

# Введение в физику гидросферы

2025 Лекция №10

Носов Михаил Александрович

*кафедра физики моря и вод суши*

*отделение геофизики*

*физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова*



Элементы

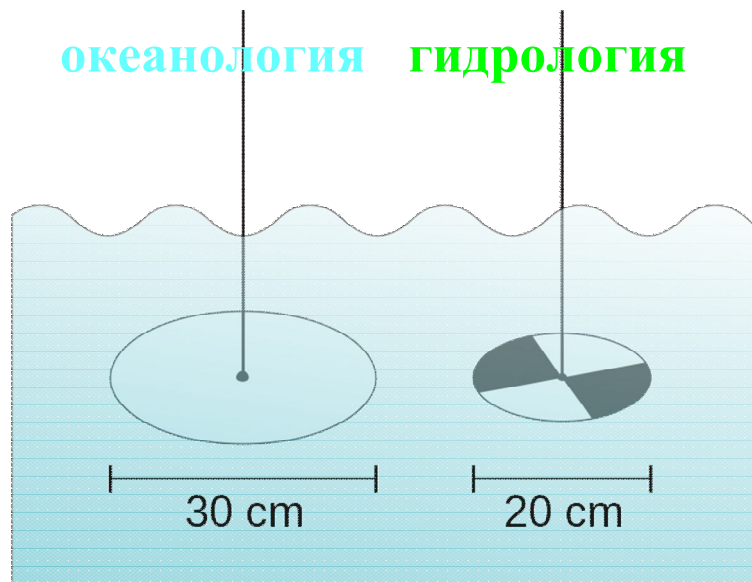
оптики

океана

## Задачи оптики океана:

- Распространение электромагнитного излучения видимого диапазона (380-780 нм) в морской воде, уравнение переноса излучения;
- Оптические свойства морской воды (чистой, чистой морской, с добавлением взвеси и в т.ч. органического вещества - «желтого вещества»). Преломление, рассеяние, и поглощение света морской средой, флуоресценция, люминесценция;
- Видимость под водой и через поверхность моря. Цвет моря и вод суши;
- Подводная облученность и фотосинтетическая активность, их пространственная и временная изменчивость;
- Дистанционное зондирование морской среды (активное и пассивное) с судов, летательных аппаратов и из Космоса. Атмосферная коррекция спутниковых данных;
- ...

# Измерения прозрачности морской воды (диск Секки - Secchi Disk)



Статью по исследованию  
прозрачности Лигурийского и  
Адриатического морей А.Секки  
опубликовал 1865 году в научном  
журнале *Il Nuovo Cimento*



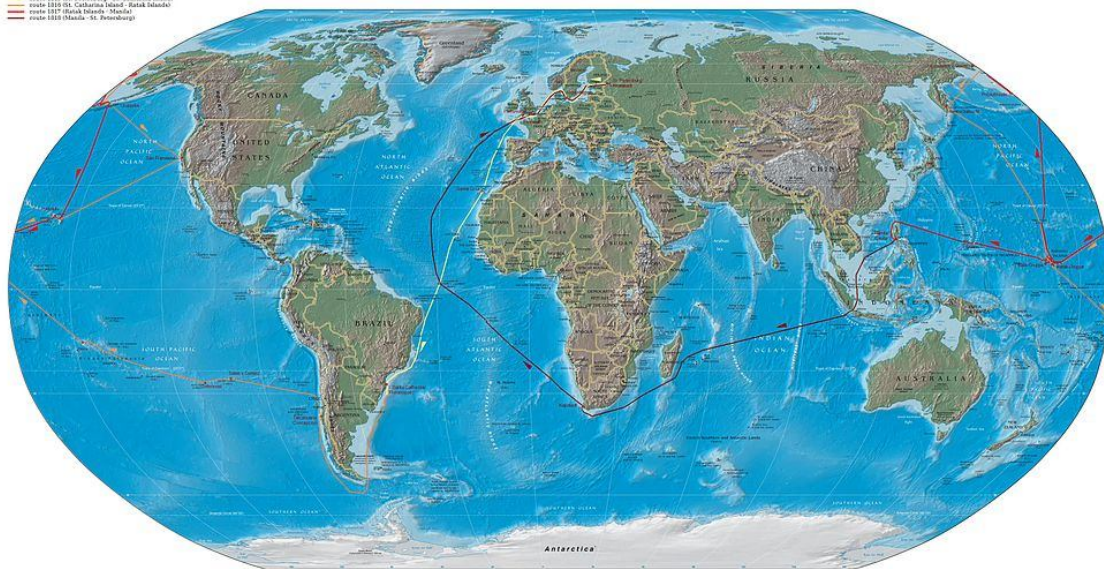
**аббат Анджело Секки**  
**1818 — 1878**

директор обсерватории  
папского Григорианского  
университета, «отец  
астрофизики»

# Измерения прозрачности морской воды (до появления диска Секки)

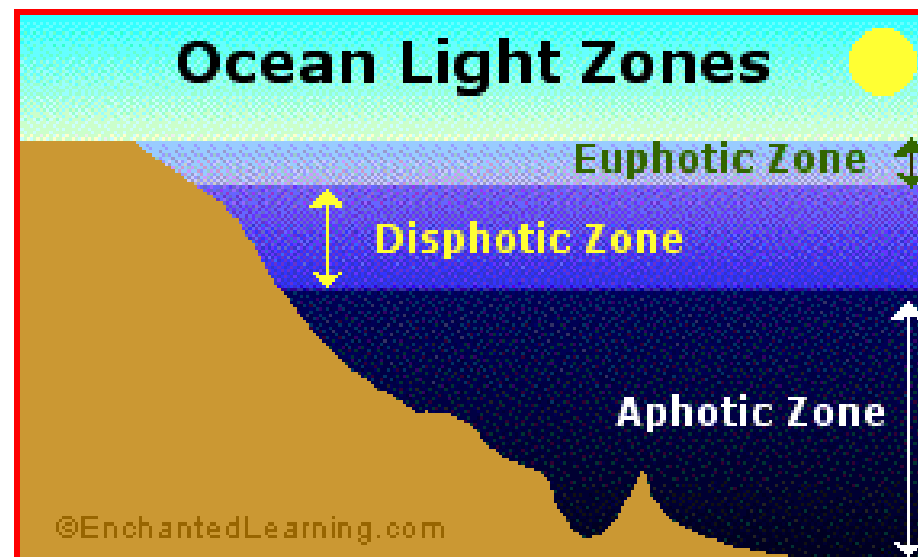
Кругосветное плавание в 1815–1818 годах брига  
«Рюрик» под командованием лейтенанта Отто Коцебу

Rurik-Expedition (1815 - 1818)  
Based on a physical map of the world of April 2004



**...использовалась белая тарелка с камбуза.**

Прозрачность воды определяет толщину **фотической** зоны, в которую проникает солнечная радиация. В этой зоне эффективен процесс фотосинтеза (до 200 м).



Ниже расположена **дисфотическая** (сумеречная) зона, в которой все еще возможен фотосинтез (до 1000 м).

Ниже дисфотической зоны расположена **афотическая** зона, в которой фотосинтез невозможен.

# Закон Бугера (1729 г.)

$$dI = -\sigma I dx$$

показатель  
ослабления

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

В атмосфере и в океане

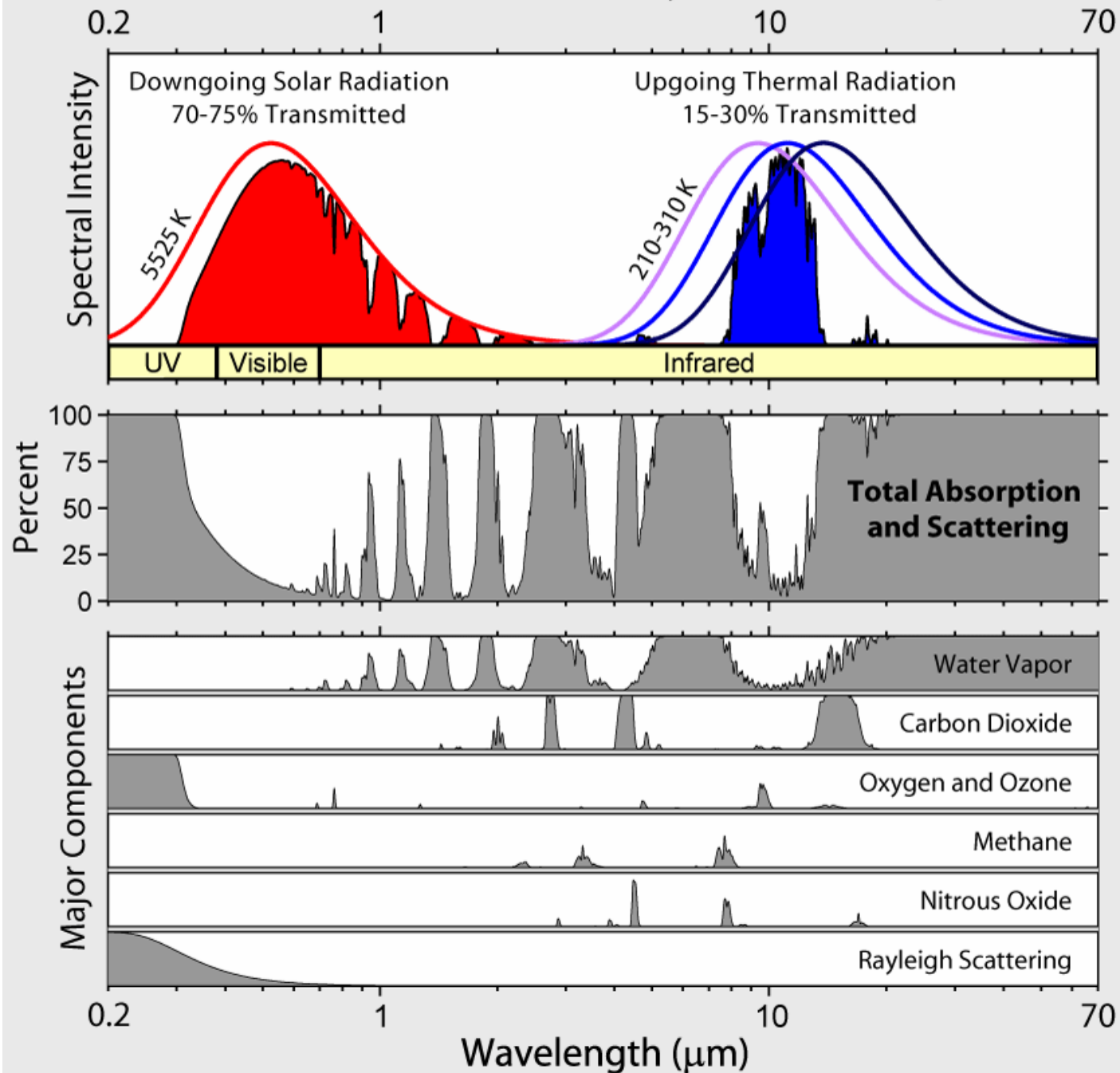
$$\sigma = \sigma(\lambda)$$



**Pierre Bouguer**  
1698-1758

French  
mathematician,  
geophysicist,  
geodesist, and  
astronomer

# Radiation Transmitted by the Atmosphere



Нормированные  
спектры  
излучения  
Солнца и Земли

Спектр  
поглощения  
атмосферы

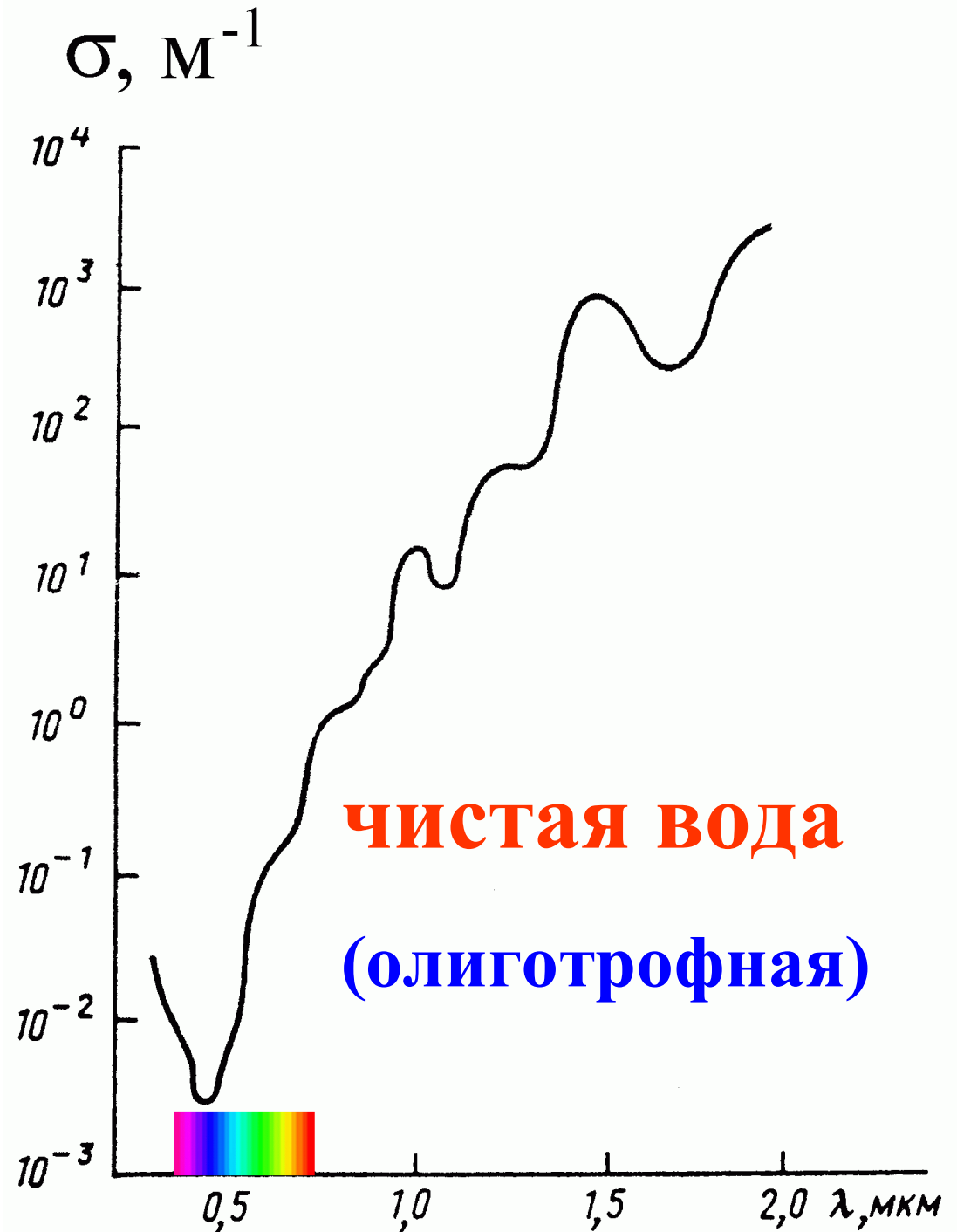
водяной пар  
углекислый газ  
кислород и озон  
метан  
закись азота

Коэффициент  
ослабления для  
морской воды

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

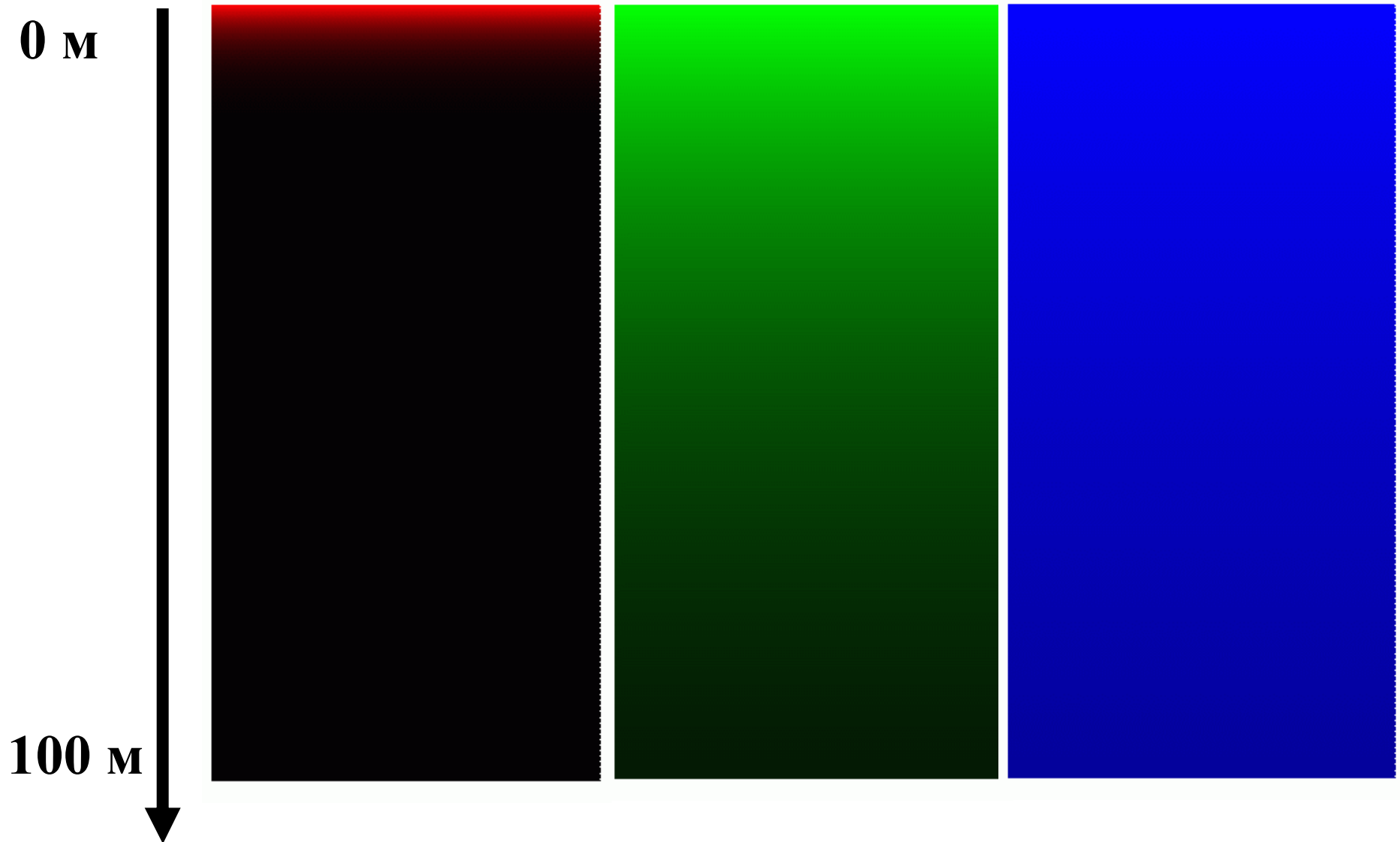
$$\sigma = \sigma(\lambda)$$

наличие  
желтого вещества  
меняет вид  
зависимости

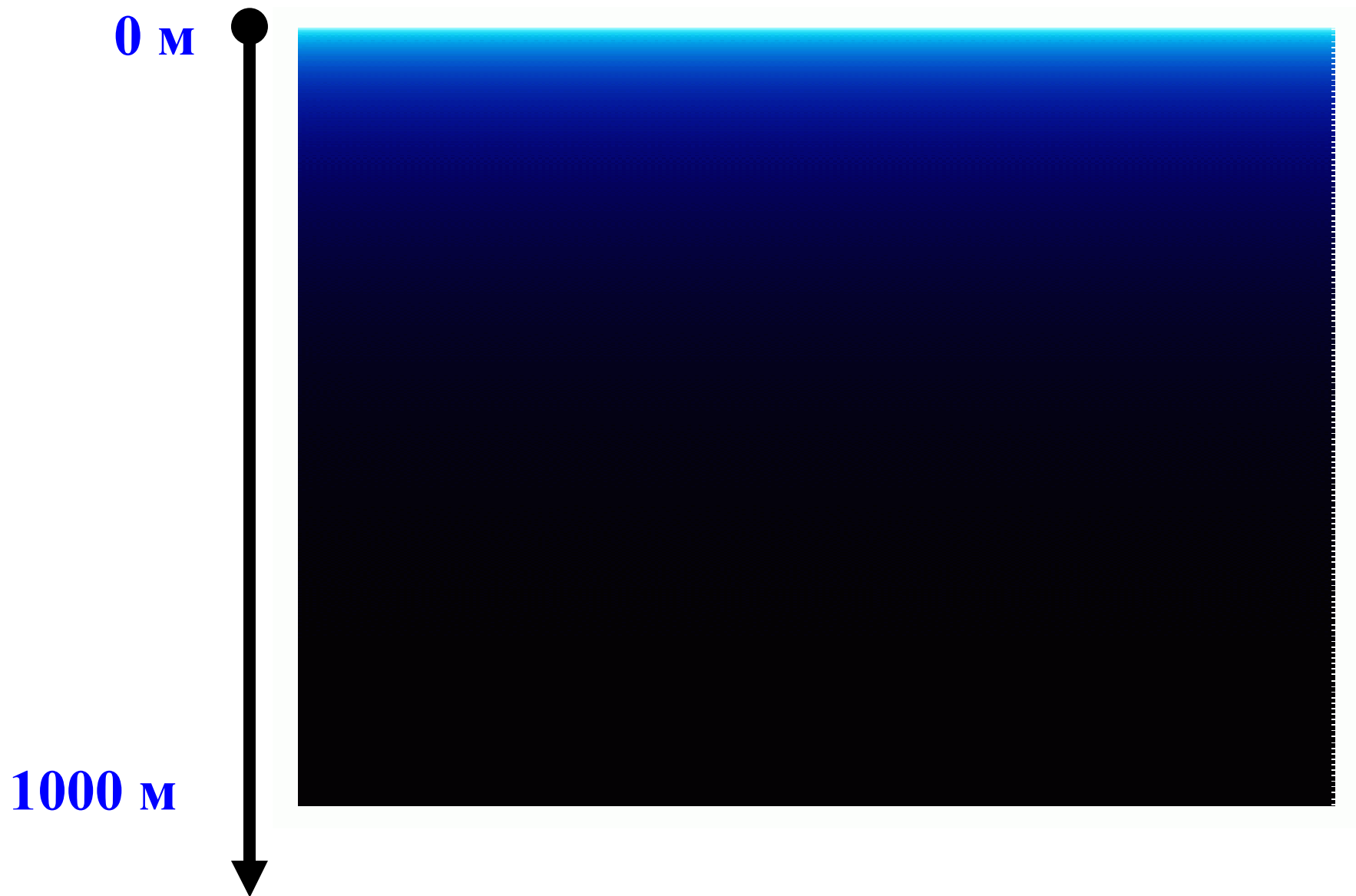


## Ослабление света с глубиной в чистой воде

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



# Ослабление света с глубиной в чистой воде



# Ослабление электромагнитного излучения есть следствие факторов:

1. Поглощения (переход энергии в тепло)

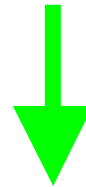
2. Рассеяния («переизлучения»)



крупные частицы  
(неоднородности)

$$D \gg \lambda$$

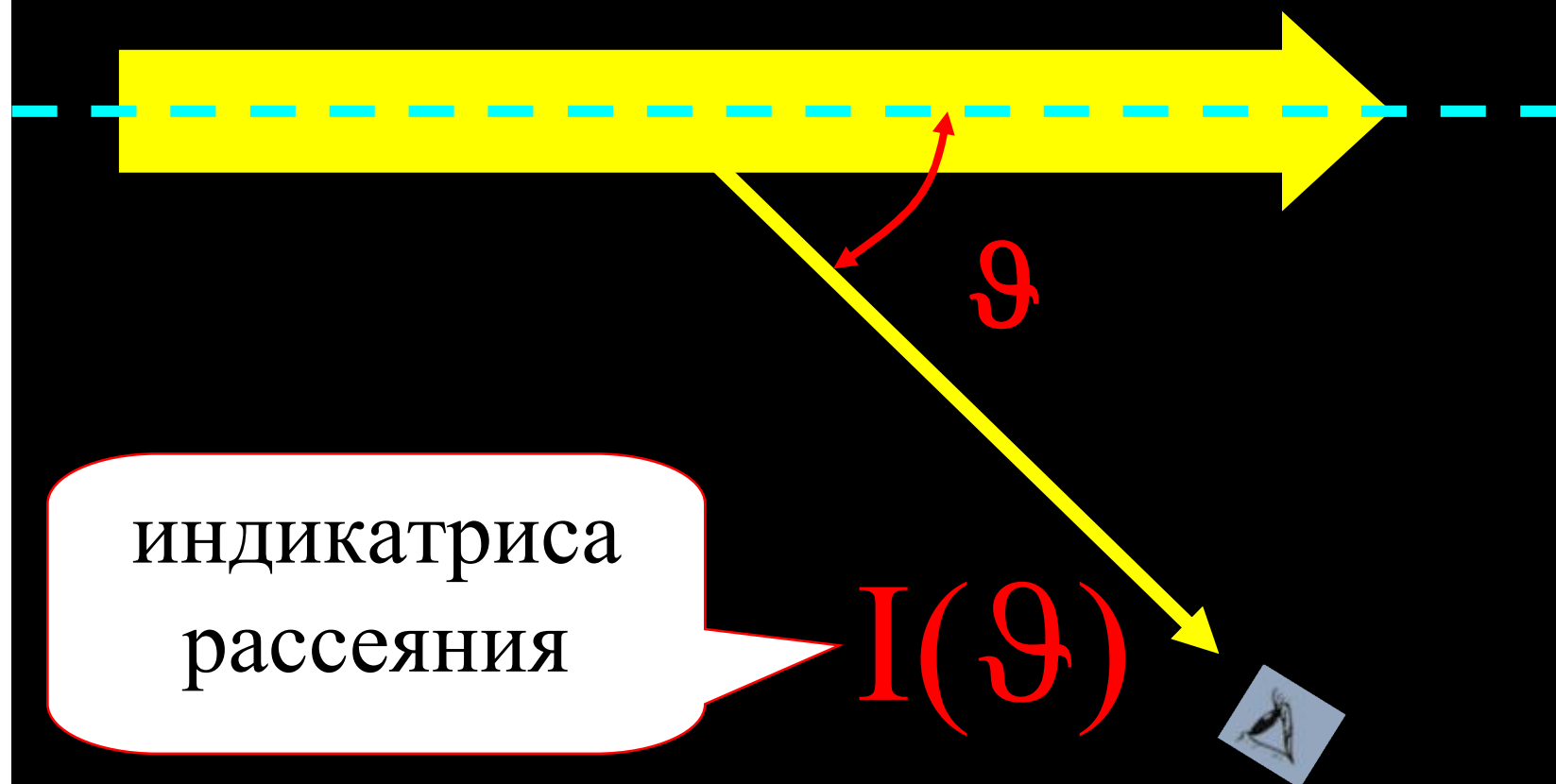
рассеяние Ми

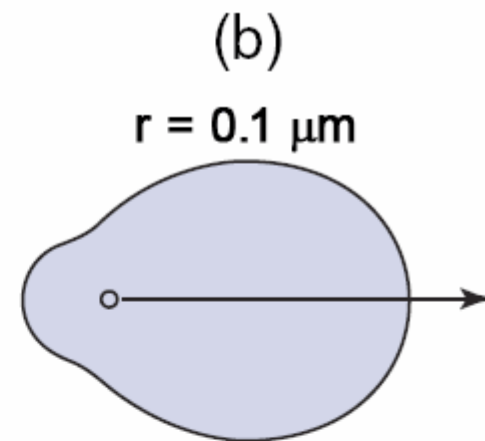
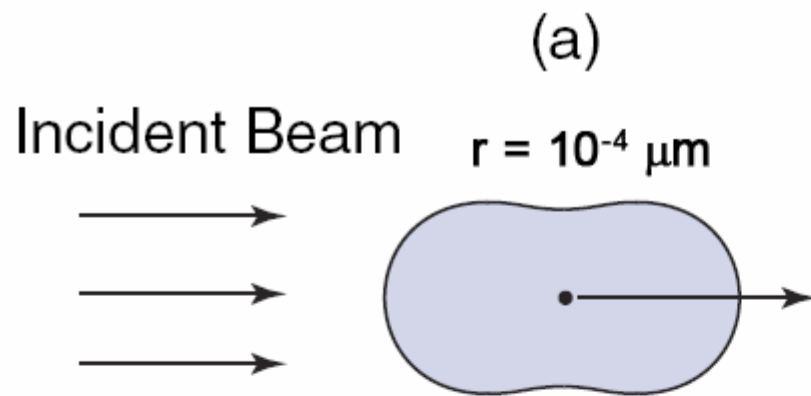


мелкие частицы  
(неоднородности)

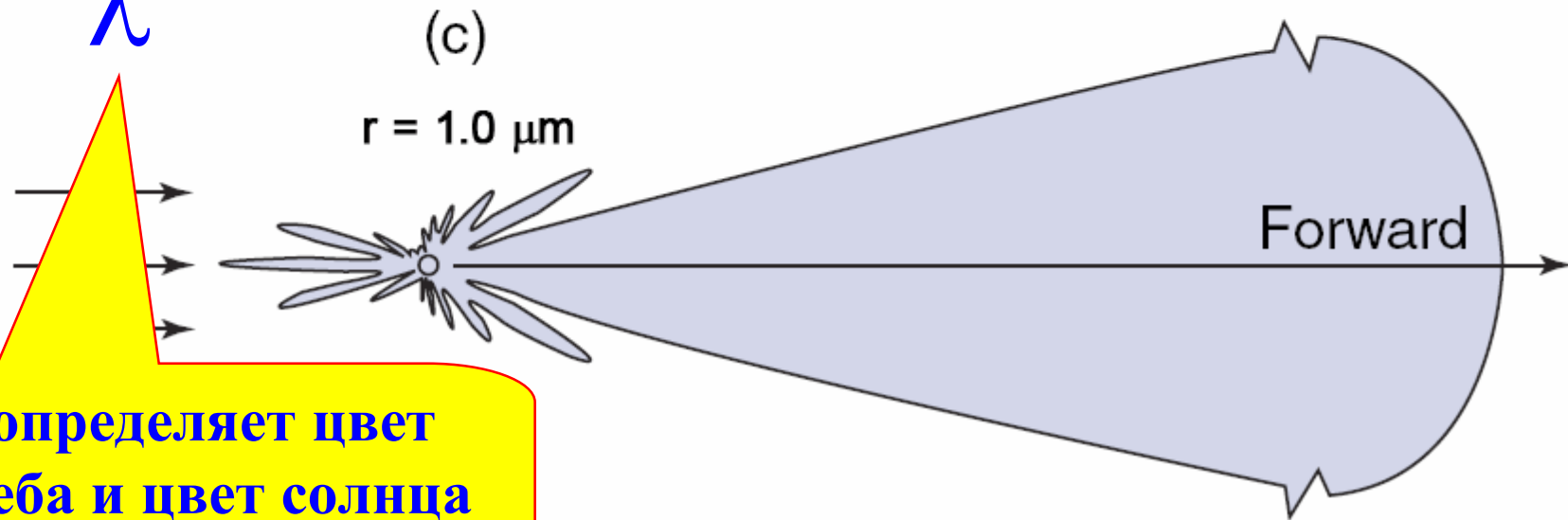
$$D \ll \lambda$$

рассеяние Рэлея  
или молекулярное





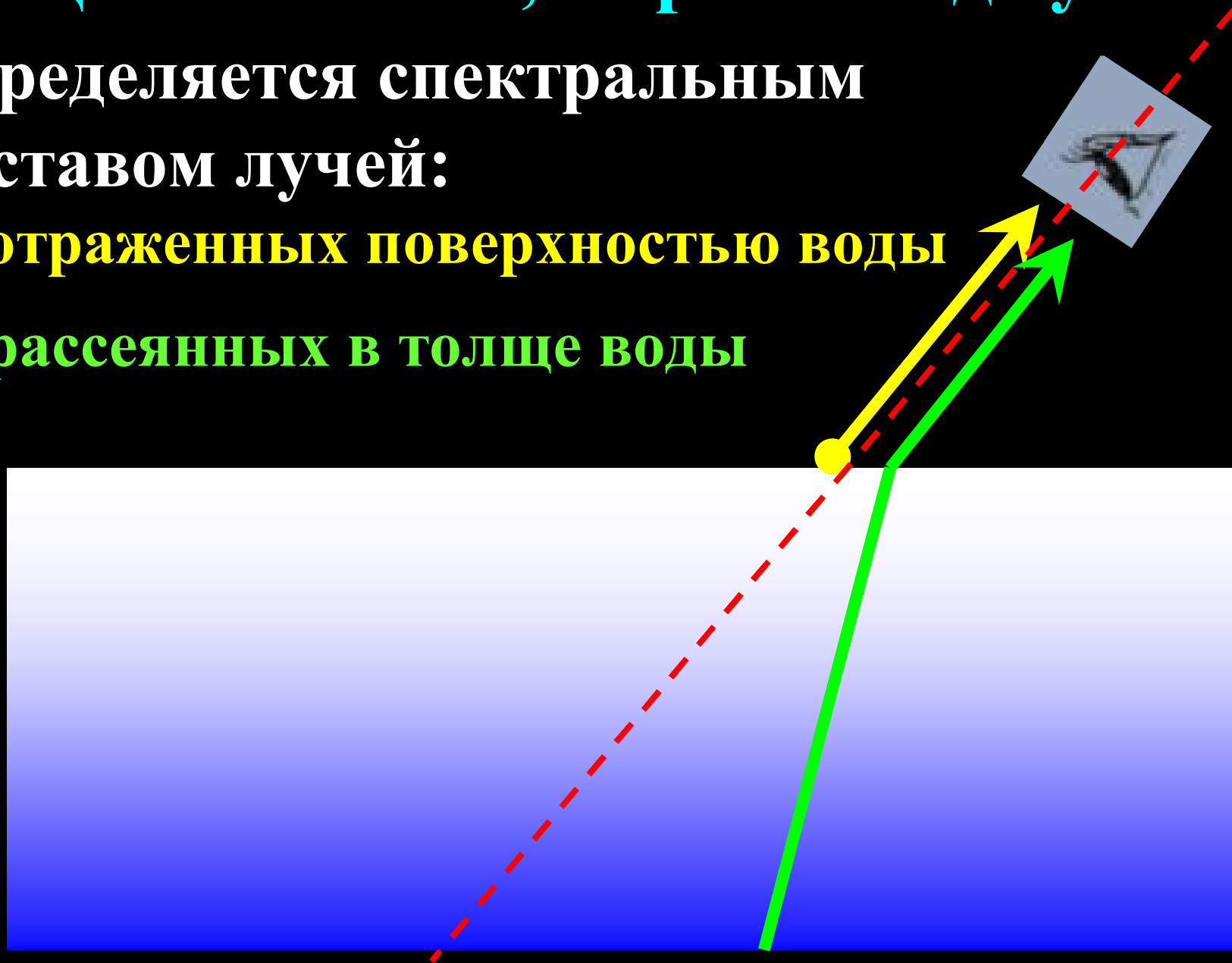
$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} [1 + \cos^2 \vartheta]$$



определяет цвет  
неба и цвет солнца  
на закате

**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







