered by raindrops, why is it that colorful arcs appear in certain regions of the sky? Answering this subtle question has required all the resources of mathematical physics

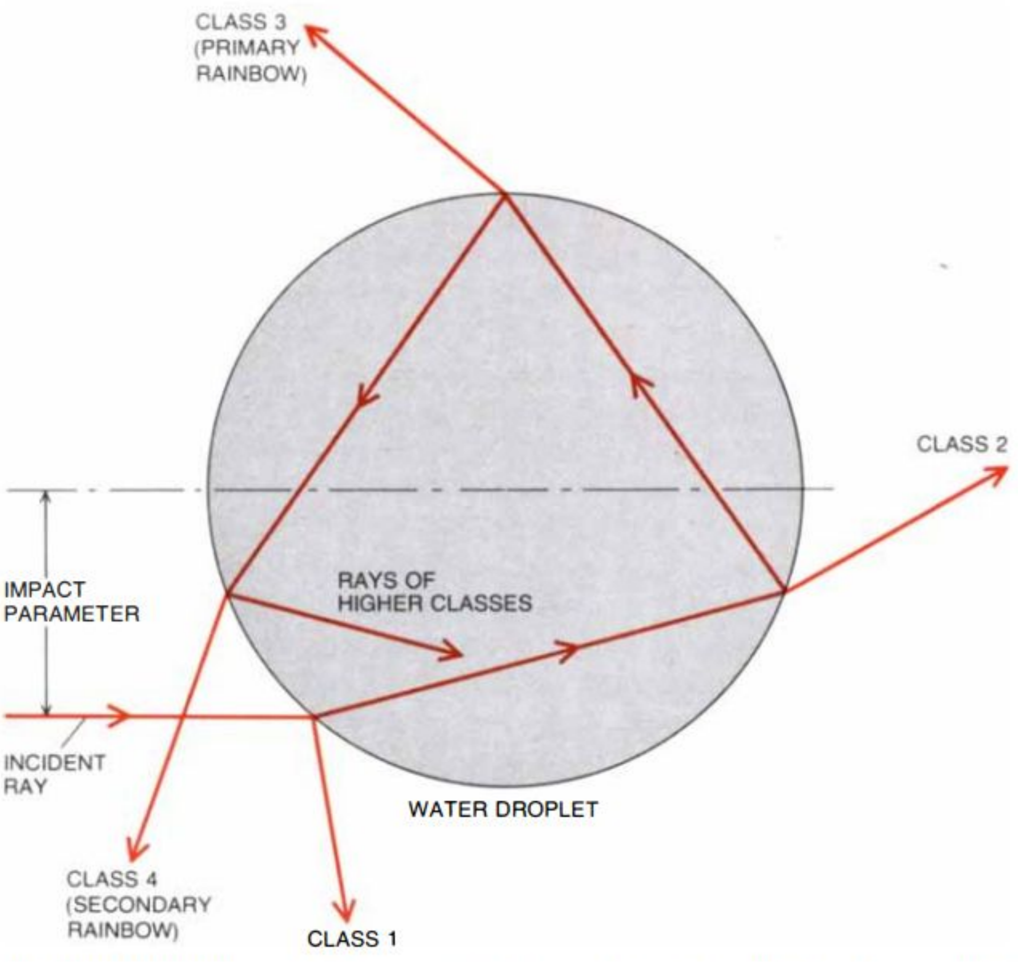
by H. Moysés Nussenzveig

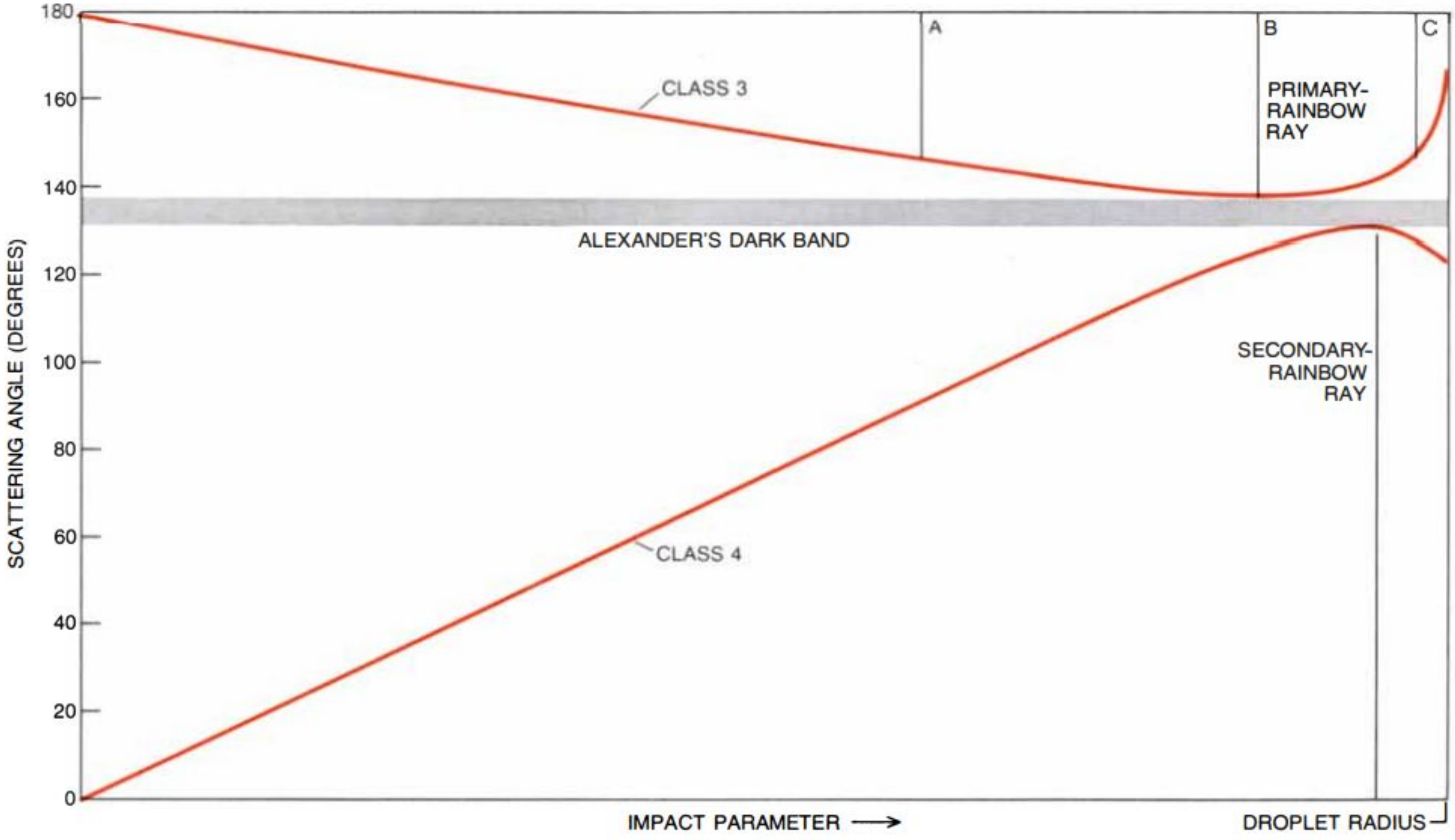
"Rainbows have long been a source of inspiration both for those who would prefer to treat them impressionistically or mathematically. The attraction to this phenomenon of Déscartes, Newton, and Young, among others, has resulted in the formulation and testing of some of the most fundamental principles of mathematical physics." K. Sassen [1].


INCIDENT
RAY
60°
60°
REFLECTED
RAY
AIR
WATER
40°38'
REFRACTED
RAY
NORMAL




LIGHTED
SIDE
RAINBOW
ALEXANDER'S
DARK BAND
130°
SUNLIGHT
PRIMARY
RAINBOW
SUPERNUMERARY
ARCS
138°
LIGHTED
SIDE
RAIN
50°
42°
OBSERVER


CLASS 3
(PRIMARY
RAINBOW)
CLASS 2
IMPACT
PARAMETER
RAYS OF
HIGHER CLASSES
INCIDENT
RAY
WATER DROPLET
CLASS 4
(SECONDARY
RAINBOW)
CLASS 1



180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
SCATTERING ANGLE (DEGREES)
A
B
C
CLASS 3
PRIMARY-
RAINBOW
RAY
ALEXANDER'S DARK BAND
SECONDARY-
RAINBOW
RAY
CLASS 4
IMPACT PARAMETER
DROPLET RADIUS

ELSEVIER

Physics Reports 356 (2002) 229–365

PHYSICS REPORTS

www.elsevier.com/locate/physrep

The mathematical physics of rainbows and glories

John A. Adam

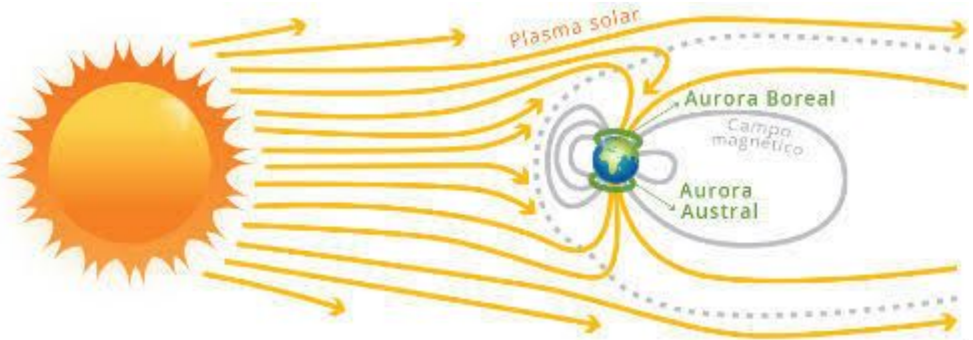
Department of Mathematics and Statistics, Old Dominion University, Norfolk, VA 23529, USA

Received May 2001; editors: J. Eichler, T.F. Gallagher

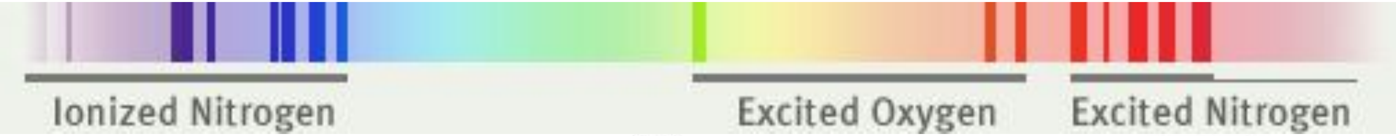
Auroras

-São causadas pelo fluxo de partículas vindas do Sol

-Principalmente envolve elétrons de 1 a 15 KeV, prótons e partículas alpha

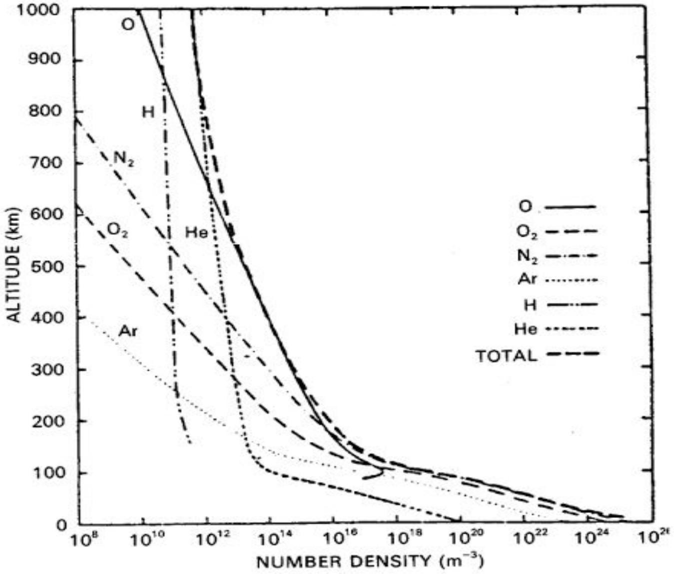


As cores da aurora



-Força dos eventos solares altera a altitude de ocorrência

-Altitude determina os átomos envolvidos e portanto, a cor do fenômeno



In the mesosphere the major species are:

20% O_2

80% N_2

Above 150 miles — red — oxygen
Up to 150 miles — green — oxygen
Above 60 miles — purple or violet — nitrogen
Up to 60 miles — blue — nitrogen

Tipos de auroras

Arcos: atividade solar menos intensa e vistos de latitudes mais baixas

Bandas: tipo mais comum, apresentam movimentos complicados

Tipos de aurora

Pilares: atividade solar mais intensa, maior extensão e luminosidade

Artificial: teste nuclear americano Starfish prime, 1962, 400 km de altitude

Referências

- The Theory of the Rainbow - H. Moysés Nussenzveig
- The mathematical physics of rainbows and glories - John A. Adam
- https://en.wikipedia.org/wiki
- http://www.metoffice.gov.tt/sites/default/files/Optical%20Phenomena.pdf
- https://www.atmos.illinois.edu/~nriemer/education/optics_learning_module.pdf
- Slides da aula 12 - Prof. Henrique M. J. Barbosa
  http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/IntroFisAtmos2019/aula12.pdf
- https://pages.mtu.edu/~scarn/teaching/GE4250/scattering_lecture_slides.pdf
- Atmospheric Optics UK - https://www.atoptics.co.uk/
- -Aurora Borealis Observatory- https://auroraborealisobservatory.com
- -https://www.thoughtco.com/causes-aurora-borealcolors-607595