

Тепловой поток из недр Земли

$$Q = -\lambda \text{ grad } T$$

$$\text{grad } T = 0.01 - 0.05 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{м}$$

$$Q \sim 0.1 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$$S_0 = 1367 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

Источники энергии в недрах Земли

1. Распад радиоактивных U, Th, ^{40}K ,
 ^{26}Al , ^{60}Fe

2. Гравитационная дифференциация

3. Приливная диссипация

4. Гравитационное сжатие

5. Химические реакции и фазовые
переходы (источники и стоки энергии)

Время тепловой релаксации шара

$$\tau \sim \frac{R^2}{\chi}$$

6 371 000 м

χ

$5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$

$$\chi = \frac{\lambda}{c_p \rho}$$

возраст Земли
 $4.6 \cdot 10^9$ лет !!!

Время тепловой релаксации шара

$$\tau \sim \frac{R^2}{\chi}$$

300 км

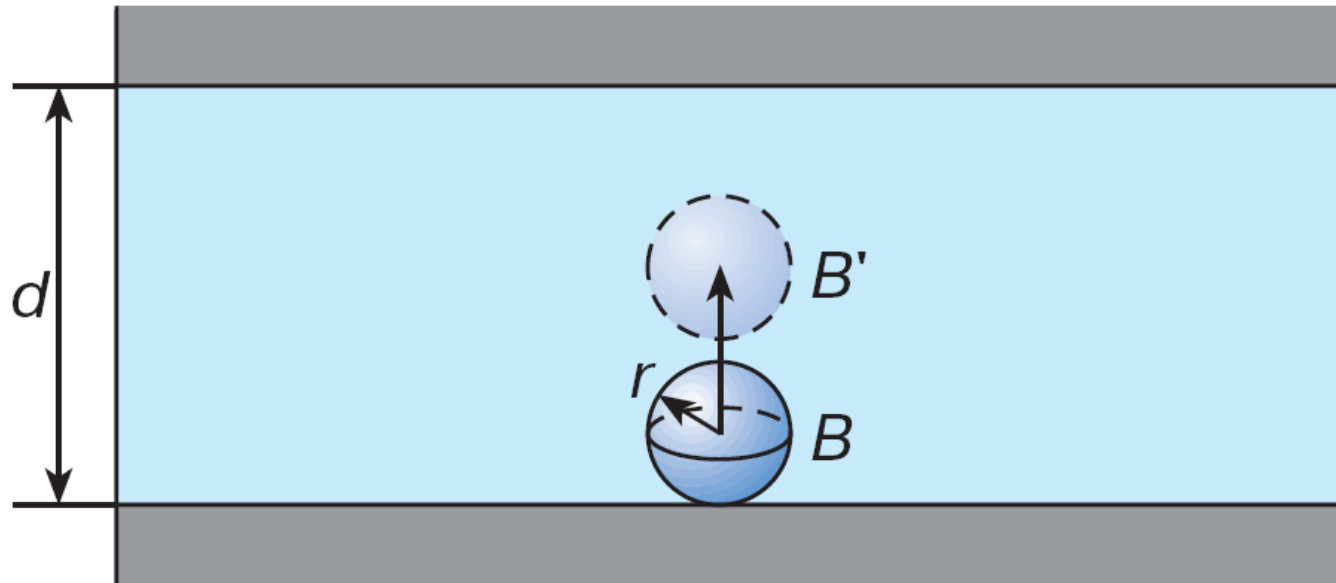
$5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$

возраст Земли

$4.6 \cdot 10^9$ лет !!!

Конвекция в мантии?!

Конвективная неустойчивость



$$Ra = \frac{g \alpha \Delta T d^3}{\chi \nu}$$

число Рэлея

Характер границ поверхности	$Ra_{кр}$
Обе свободные	657,11
Обе жесткие	1707,76
Верхняя свободная, нижняя жесткая	1100,65

$$\alpha \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\chi \approx 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{c}$$

$$\nu \approx 10^{17} \text{ m}^2 / \text{c}$$

$$\Delta T \approx 10^3 \text{ K}$$

$$d \approx 10^6 \text{ m}$$

$$\text{Ra} = \frac{g \alpha \Delta T d^3}{\chi \nu}$$

$$\text{Ra} \sim 10^6$$

$$\text{Ra} \gg \text{Ra}_c$$

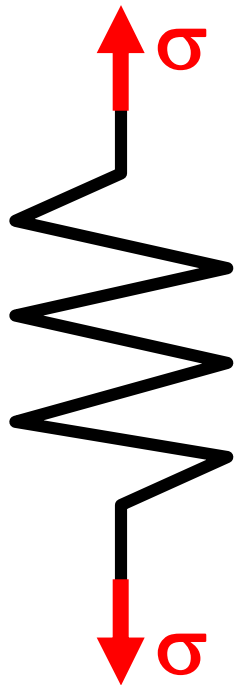
конвекция существует!

**Конвекция в среде, в которой
распространяются поперечные волны?!**

Реология – наука о деформациях и течениях реальных сплошных сред

упругое тело

Гука



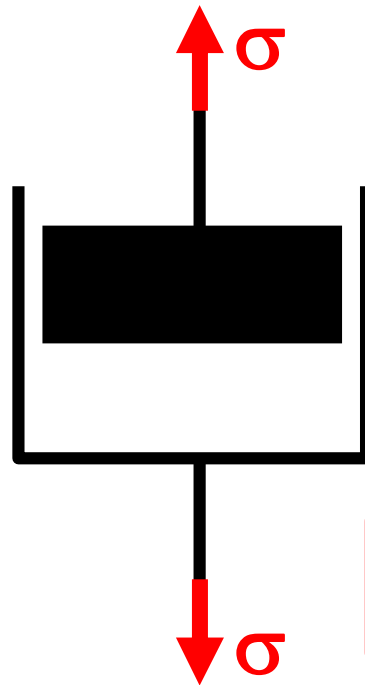
напряжение

$$\sigma \sim \varepsilon$$

деформация

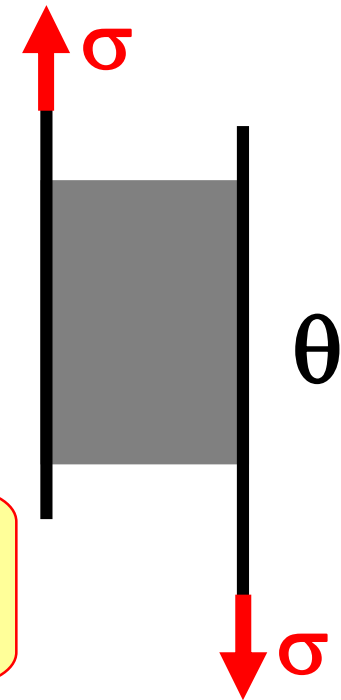
вязкая жидкость

Ньютона



$$\sigma \sim \dot{\varepsilon}$$

жесткопластическое тело Сен-Венана

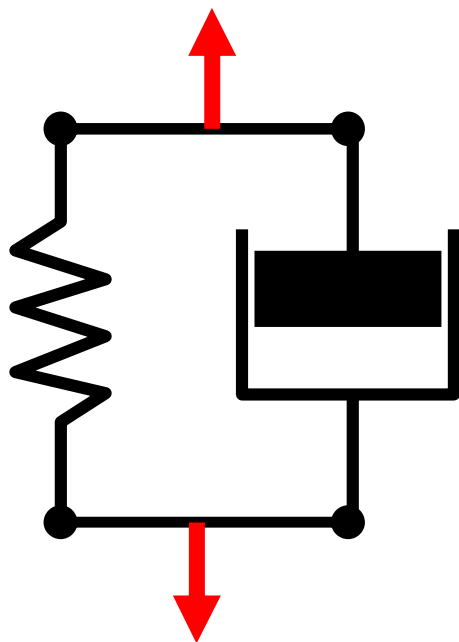


Сухое трение

$$\text{при } \sigma < \theta$$

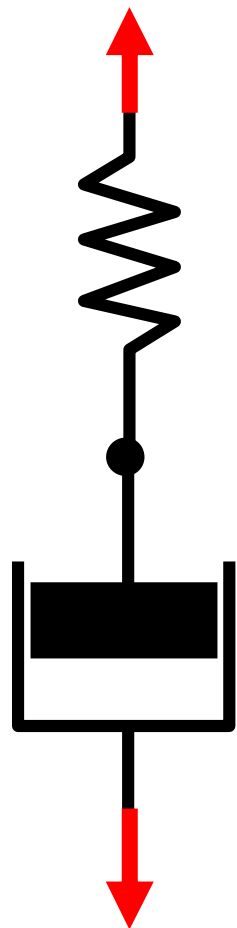
$$\varepsilon = \dot{\varepsilon} = 0$$

**МОДЕЛЬ
Фойгта**



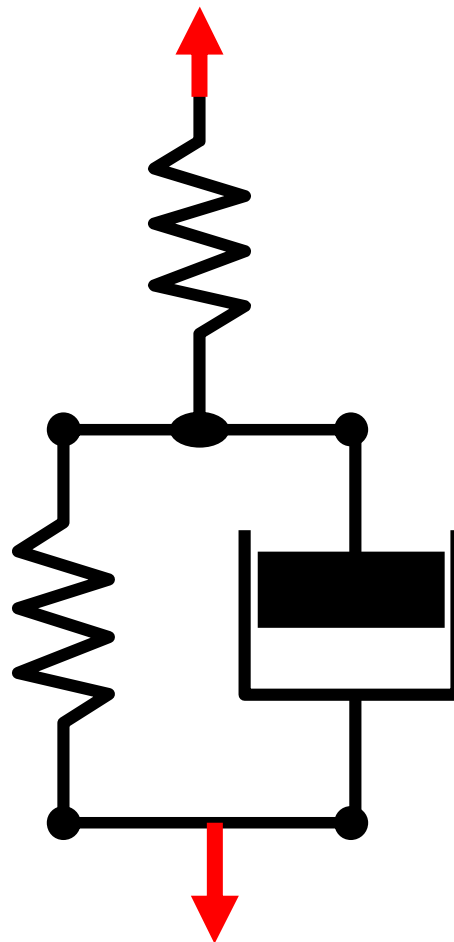
**упругое
последствие:
деформация
развивается с
запаздыванием
по отношению к
напряжению**

**МОДЕЛЬ
Максвелла**



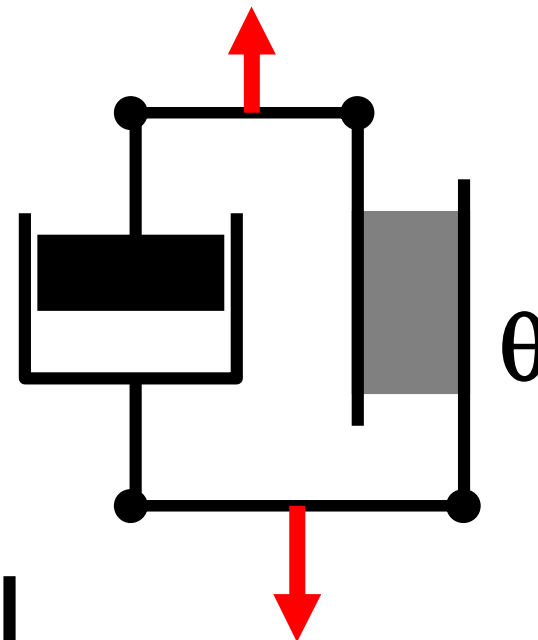
**релаксация
напряжений**

**МОДЕЛЬ
Кельвина**



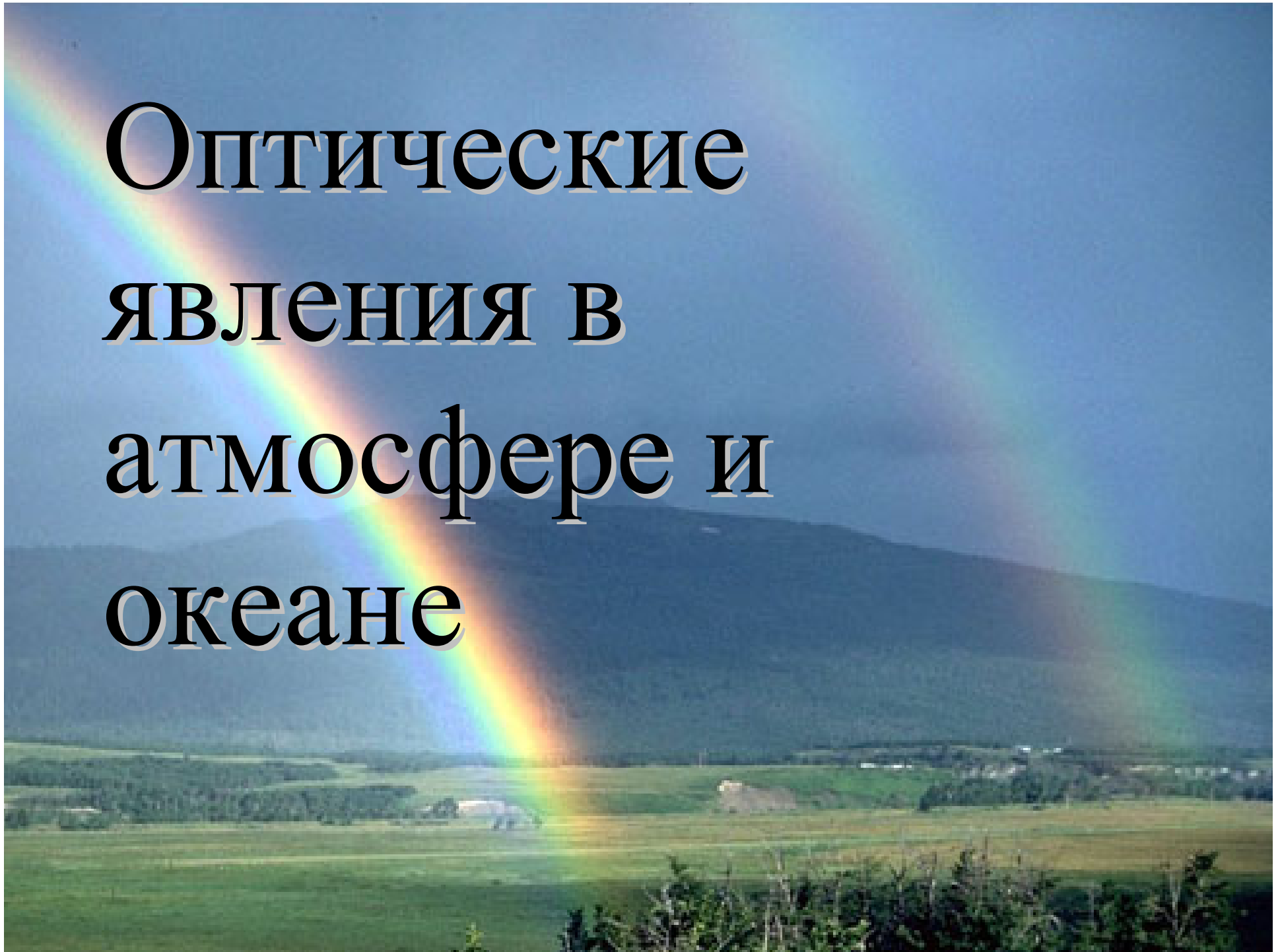
**вязко-упругое
тело; диссипация
энергии при
деформации**

**МОДЕЛЬ
Бингама**



**вязко-пластичное
тело, которое не
деформируется
при малых
напряжениях, а
при больших
течет как вязкая
жидкость**

Оптические явления в атмосфере и океане



Оптические явления в атмосфере вызываются

преломлением (рефракцией)

- миражи, фата-моргана
- мерцания
- смещение положения небесных тел
- искажение формы небесных тел

поглощением и рассеянием

- зеленый луч
- голубой цвет неба
- явления сумерек

ядрами конденсации

- радуга, белая радуга
- гало
- ложные солнца и ложные луны
- световые столбы

Оптические явления в океане вызываются

преломлением
(рефракцией)

поглощением и
рассеянием

ядрами
конденсации

- цвет океанов, морей
и вод суши

**Явления,
вызываемые
преломлением в
воздухе**

$$c_0 \neq f(\lambda)$$

скорость света в
вакууме

$$c = c_0 / n = f(\lambda)$$

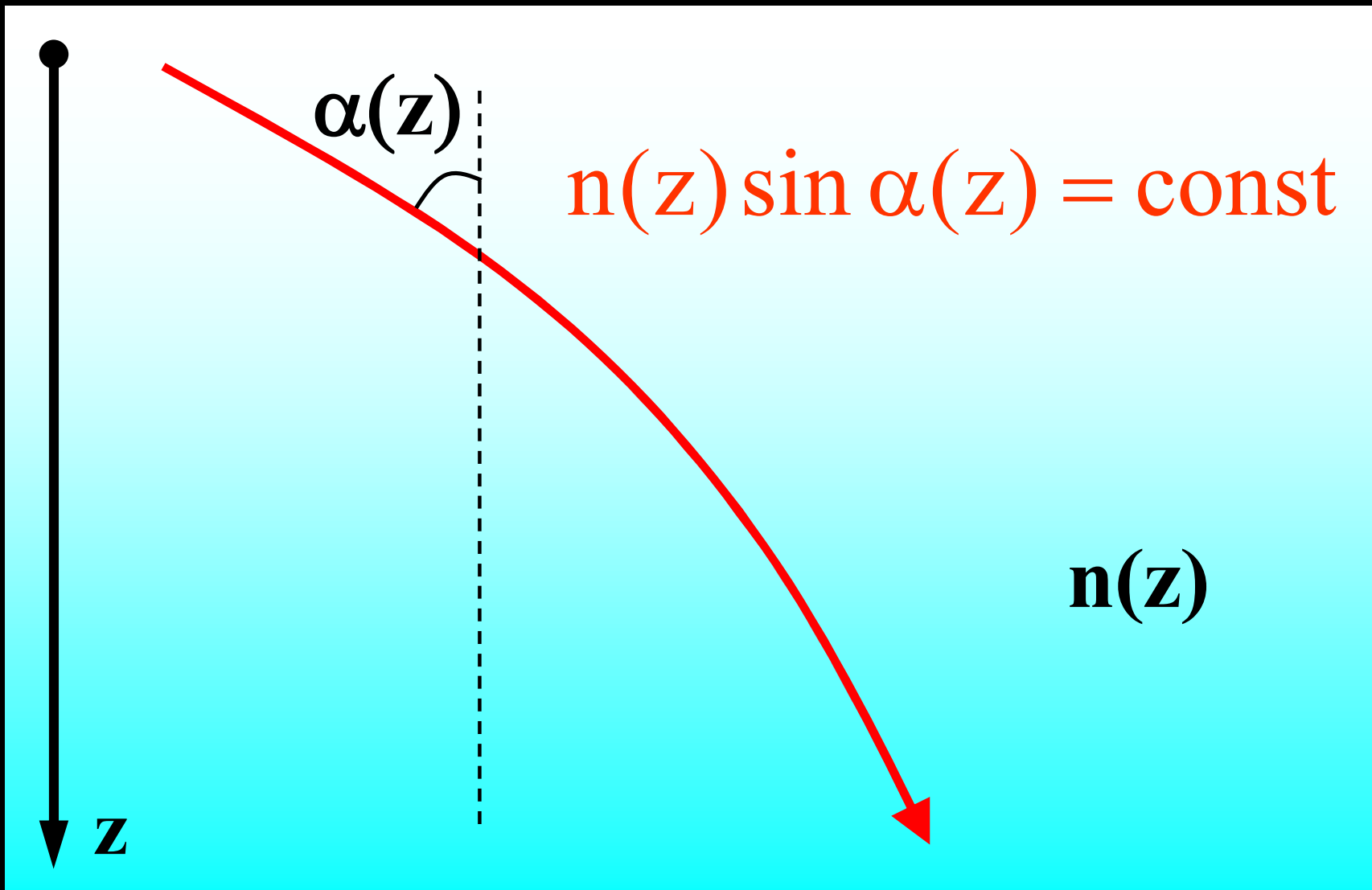
скорость
света в среде

Показатель преломления

Воздух **1.00029**

Вода **1.33**

Рефракция



Изменение показателя преломления воздуха с высотой

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = r$$

Удельная
рефракция

Формула
Лоренц-
Лорентца

$$n = 1 + \Delta n, \quad \Delta n \ll 1$$

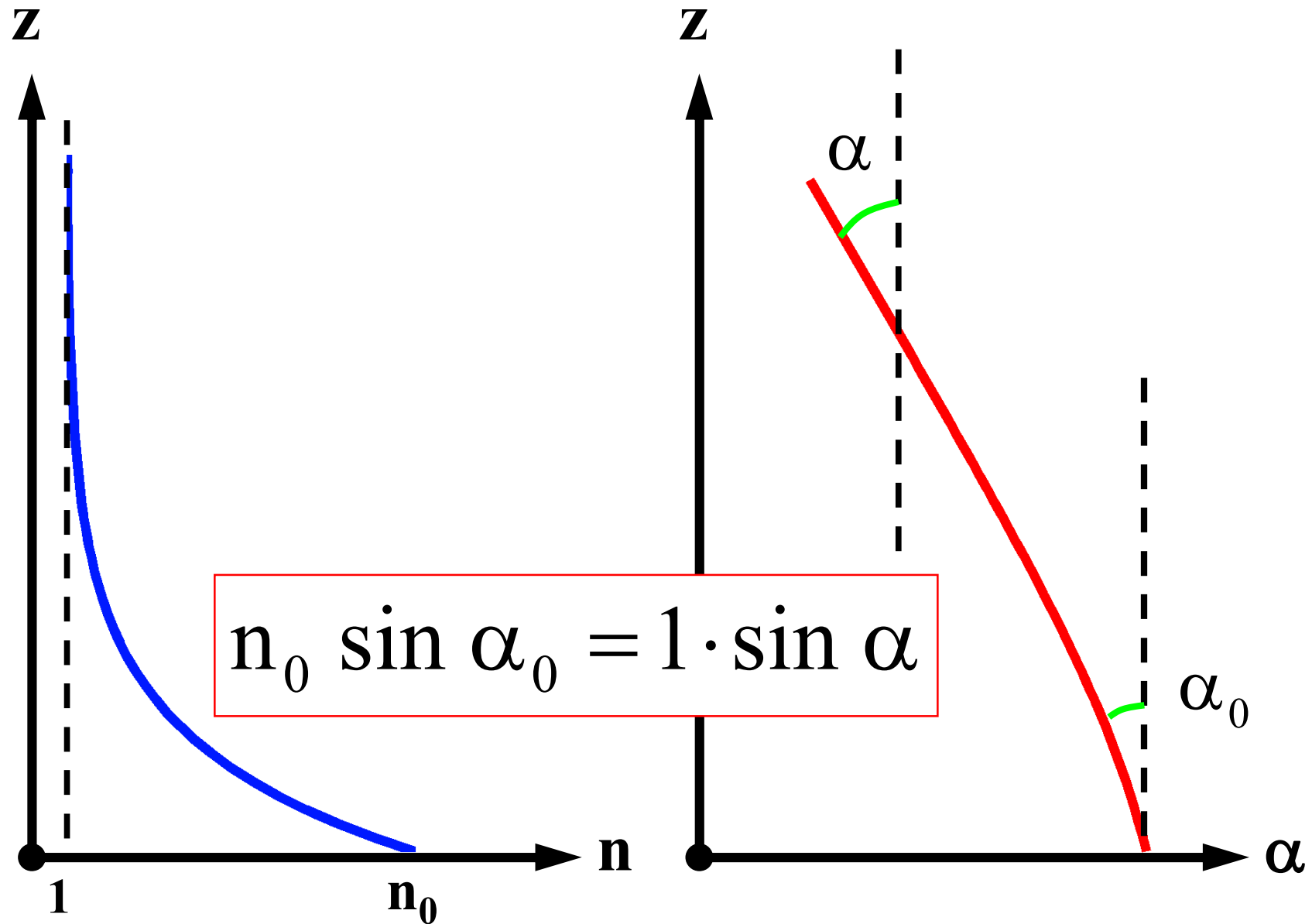
$$\frac{\Delta n}{\rho} = \text{const}$$

$$\rho(z) = \rho_0 e^{-z/H}$$

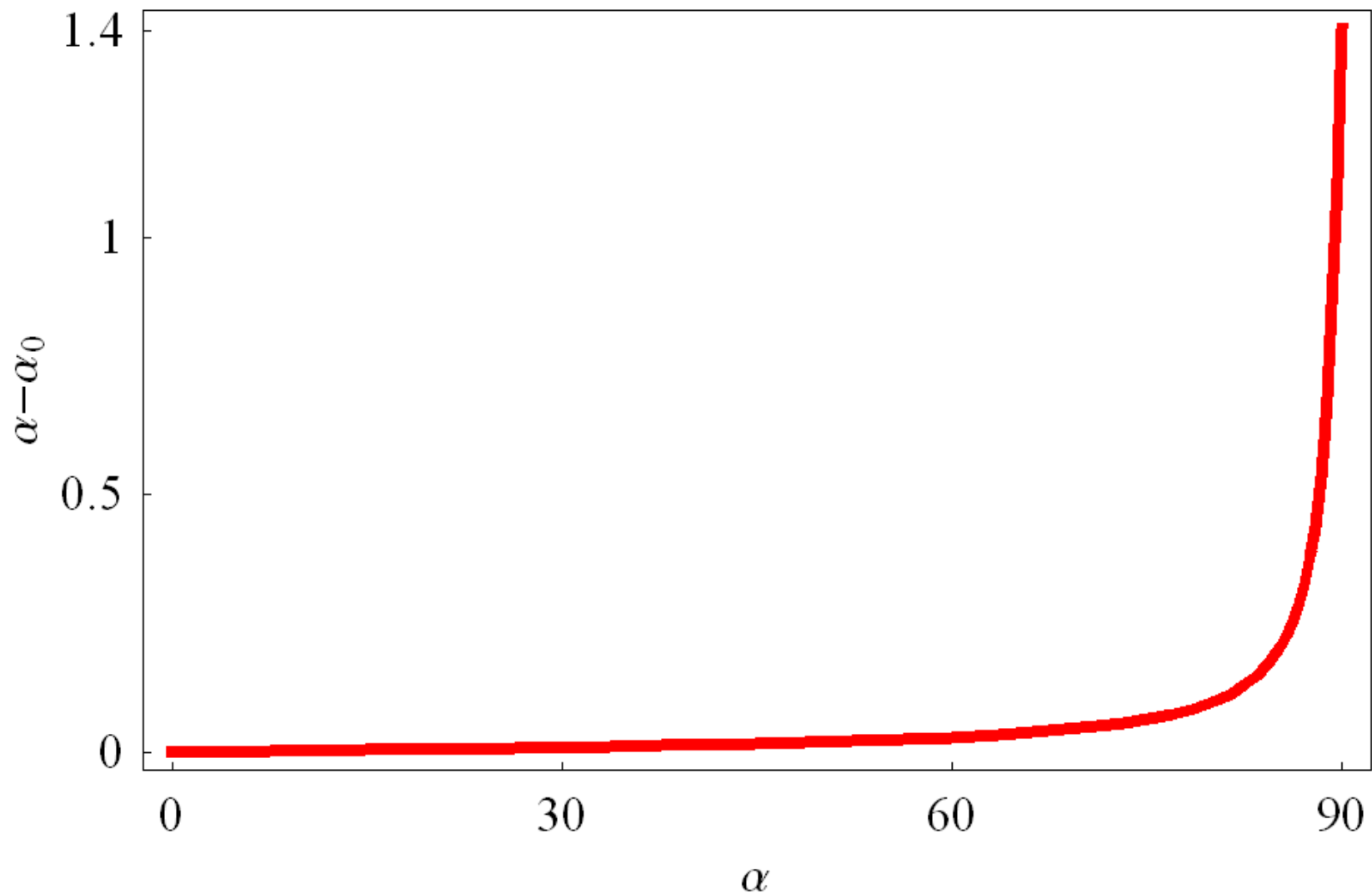
«Барометрическая формула» для
показателя преломления

$$n(z) = 1 + (n_0 - 1)e^{-z/H}$$

Рефракция света в атмосфере

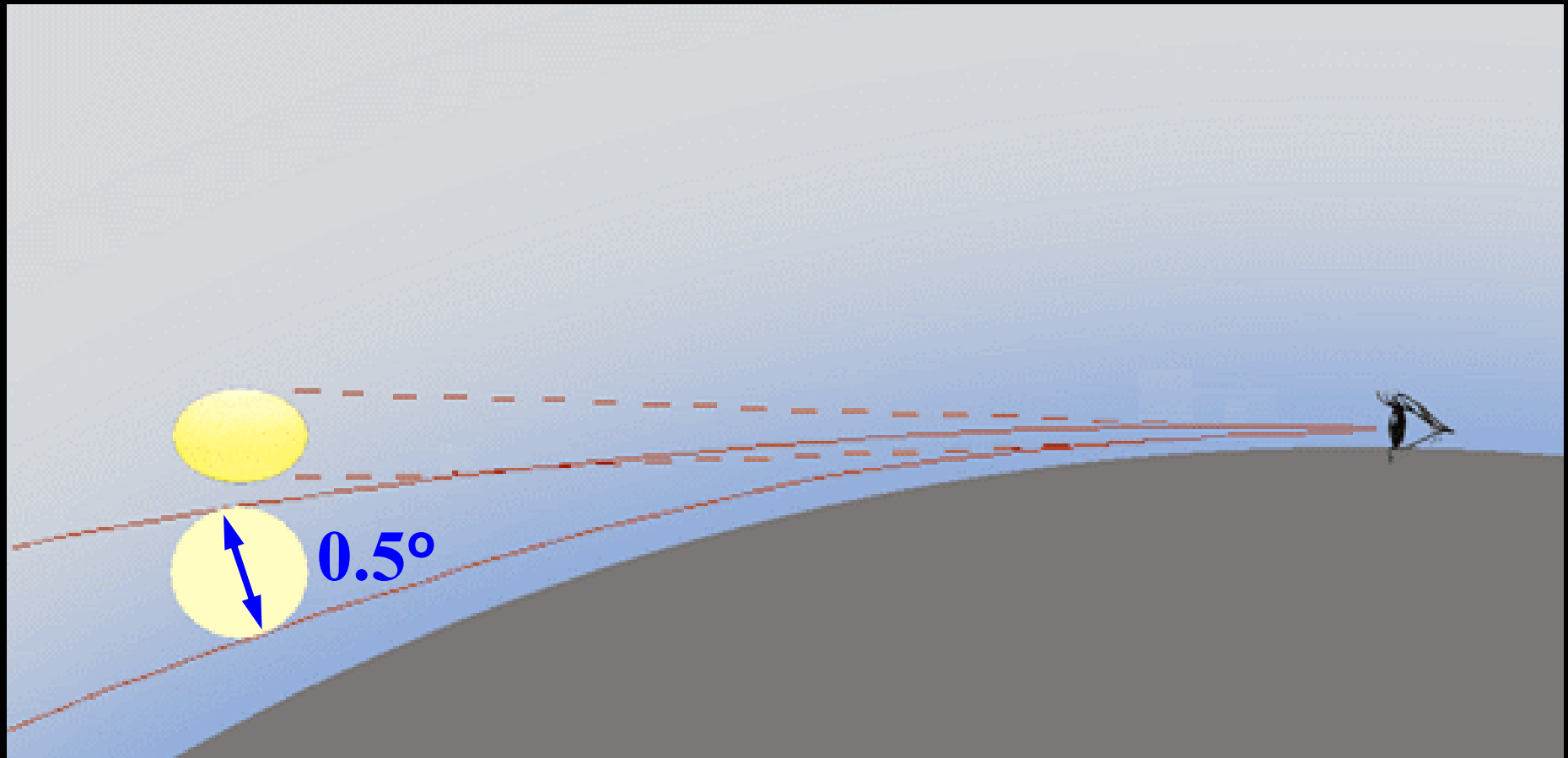


Отклонение светового луча в атмосфере как функция угла падения

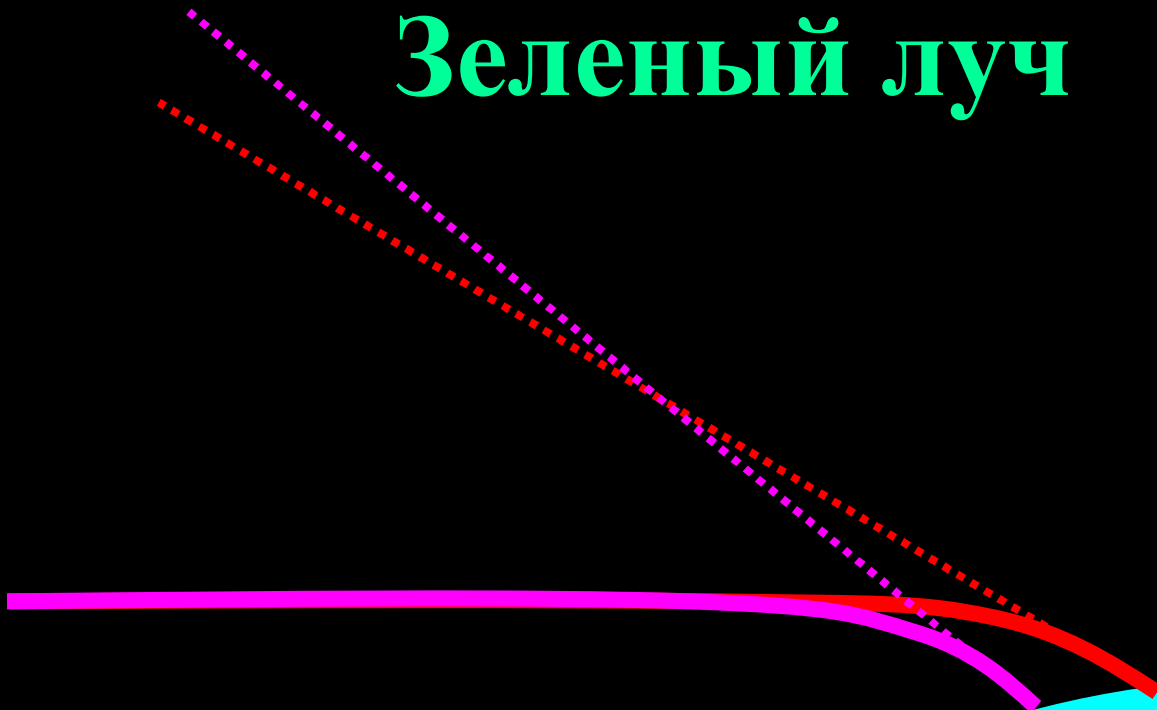
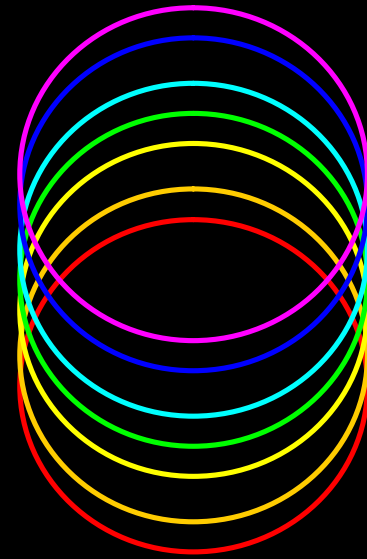


Искажение формы небесных тел





Зеленый луч



Зеленый луч



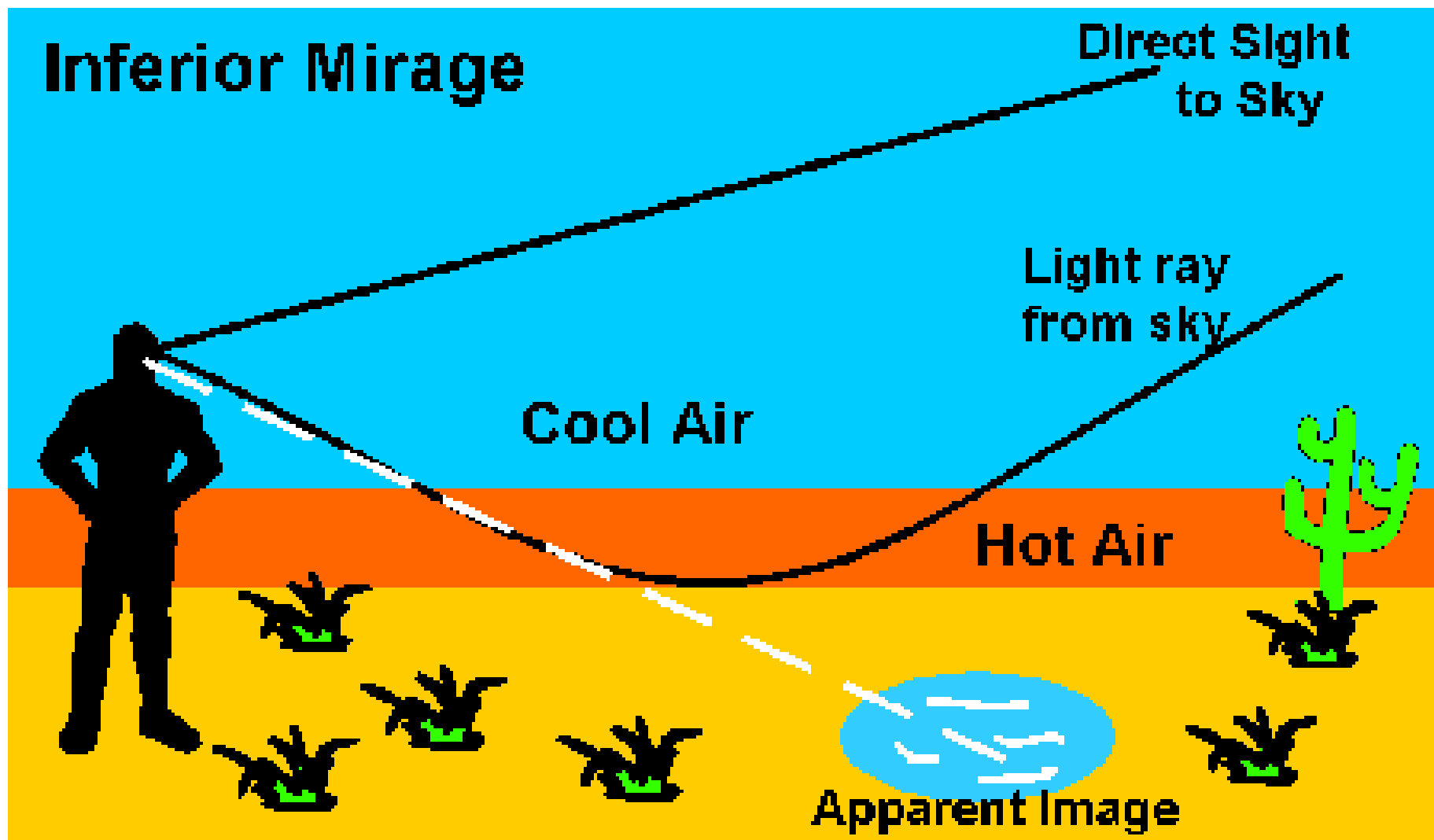
Миражи – оптическое явление в атмосфере, состоящее в том, что вместе с отдалённым предметом (или участком неба) видно его мнимое изображение, смещенное относительно предмета

Причина образования – ПВО света на границах, разделяющих слои воздуха с различной температурой

*** в зависимости от расположения по отношению к предмету различают **верхний**, **нижний** и **боковой** миражи

*** мираж всегда виден в той области, где выше температура воздуха

Нижний мираж







Явления,
вызываемые
поглощением и
рассеянием

Закон Бугера (1729 г.)

$$dI = -\sigma I dx$$

показатель
ослабления

$$I(x) = I_0 e^{-\sigma \cdot x}$$

В атмосфере и в океане

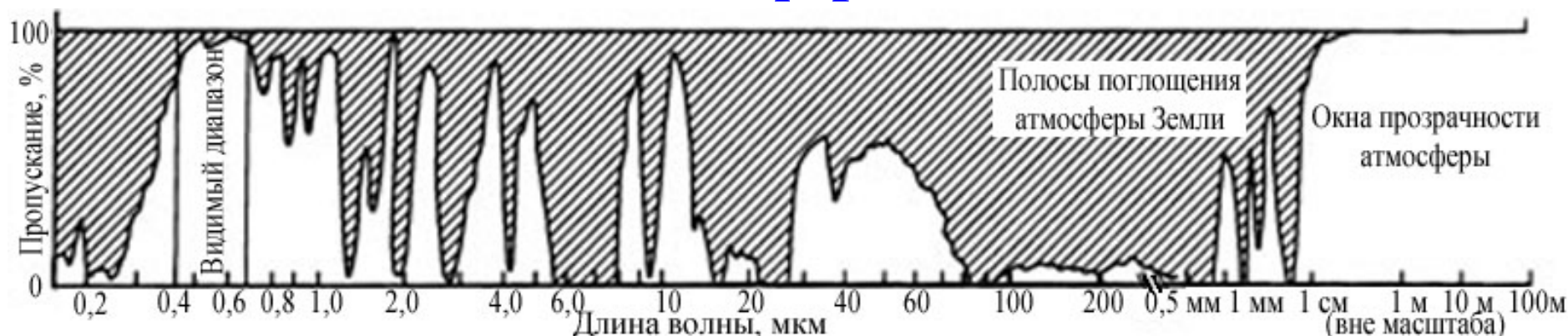
$$\sigma = \sigma(\lambda)$$



Pierre Bouguer
1698-1758

French
mathematician,
geophysicist,
geodesist, and
astronomer

Поглощение электромагнитного излучения атмосферой



Окна прозрачности атмосферы Земли:

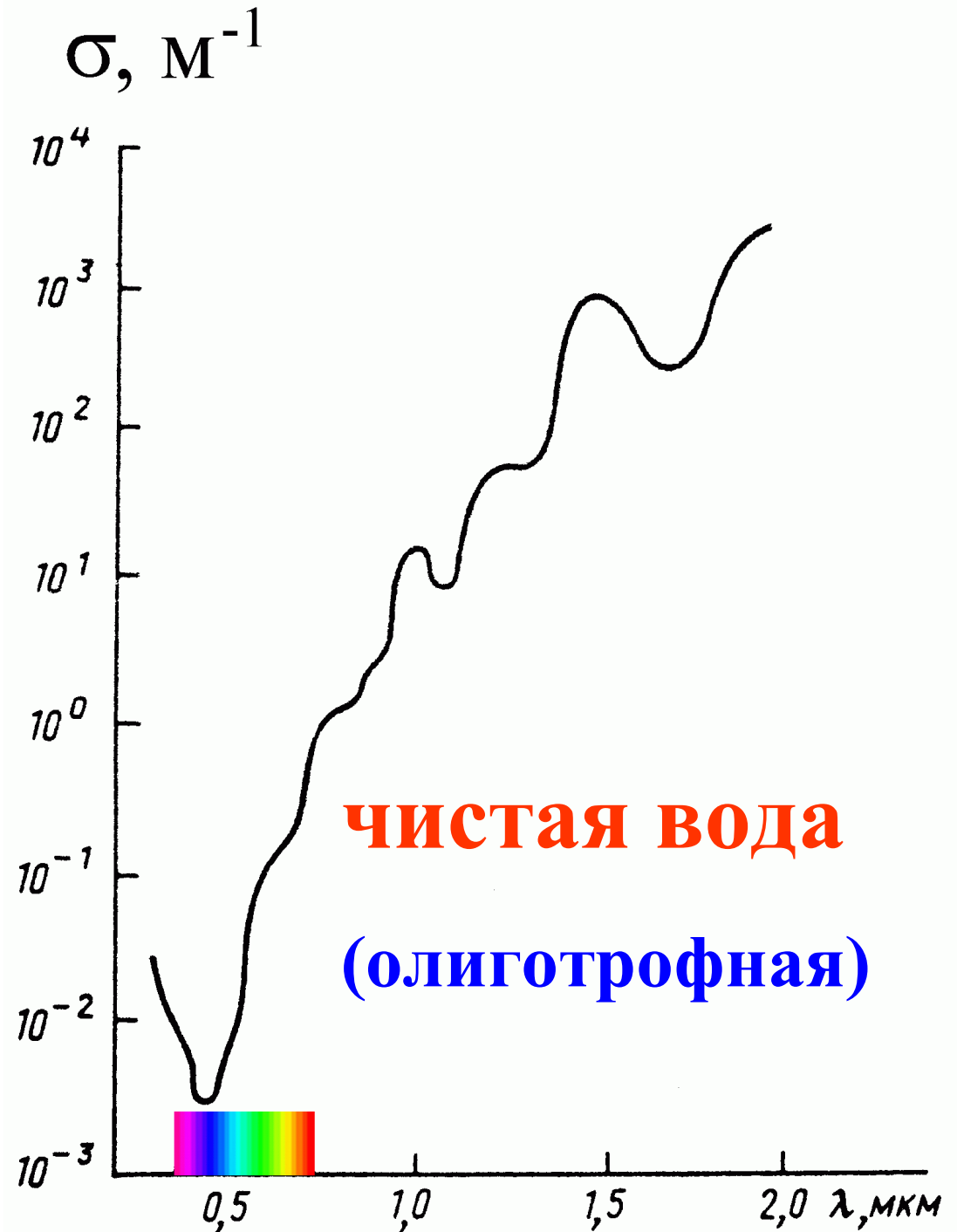
- ❑ "большое окно": 0.3-1.3 мкм (видимый диапазон)
- ❑ 1.5-1.8 мкм (ИК диапазон)
- ❑ 2.0-2.6 мкм (ИК диапазон)
- ❑ 7.0-15.0 мкм (тепловой ИК диапазон)
- ❑ 0.5 мм и более 10м (микроволн.и радиодиапазон)

Коэффициент
ослабления для
морской воды

$$I(x) = I_0 e^{-\sigma x}$$

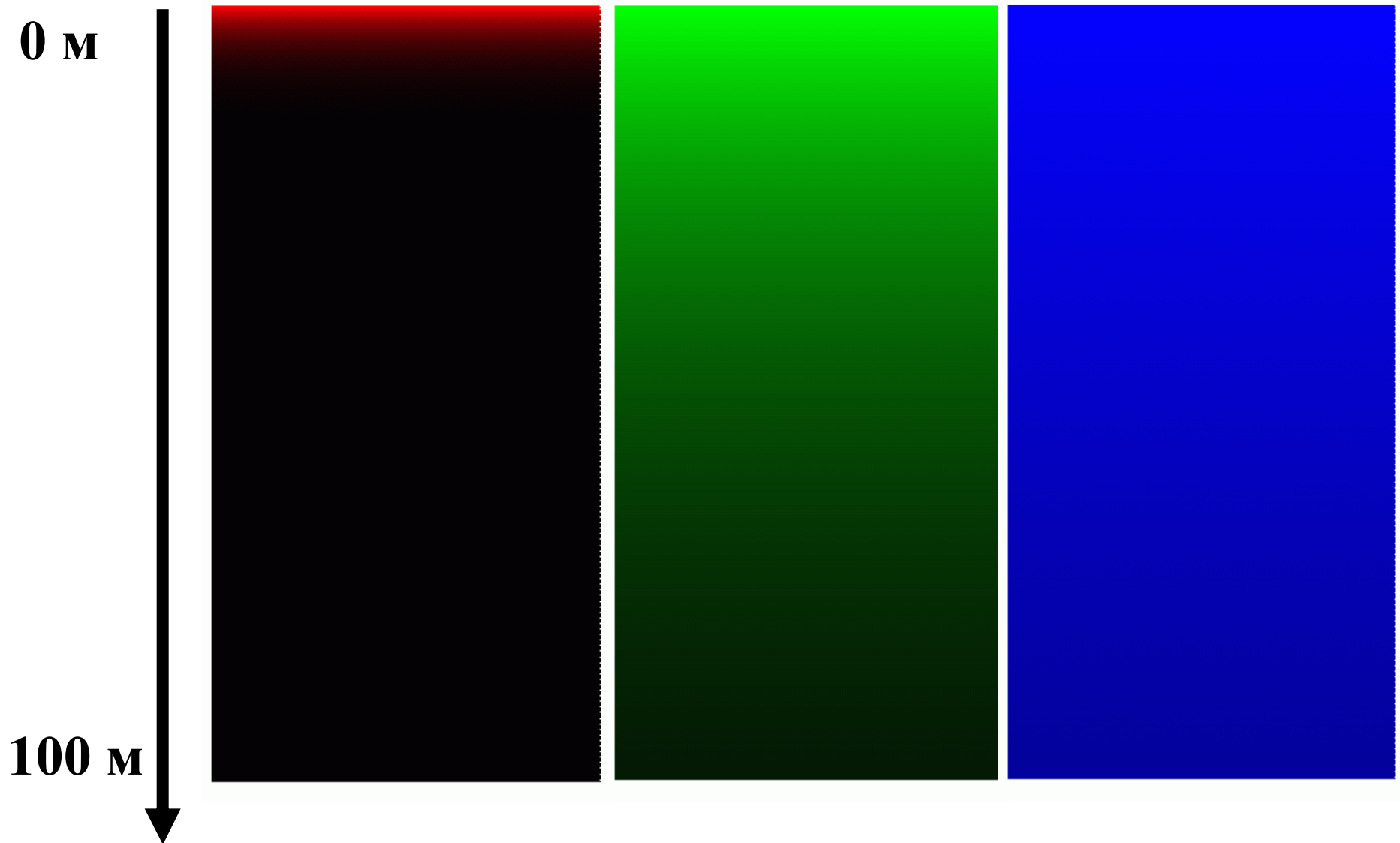
$$\sigma = \sigma(\lambda)$$

наличие
желтого вещества
меняет вид
зависимости

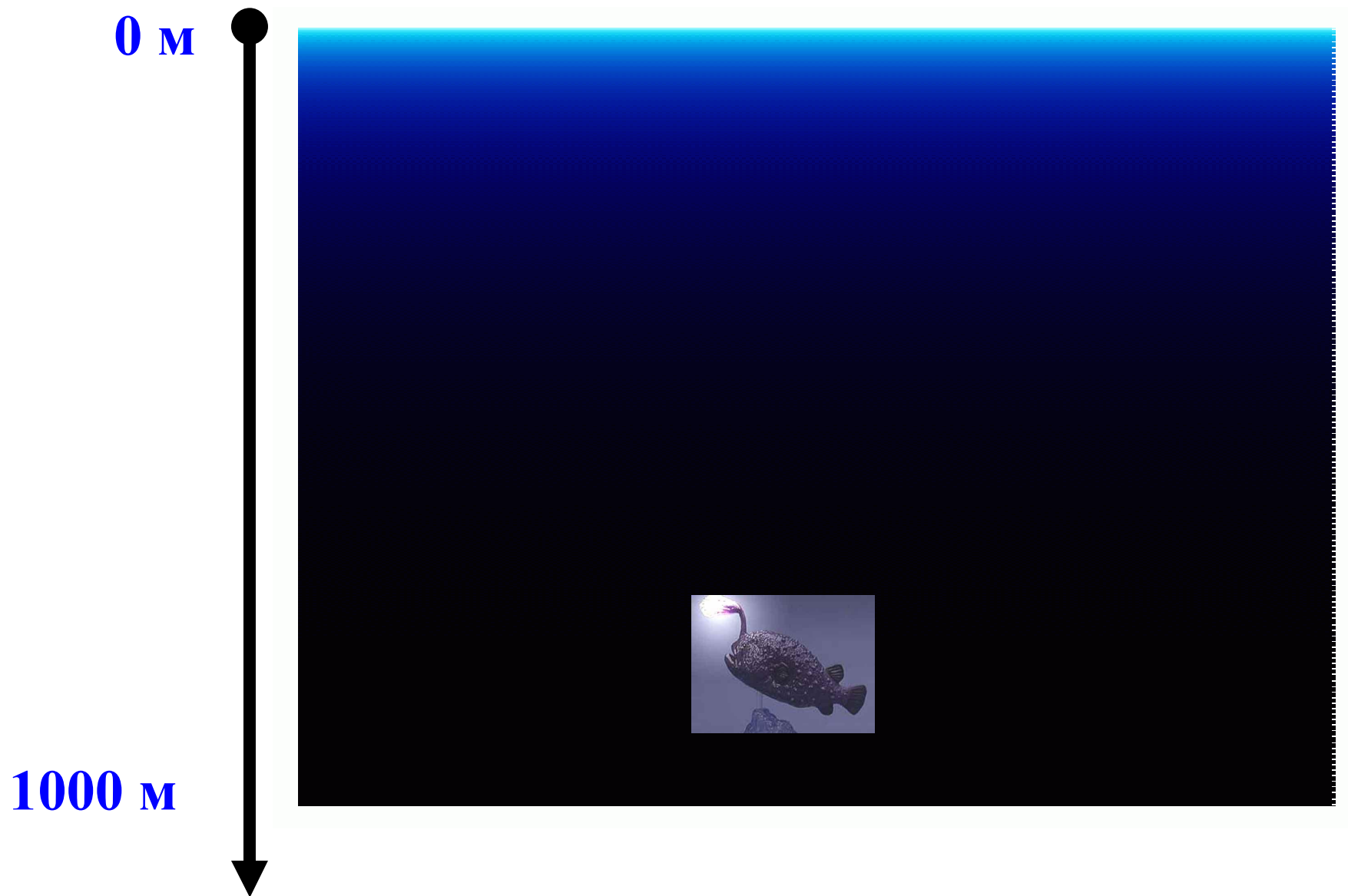


Ослабление света с глубиной в чистой воде

$$\sigma=0.27 \text{ м}^{-1} \quad \sigma=0.023 \text{ м}^{-1} \quad \sigma=0.005 \text{ м}^{-1}$$

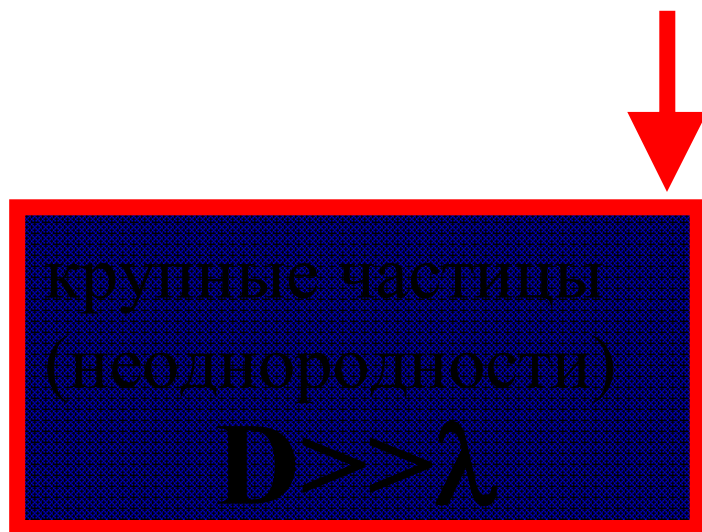


Ослабление света с глубиной в чистой воде

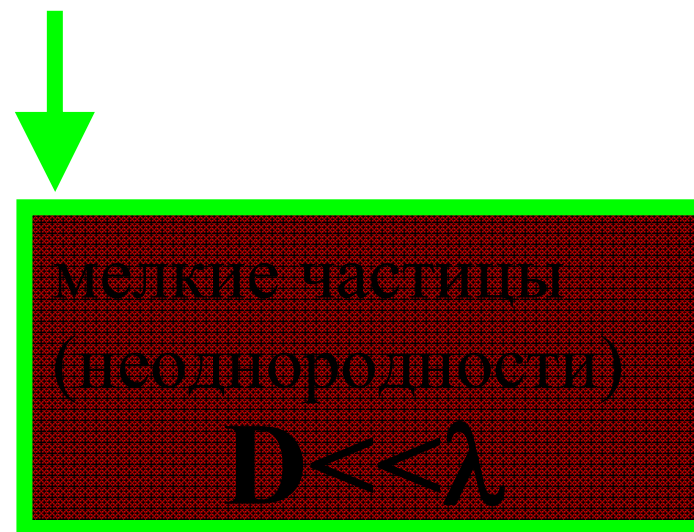


Ослабление электромагнитного излучения есть следствие факторов:

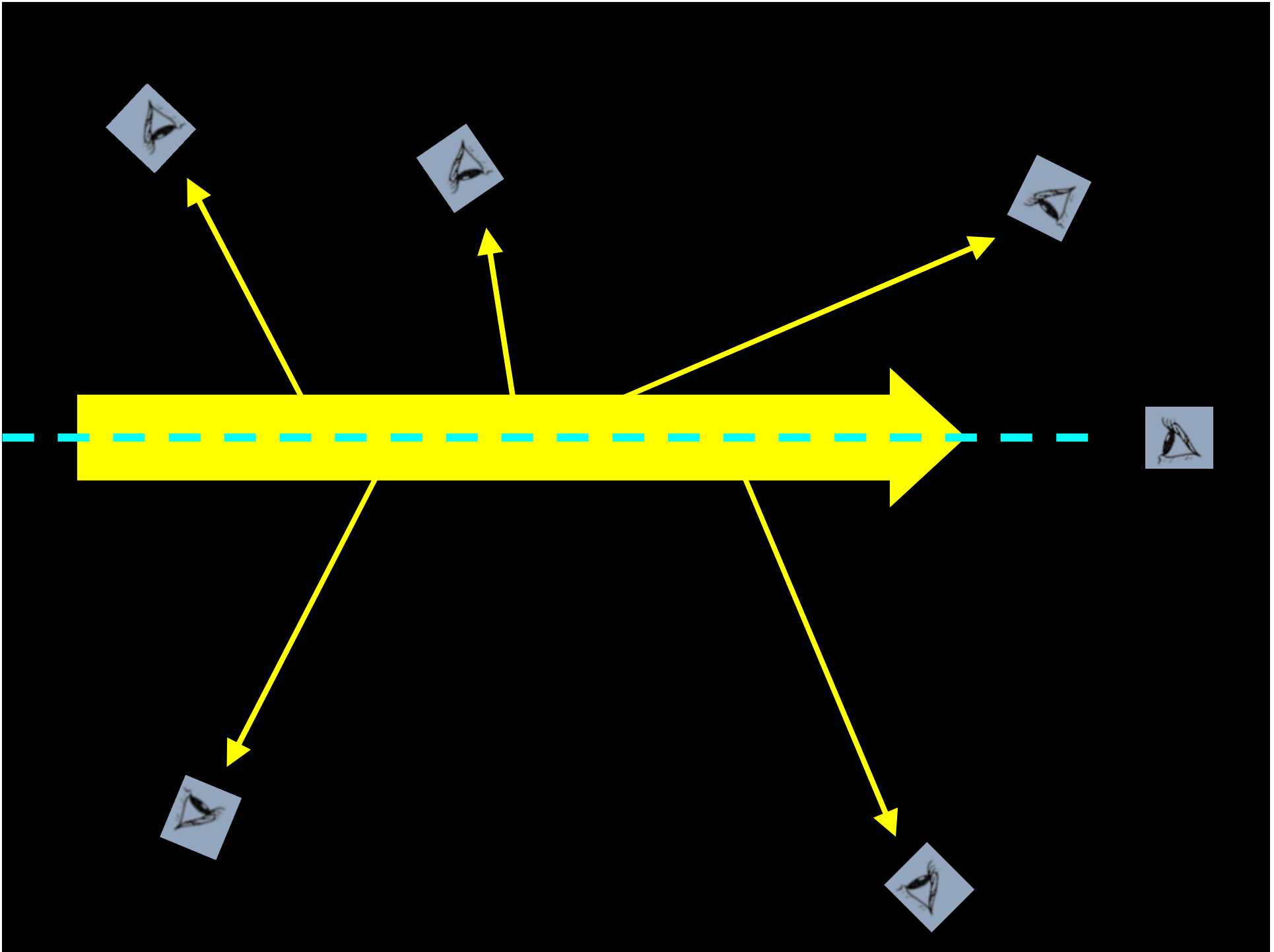
1. Поглощения (переход энергии в тепло)
2. Рассеяния («переизлучения»)



рассеяние Ми



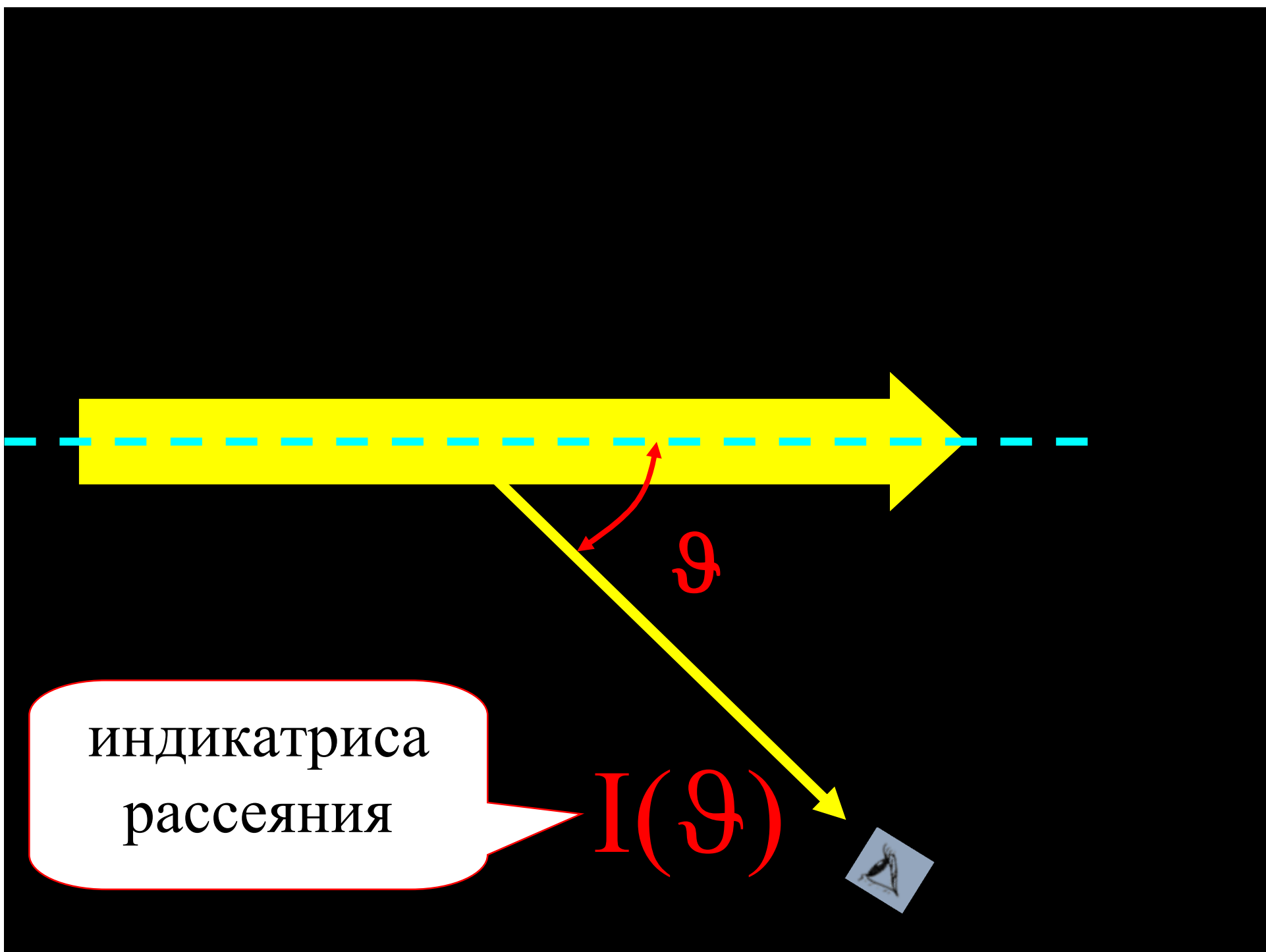
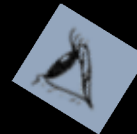
рассеяние Рэля
или молекулярное

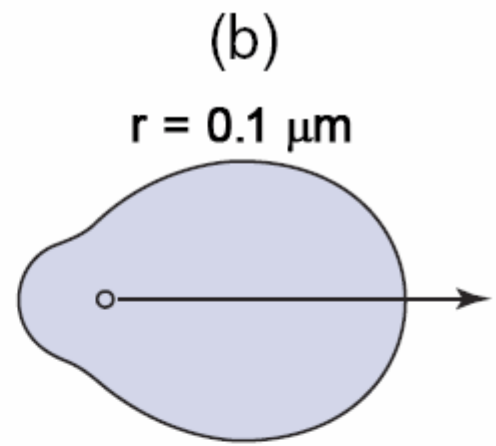
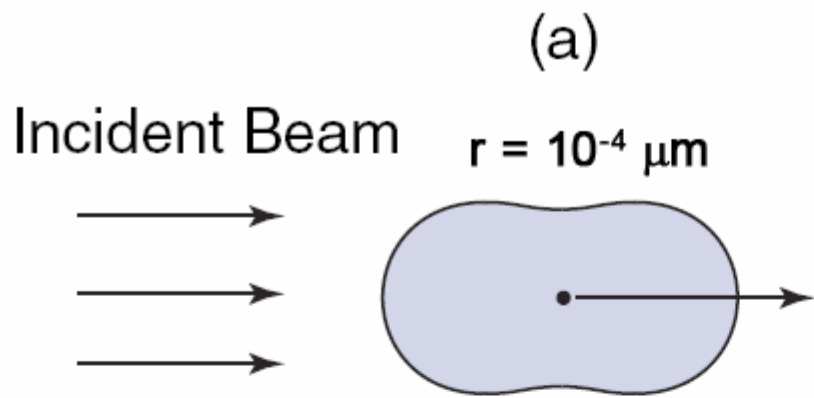


индикатриса
рассеяния

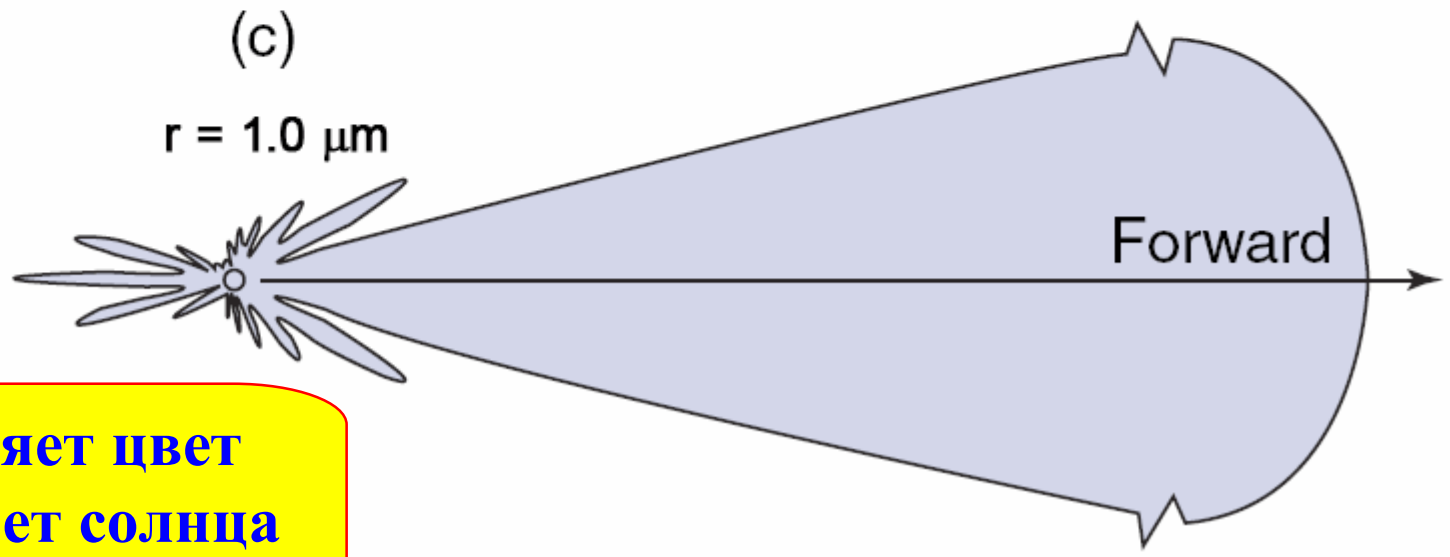
$$I(\vartheta)$$

ϑ

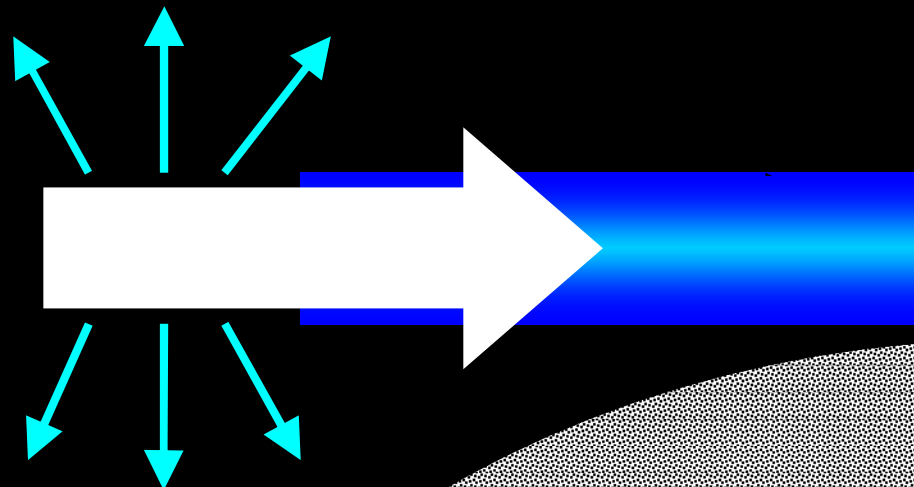
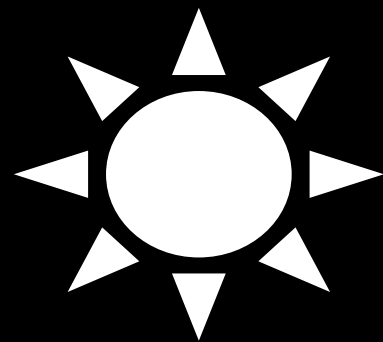




$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} [1 + \cos^2 \vartheta]$$



**определяет цвет
неба и цвет солнца
на закате**



$$I \sim \frac{1}{\lambda^4}$$





$$I(x) = I_0 e^{-\sigma \cdot x}$$

$$\sigma = \kappa + \varepsilon$$

показатель
поглощения

показатель
рассеяния

Типичные значения ($\lambda=0.55$ мкм)

Среда	Показатель поглощения $\kappa, \text{м}^{-1}$	Показатель рассеяния $\varepsilon, \text{м}^{-1}$	Показатель ослабления $\sigma, \text{м}^{-1}$
Океан	0.07	0.16	0.23
Атмосфера	0	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$

Типичные значения ($\lambda=0.55$ мкм)

Среда	Показатель поглощения $\kappa, \text{м}^{-1}$	Показатель рассеяния $\varepsilon, \text{м}^{-1}$	Показатель ослабления $\sigma, \text{м}^{-1}$
Океан	0.07	0.16	0.23
Атмосфера	0	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$

Экстремальные значения показателя ослабления в океане

Саргассово
море

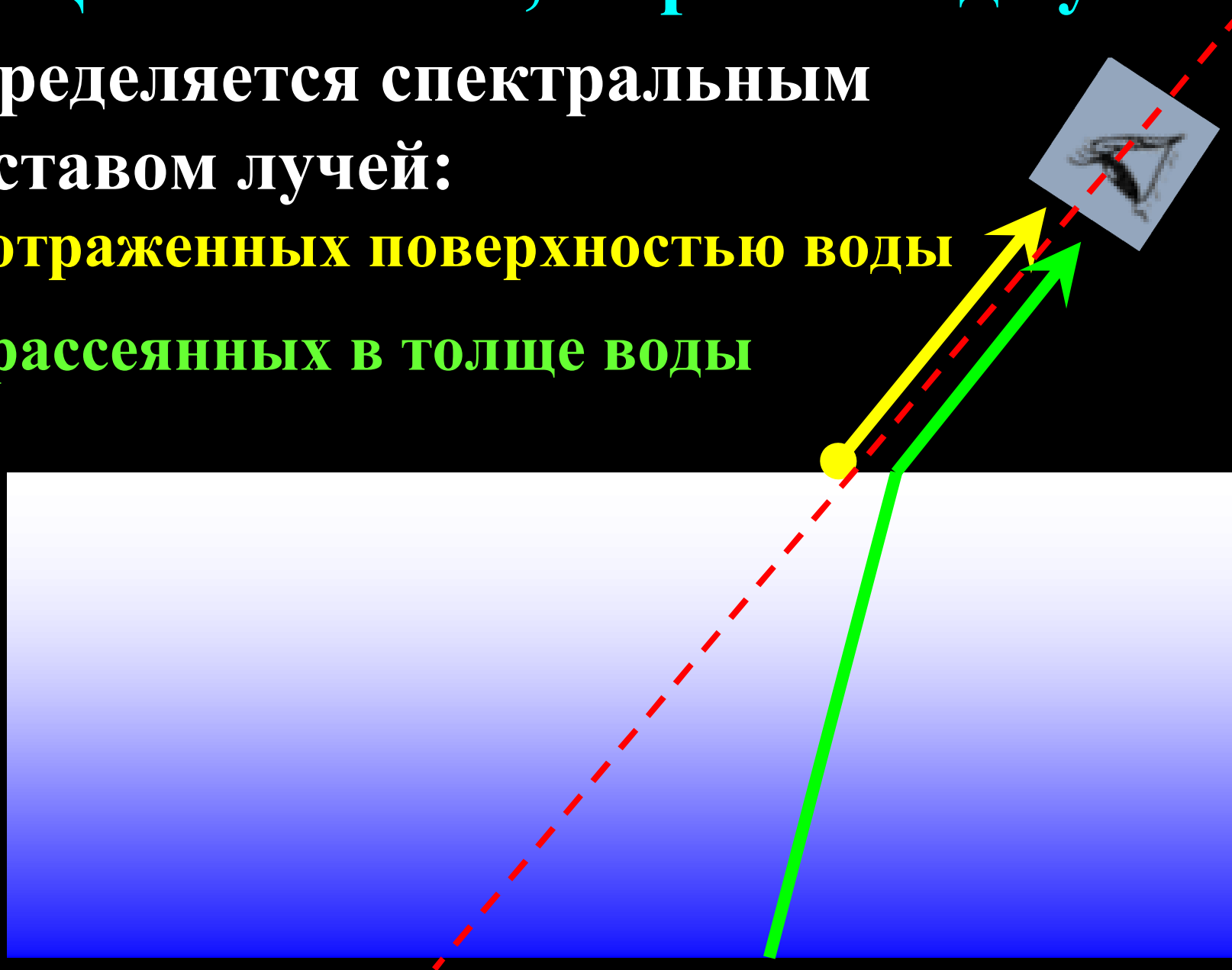
$$0.023 < \sigma < 3.3 \text{ м}^{-1}$$

Перуанский
шельф

Цвет океанов, морей и вод суши

определяется спектральным
составом лучей:

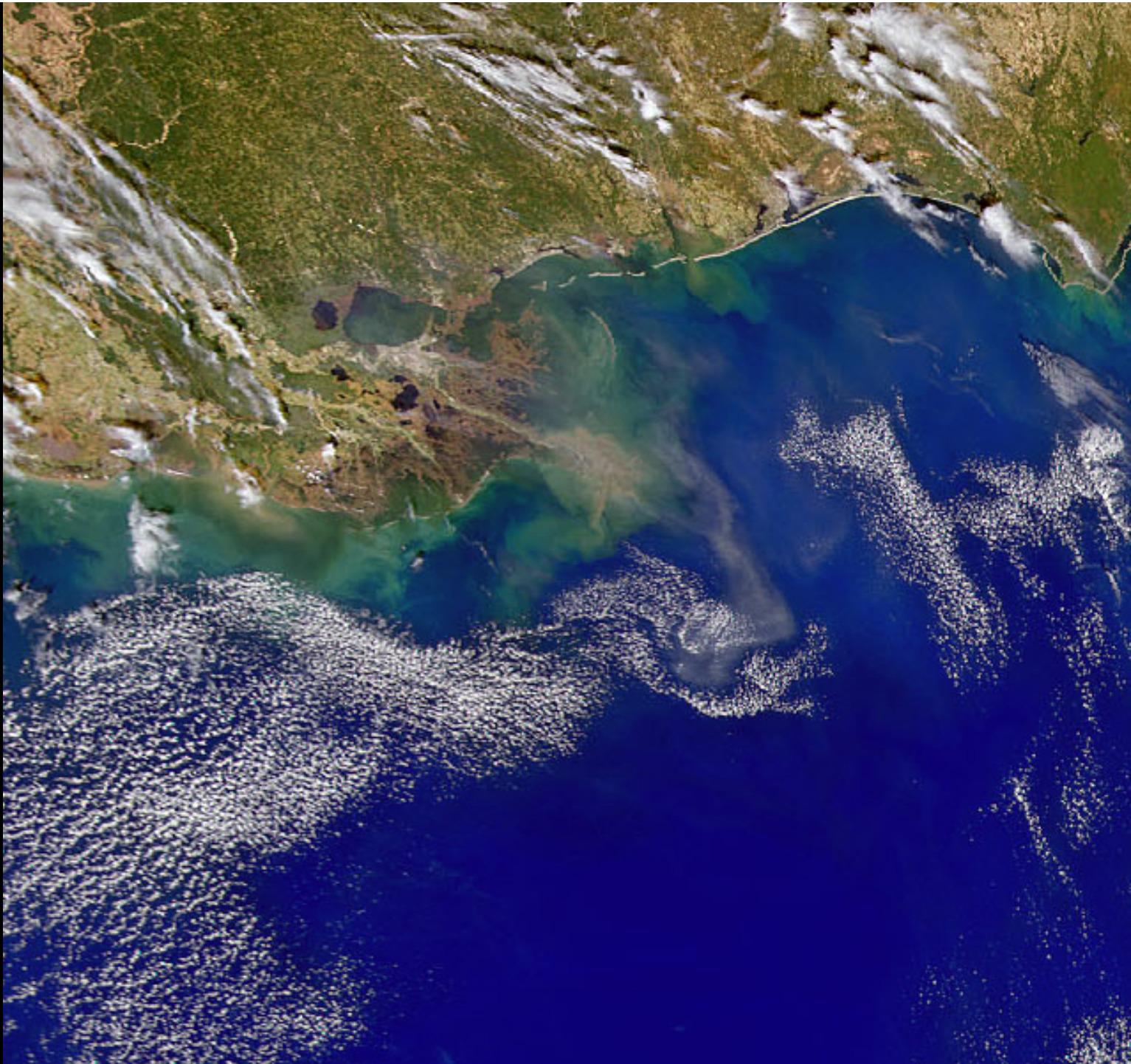
1. отраженных поверхностью воды
2. рассеянных в толще воды



Коэффициент отражения неполяризованного излучения на границе «воздух-вода» как функция угла падения



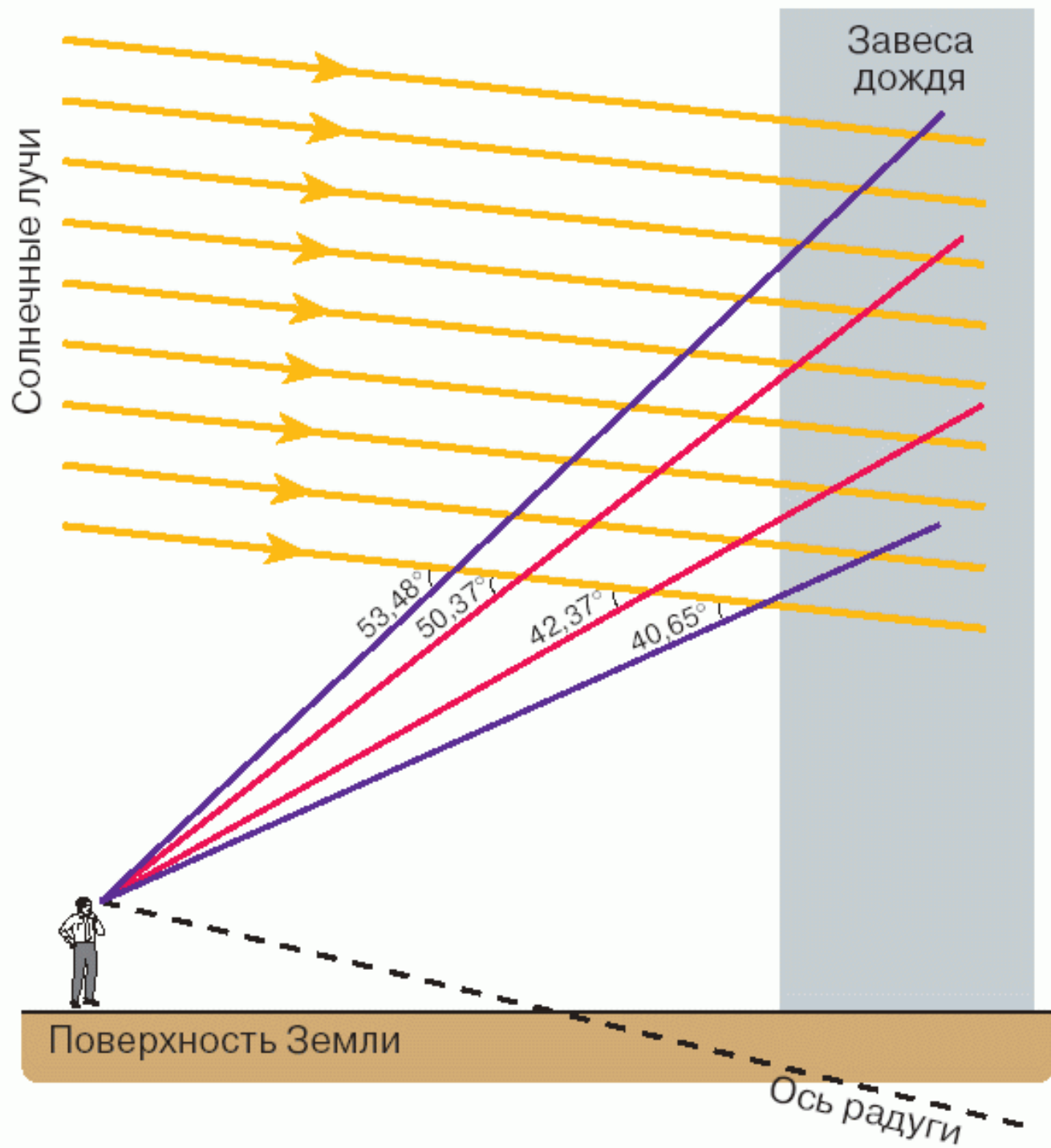




**Оптические
явления,
вызываемые
ядрами
конденсации**

Радуга

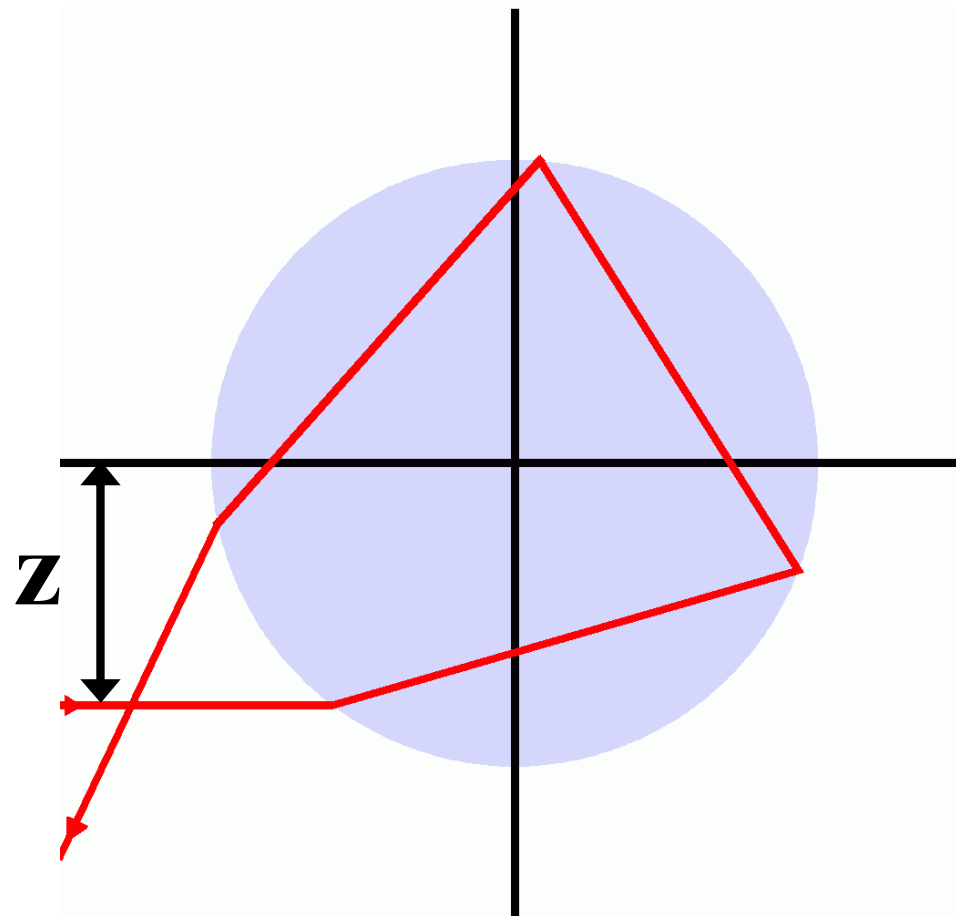
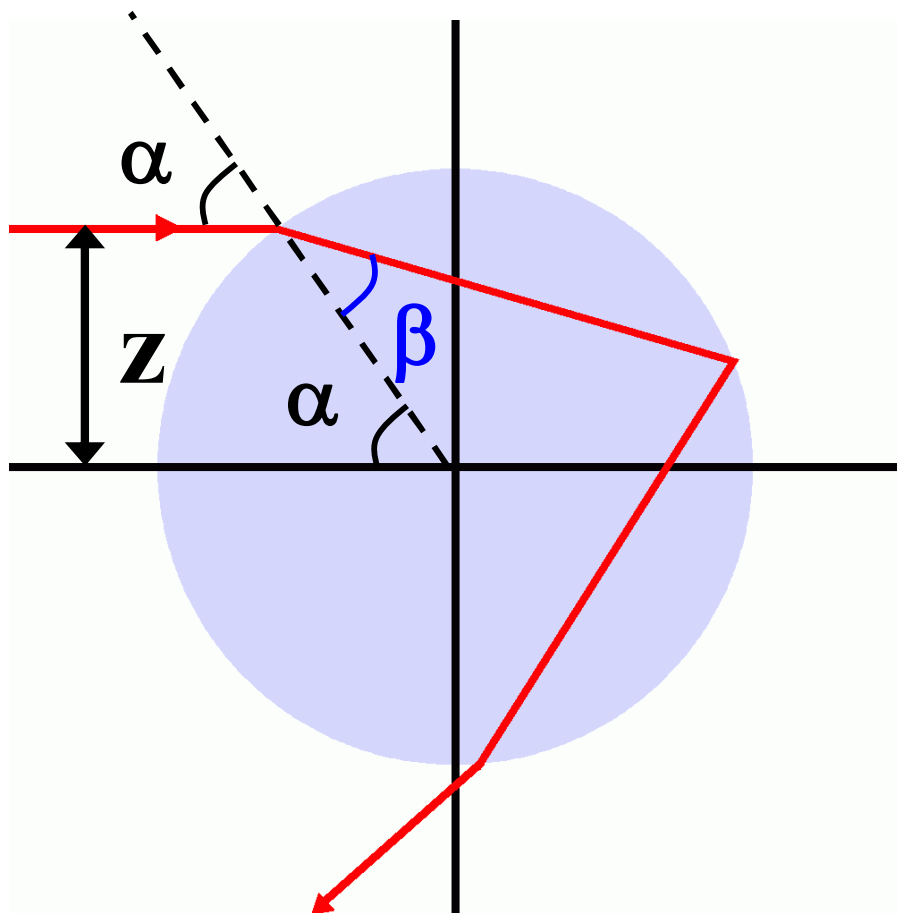




$$R=1$$

$$\sin \alpha = z$$

$$\sin \beta = z/n$$



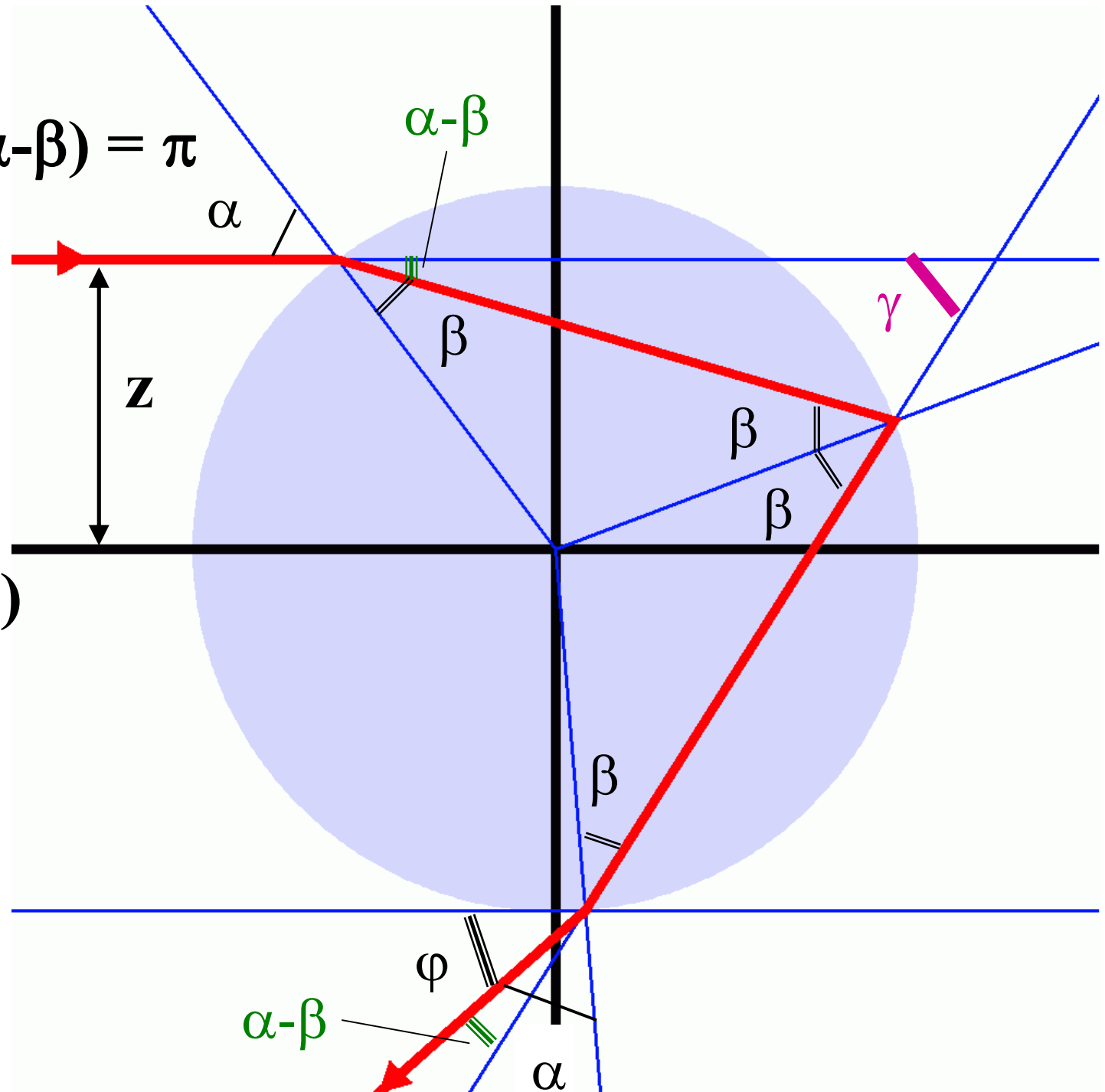
при $R \gg \lambda$ размер капли роли не играет

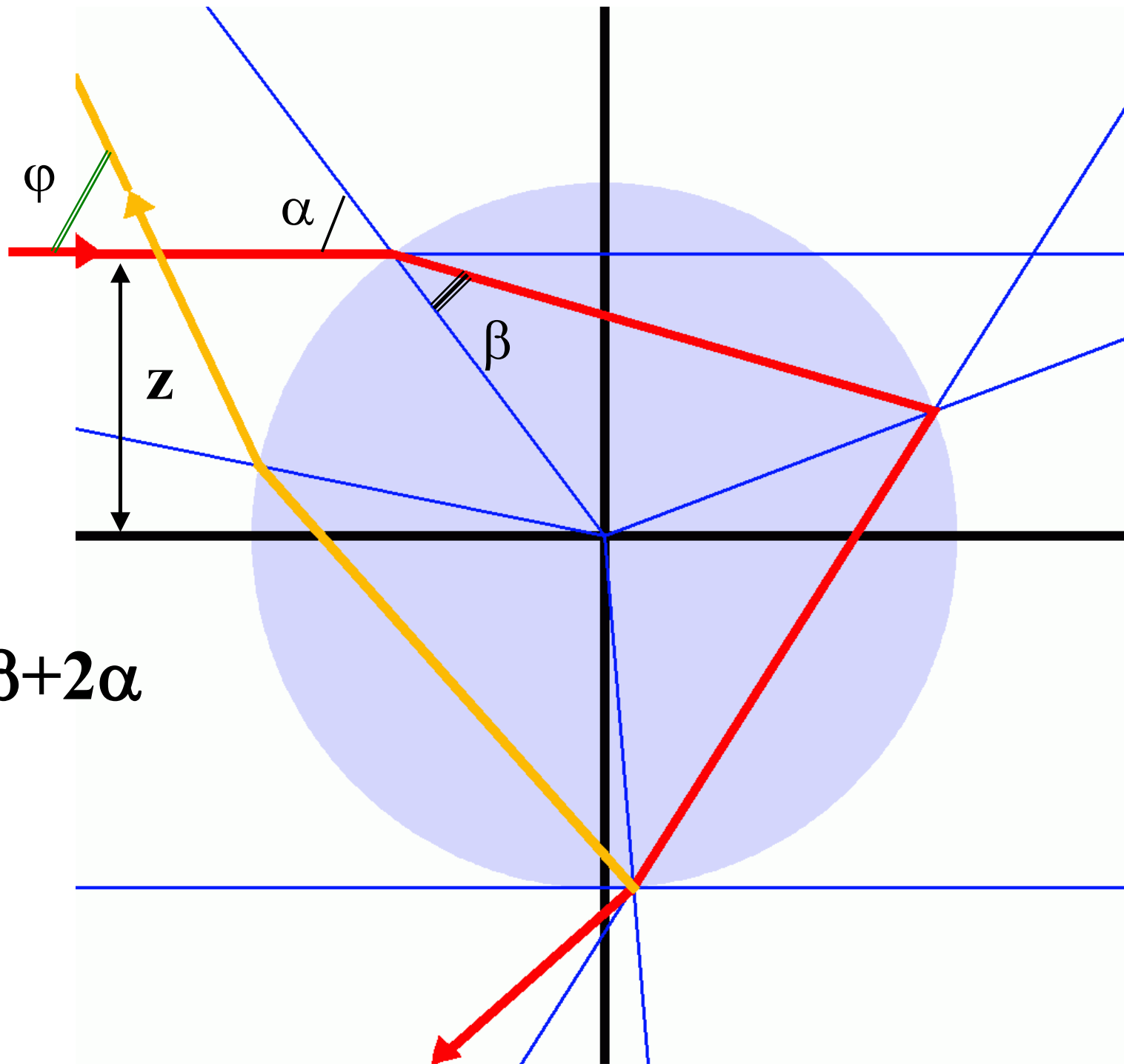
$$\gamma + (\pi - 2\beta) + (\alpha - \beta) = \pi$$

$$\gamma = 3\beta - \alpha$$

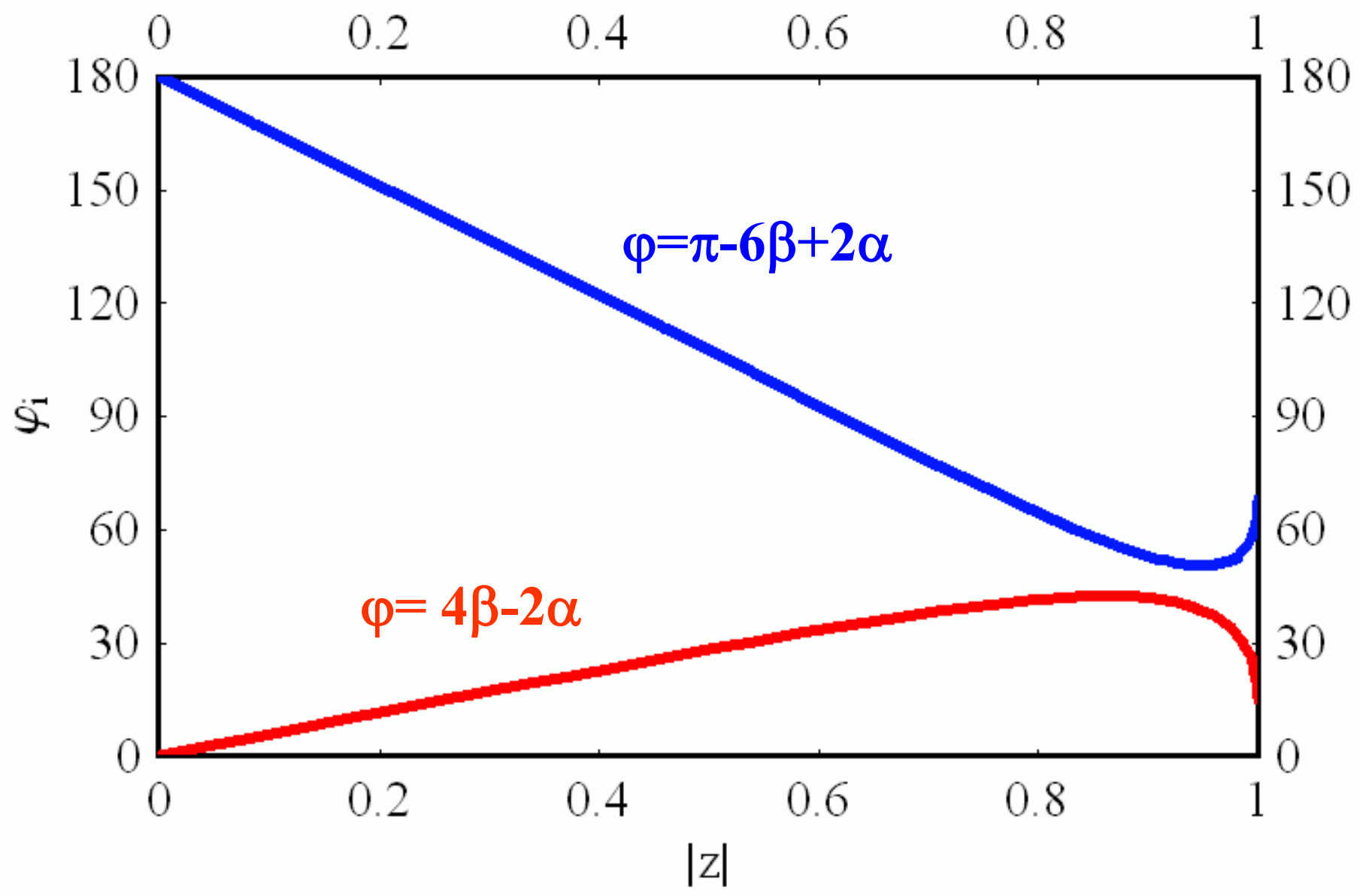
$$\varphi = \gamma - (\alpha - \beta)$$

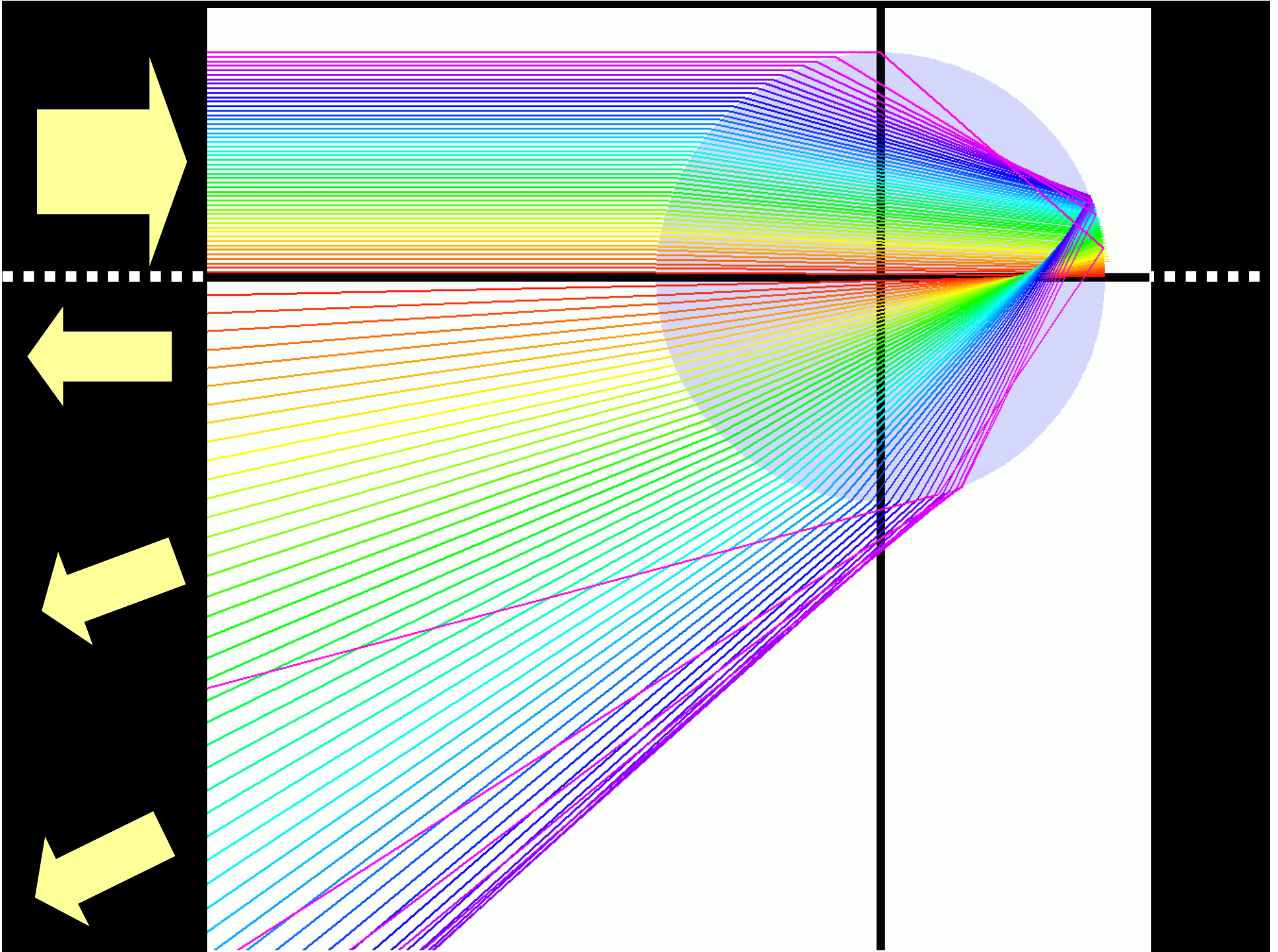
$$\varphi = 4\beta - 2\alpha$$

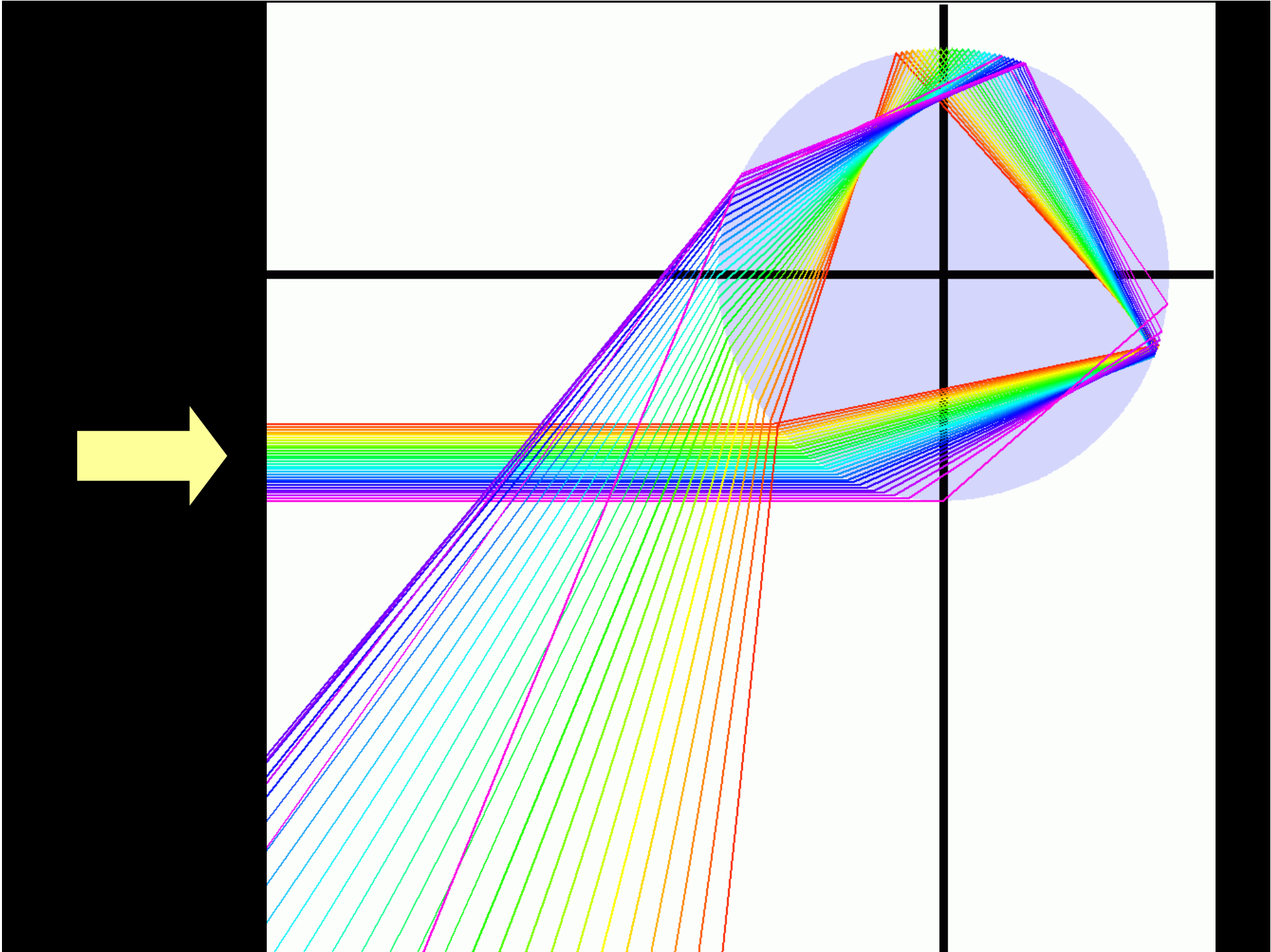


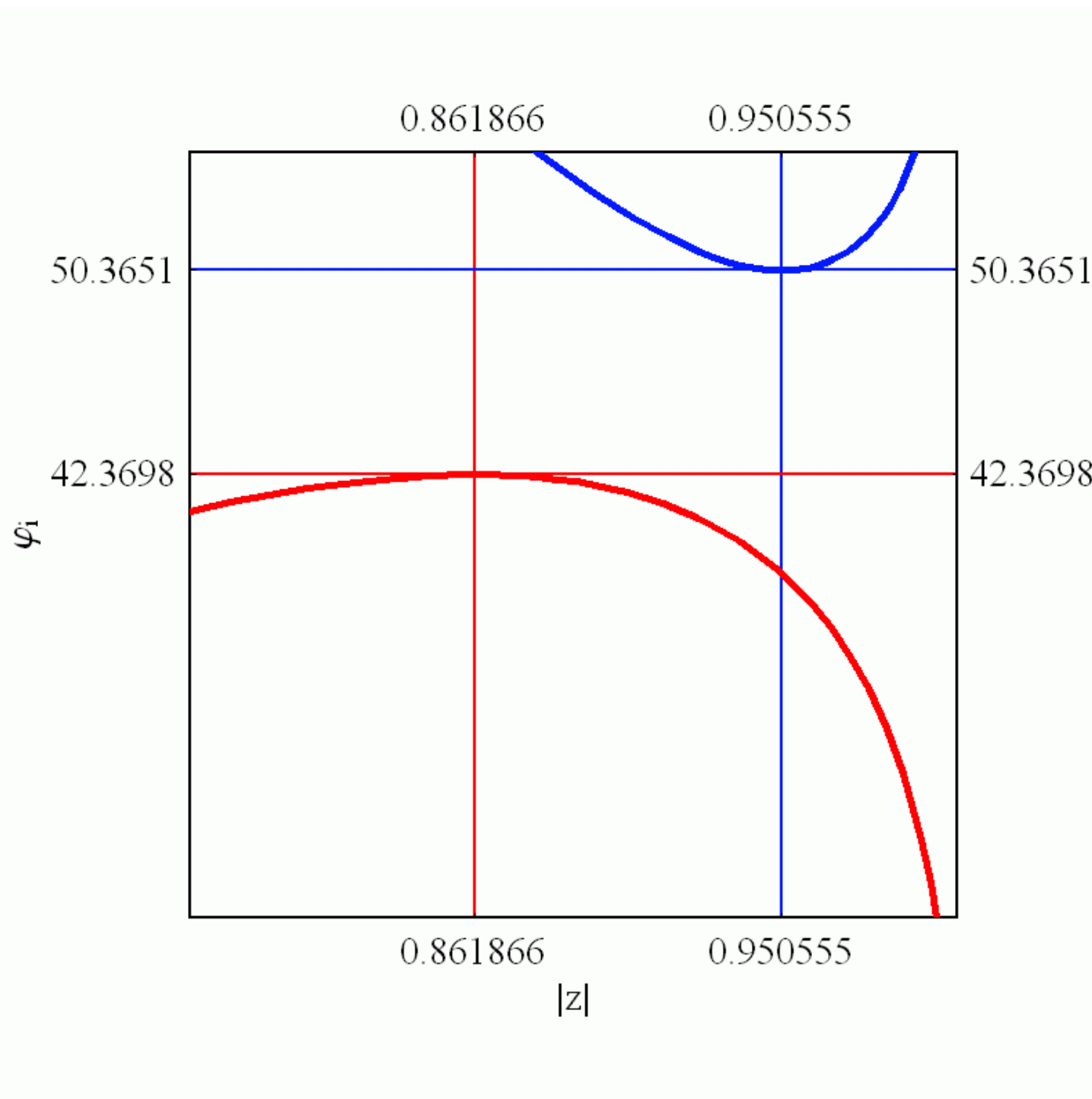


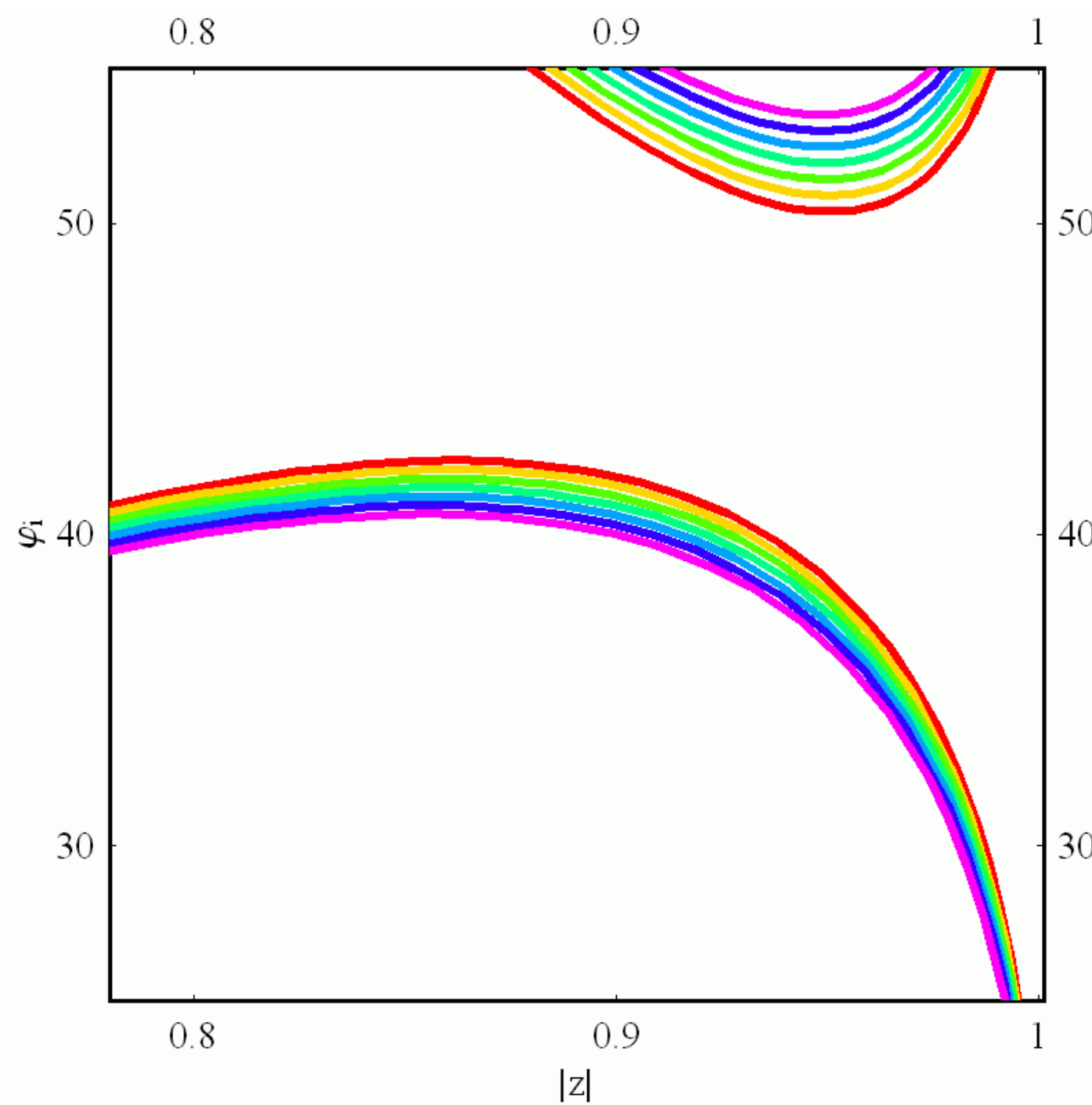
$$\varphi = \pi - 6\beta + 2\alpha$$

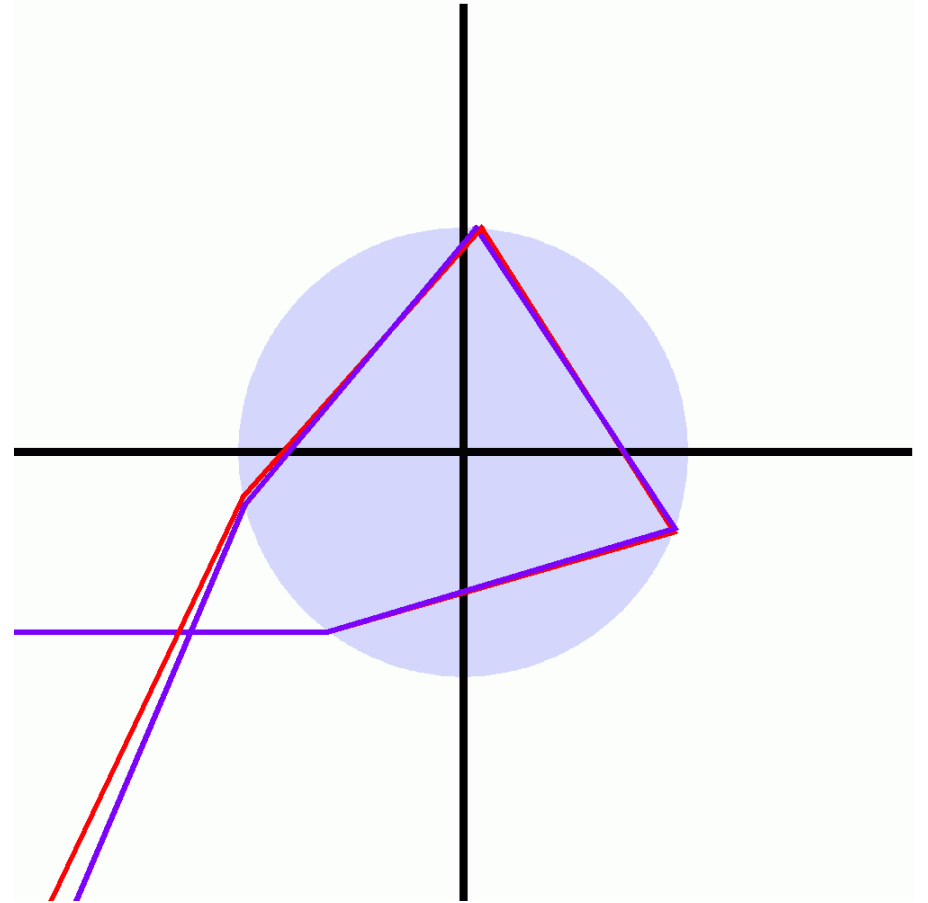
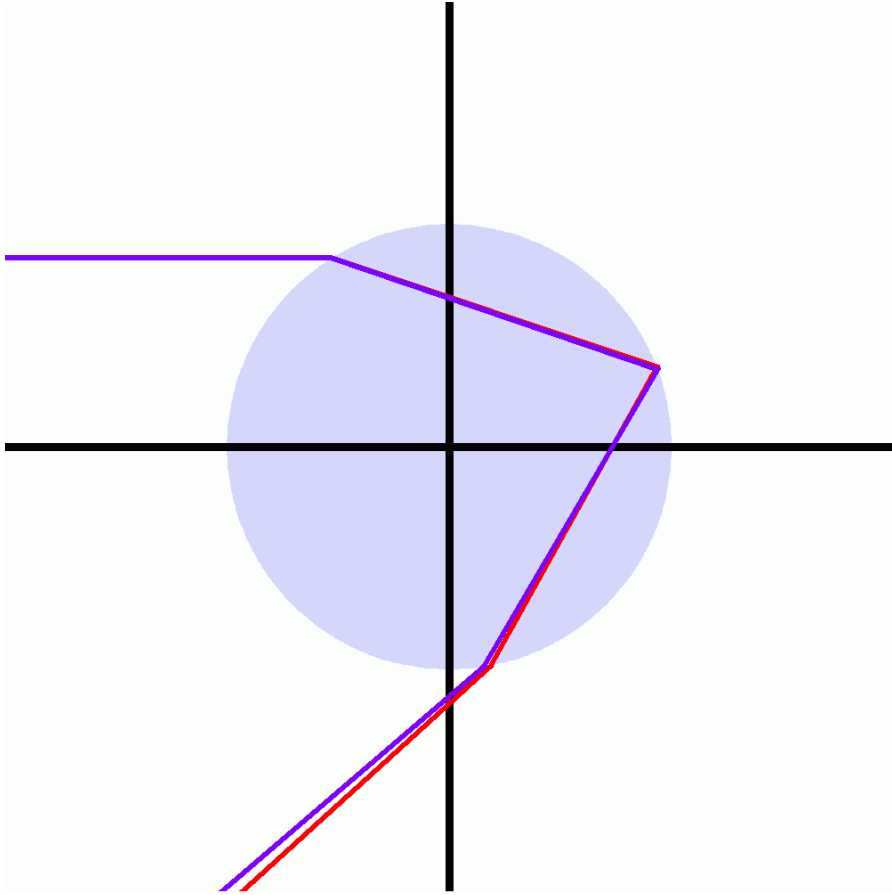




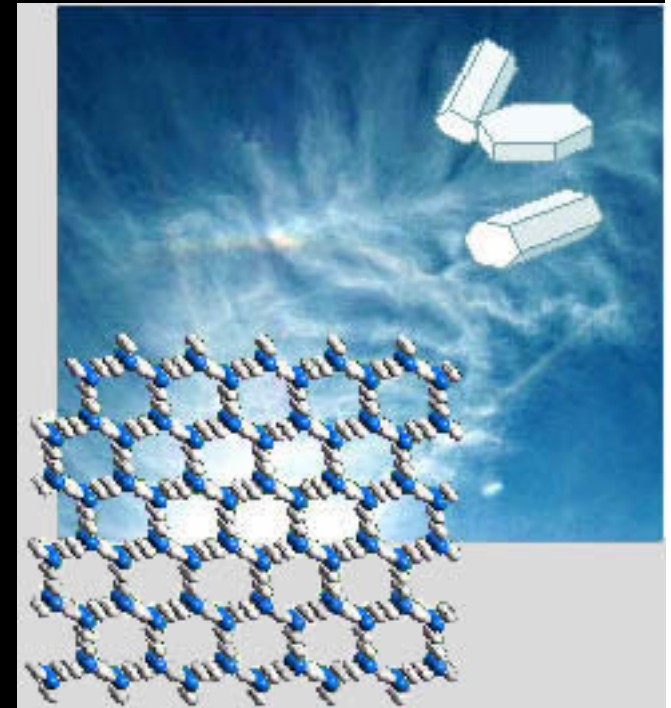
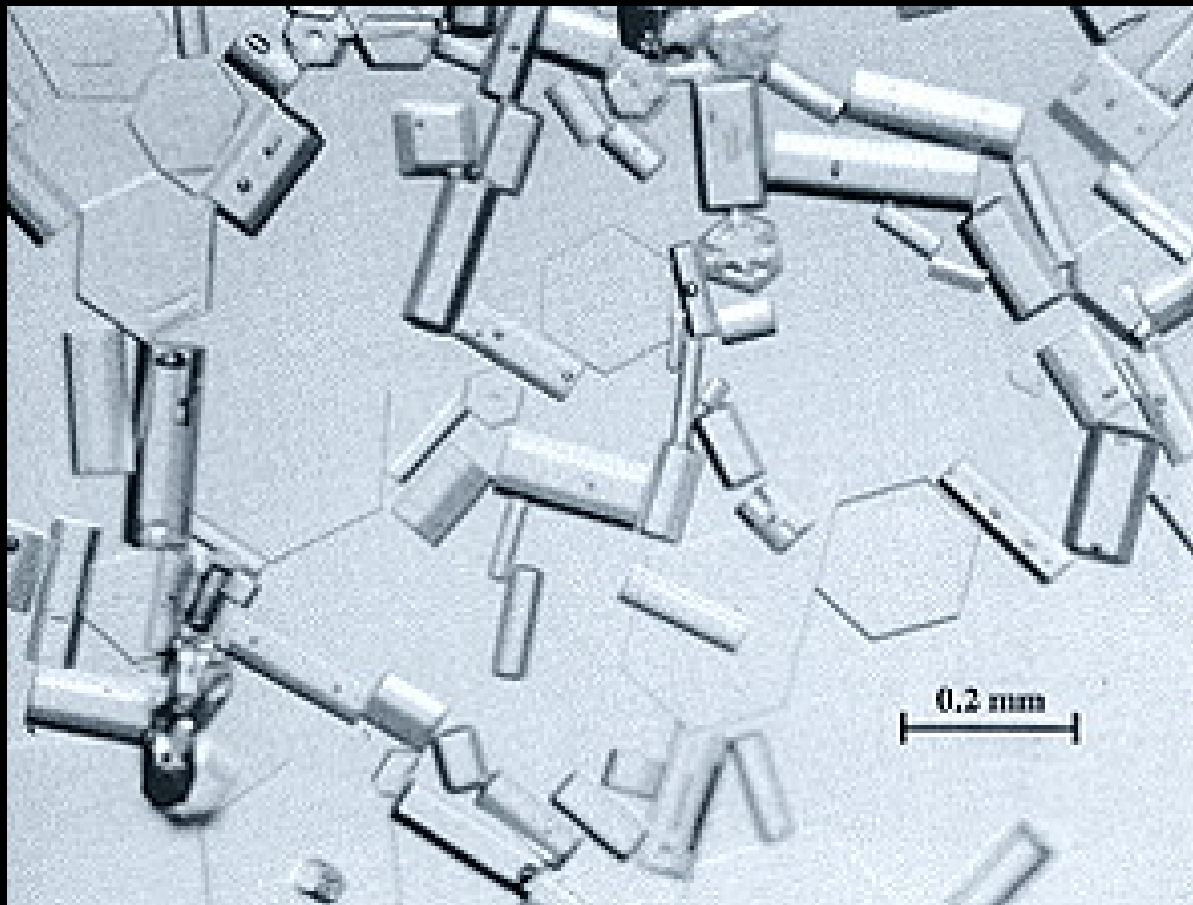
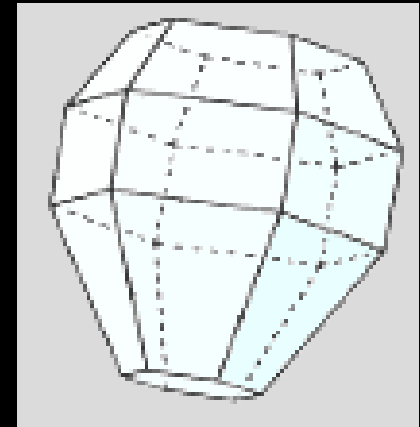
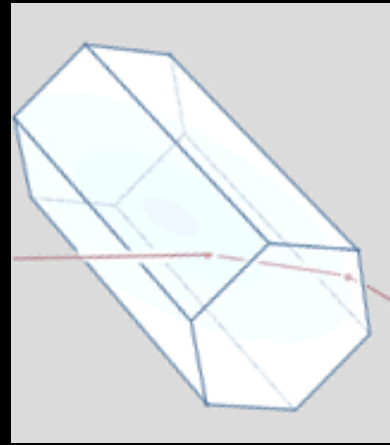
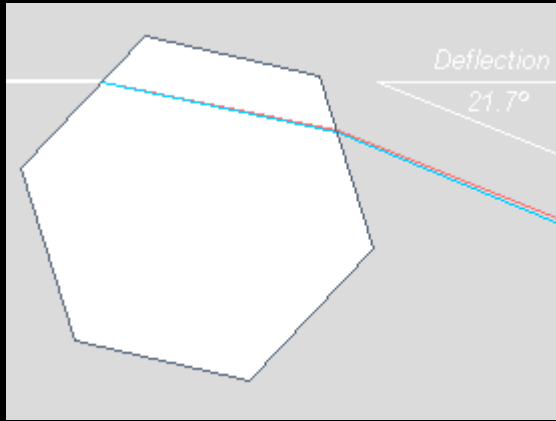




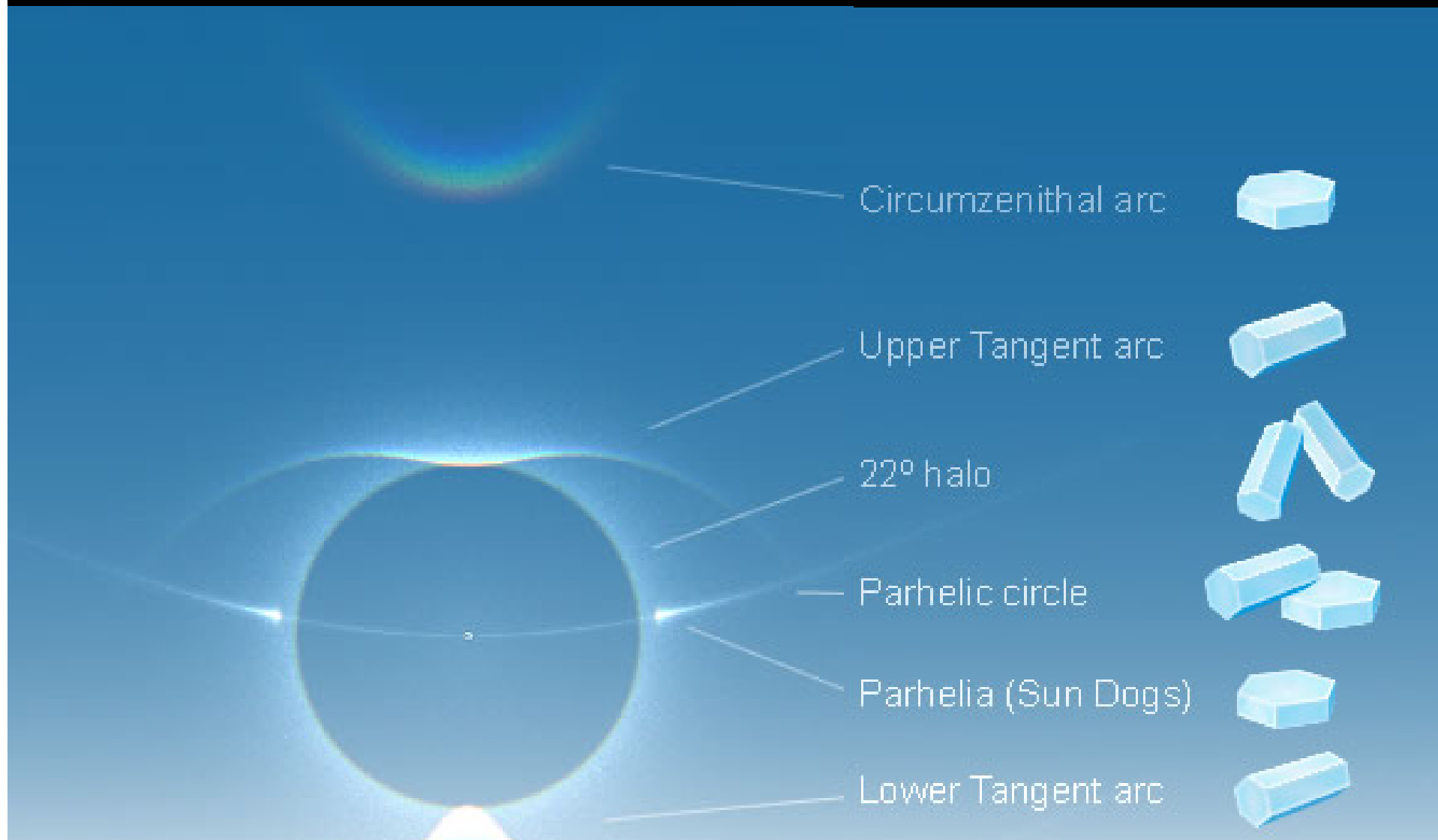




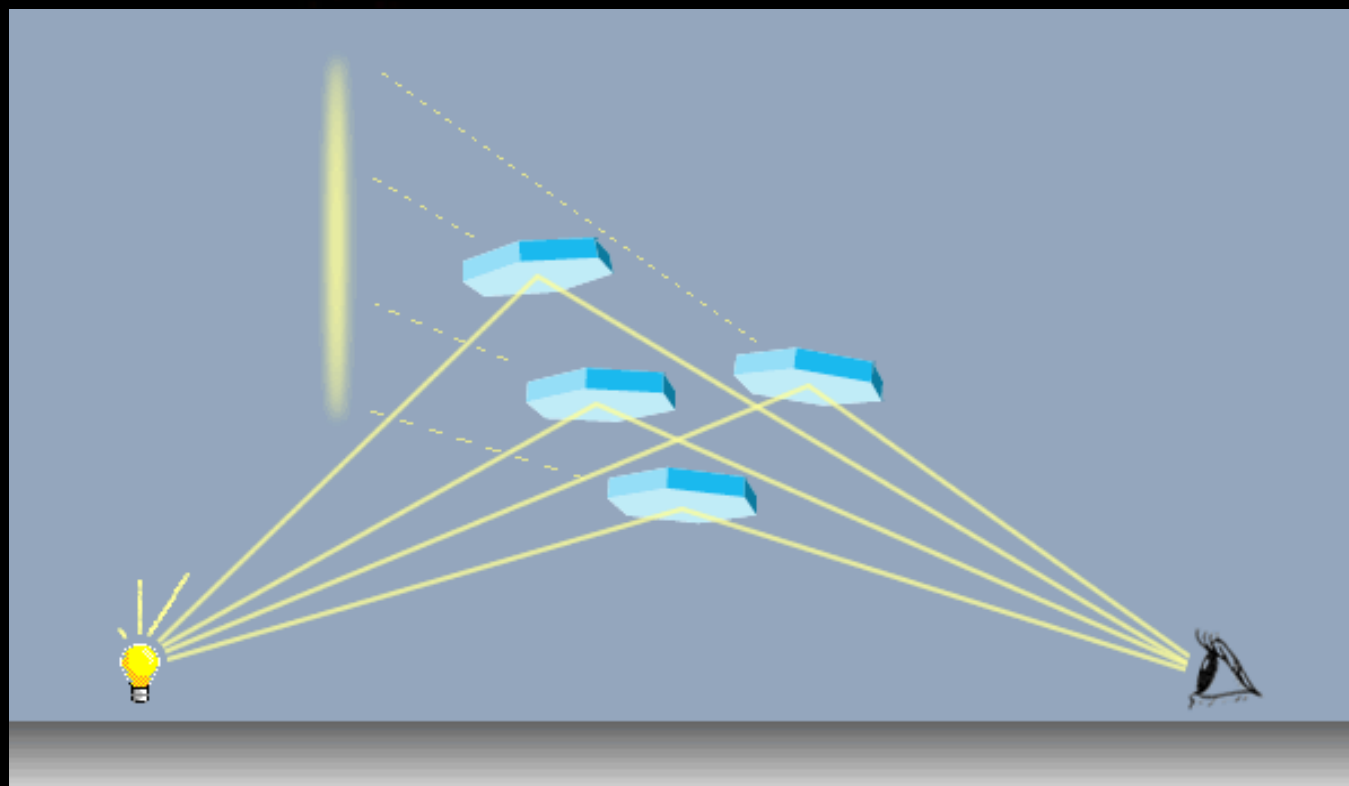




Оптические эффекты, вызываемые кристаллами льда



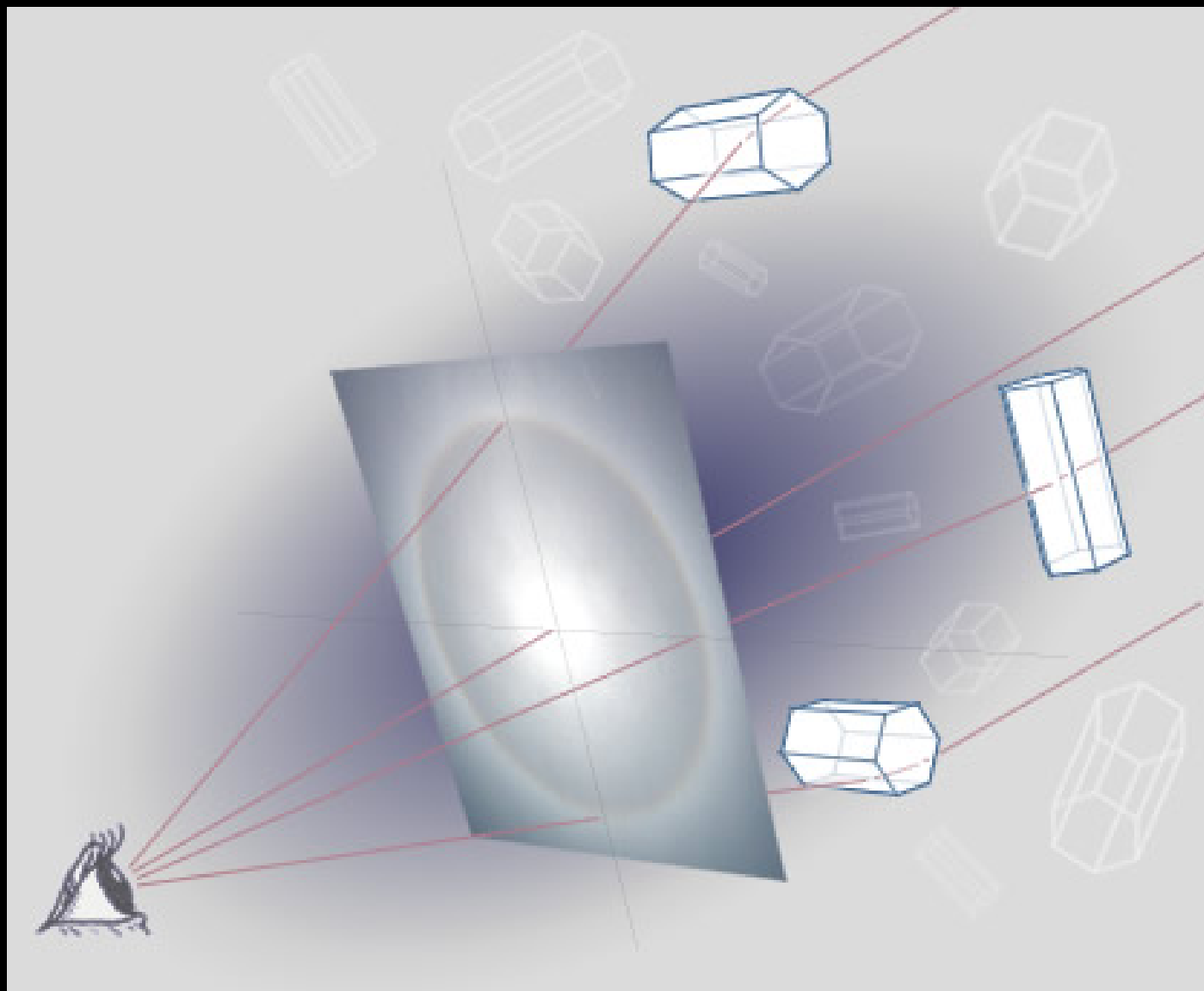
Световые столбы

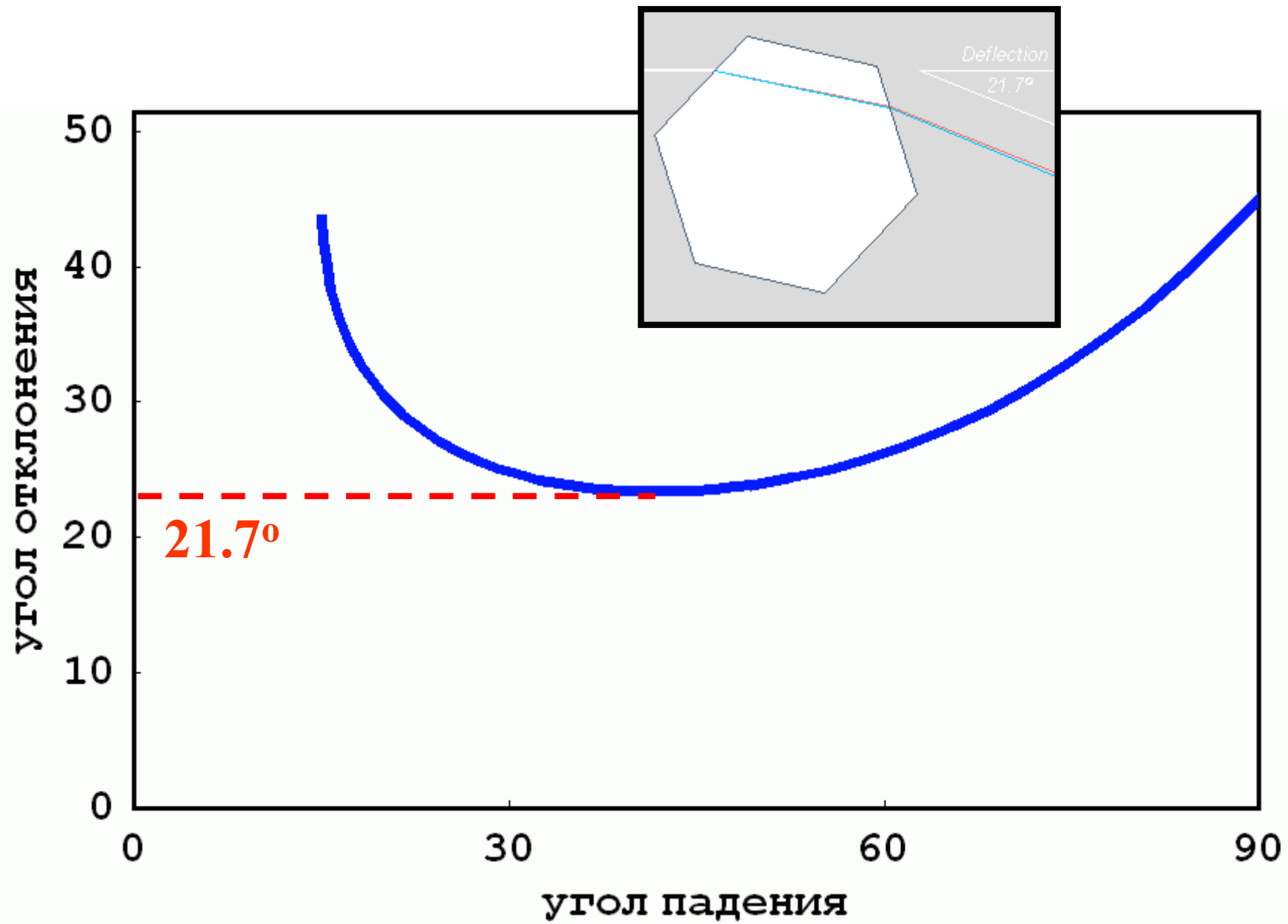


Световой столб (Sun Pillar)



Гало

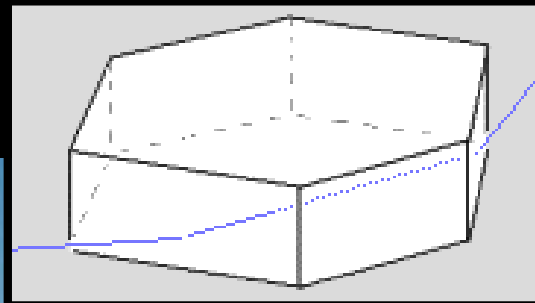
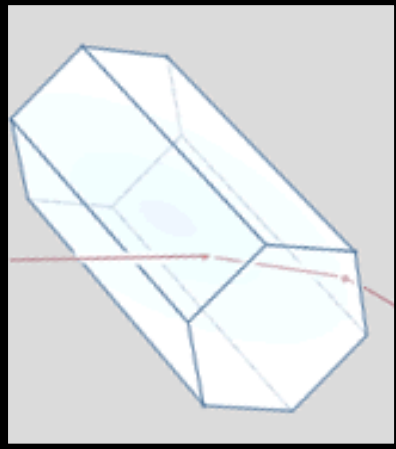




22 град. гало вокруг Луны

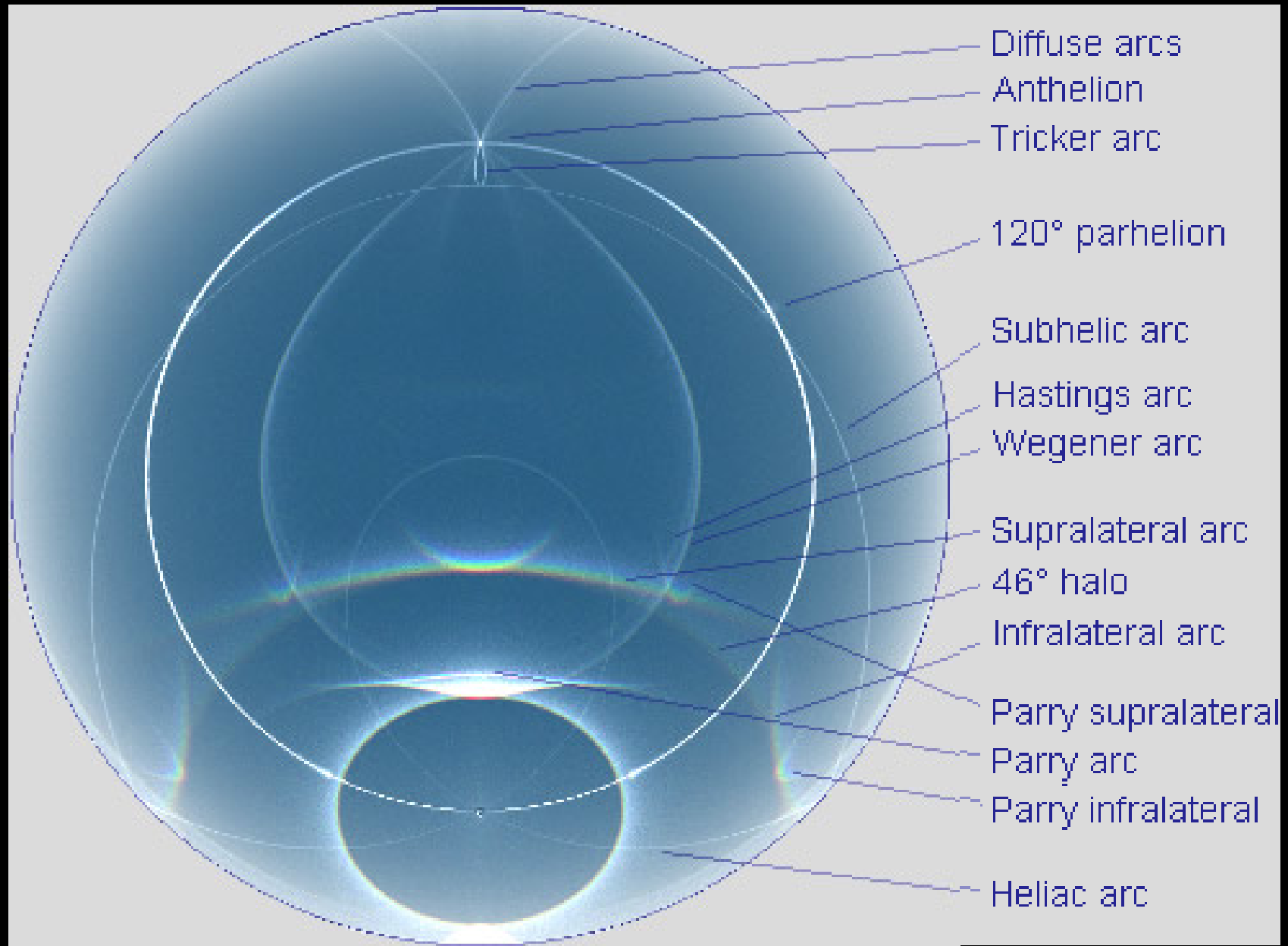


Ложные солнца (Sundogs)



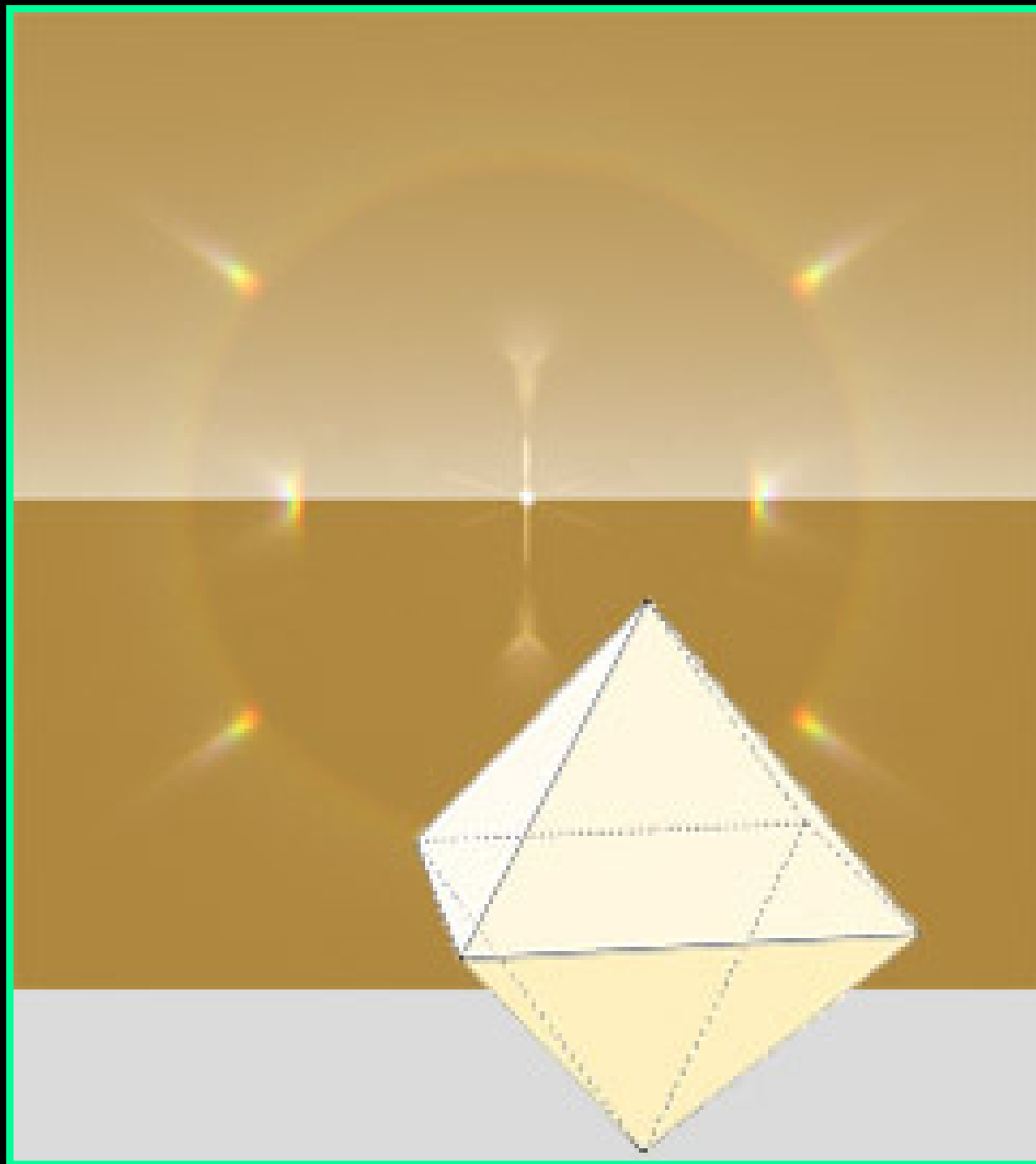
diamond dust







**Кристаллы
аммония
(атмосферы
Юпитера и
Сатурна)**



Atmospheric Optics

<http://www.atoptics.co.uk/>