

Поляризация

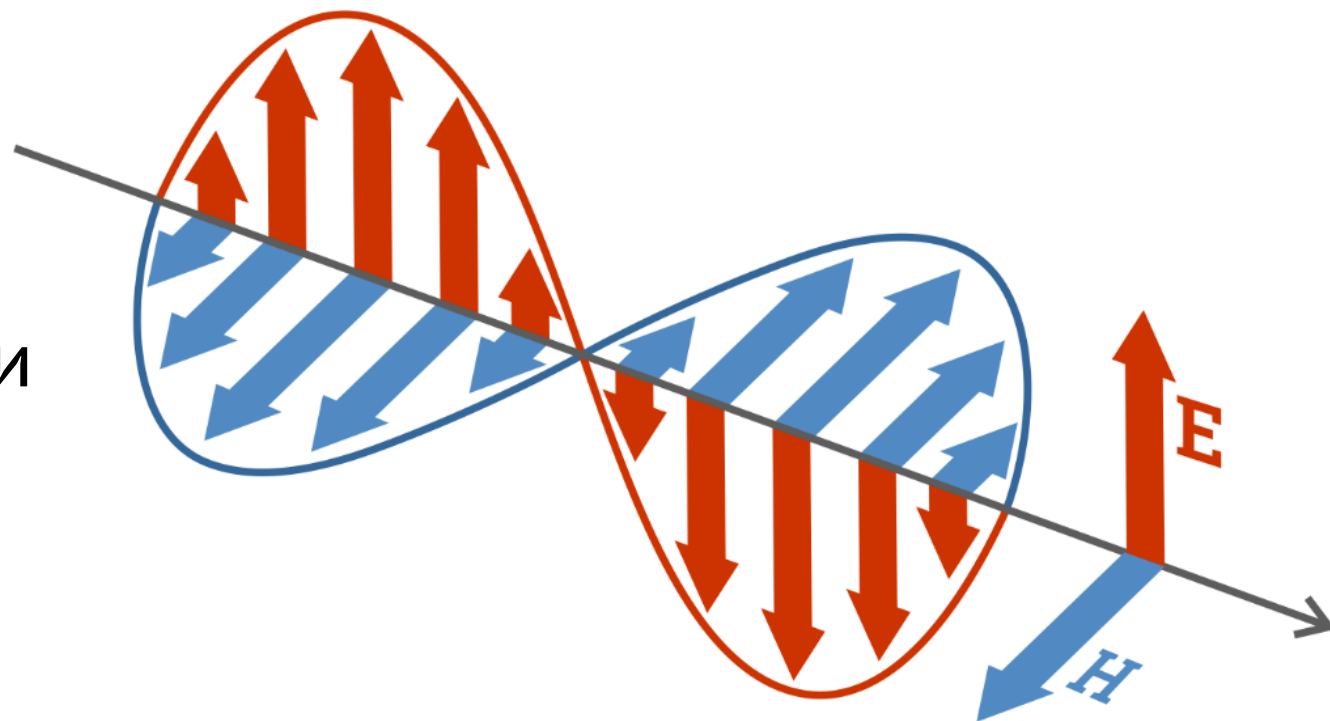
Дисперсия света

Волновая оптика

Поляризация света

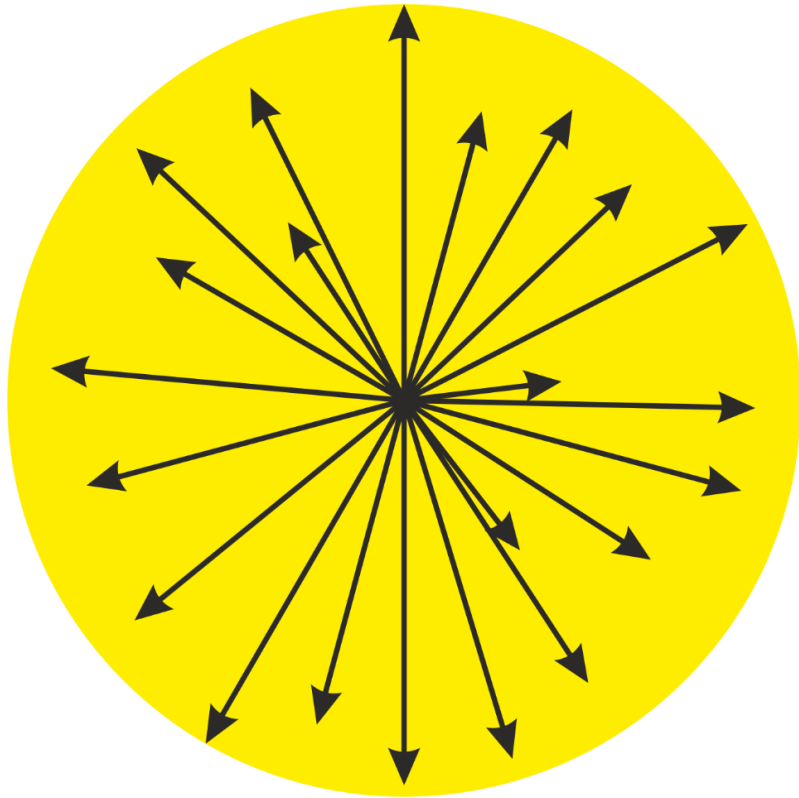
Явление упорядочивания направлений колебаний светового вектора E

E – вектор напряженности электрического поля, световой вектор

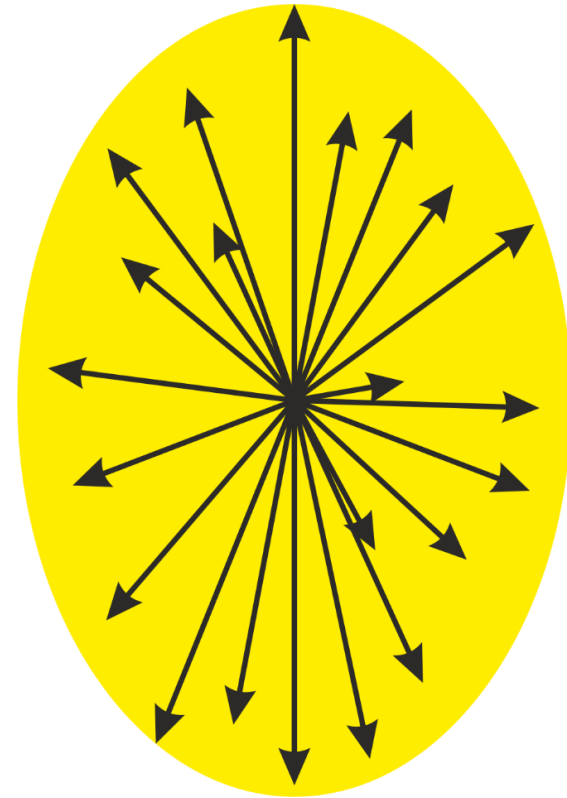


Поляризация света

Естественный свет



Поляризованный свет

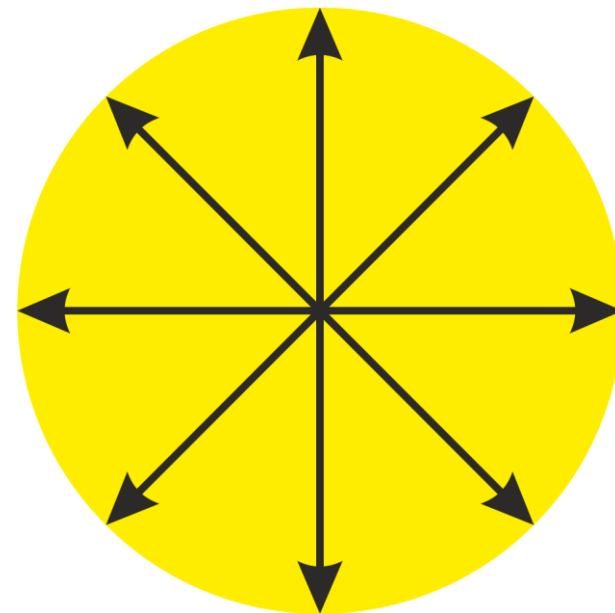
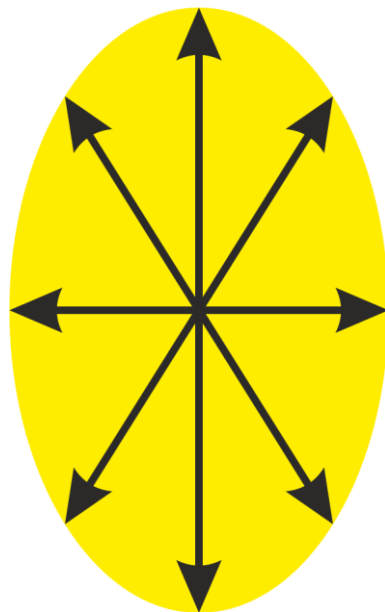


Виды поляризации



**Плоскополяризованный,
Линейно поляризованный**

**Эллиптически
поляризованный**



**Циркулярно
поляризованный,
Поляризованный
по кругу**

Степень поляризации

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Естественный свет

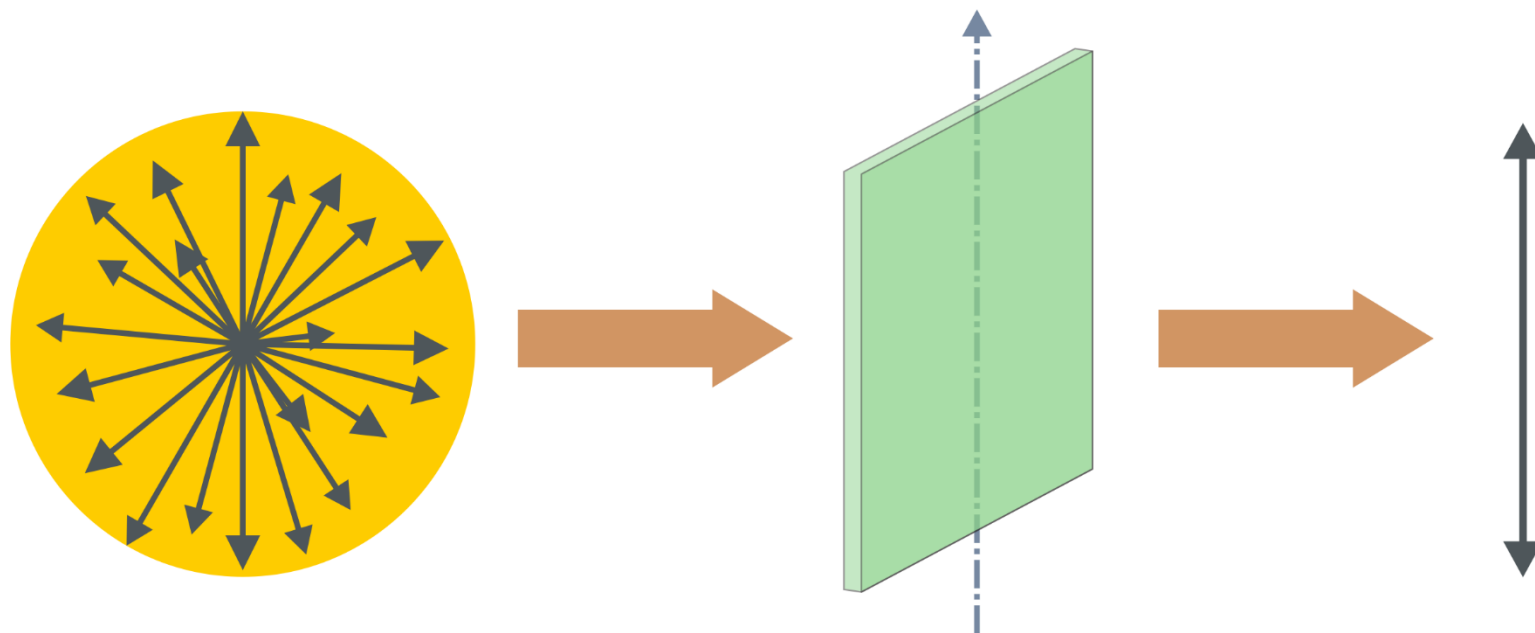
$$P = 0, \quad I_{max} = I_{min}$$

Плоскополяризованный свет

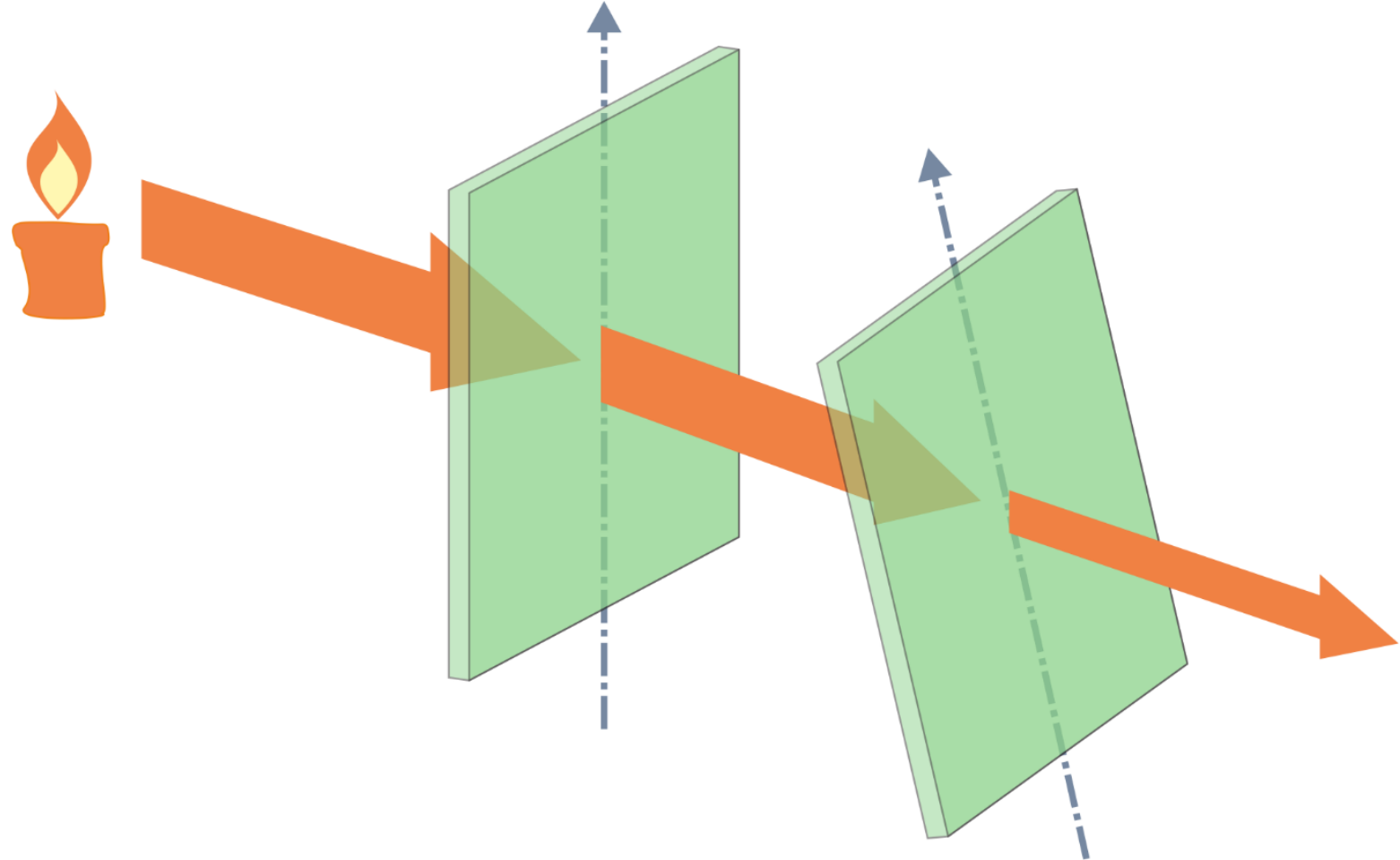
$$P = 1, \quad I_{min} = 0$$

Поляризатор

– устройство, предназначенное для получения **полностью** или частично **поляризованного** оптического излучения из излучения с произвольной поляризацией



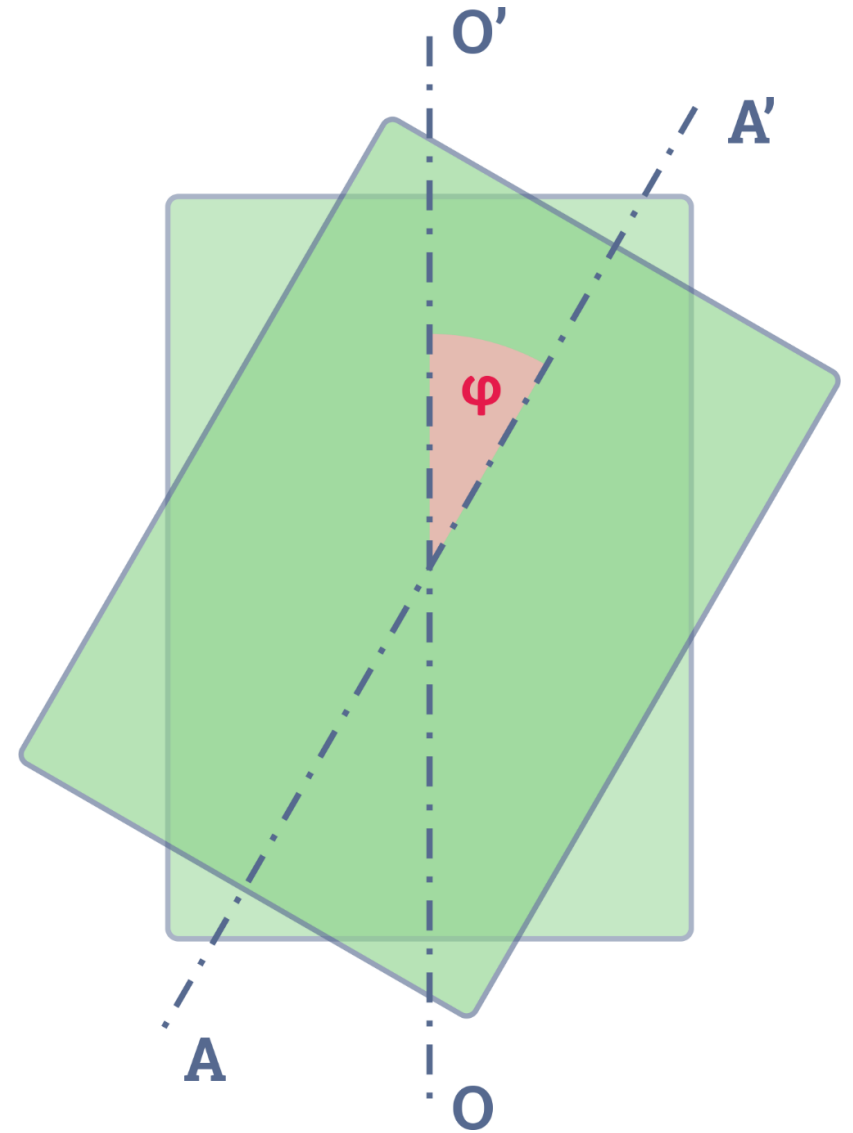
Закон Малюса



Закон Малюса

Интенсивность свет, прошедшего через поляризатор равна произведению интенсивности света, прошедшего через анализатор, на квадрат косинуса угла между оптическими осями поляризатора и анализатора

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

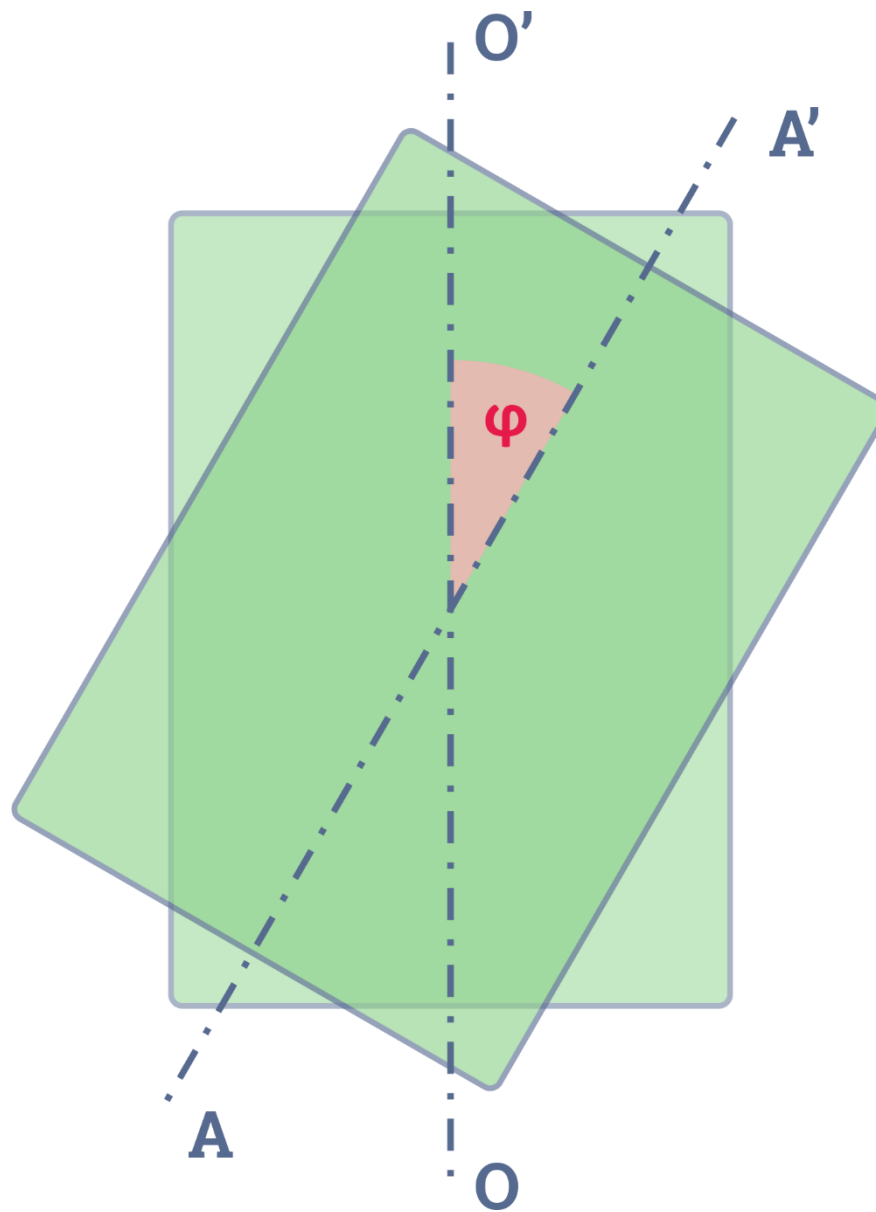


Закон Малюса

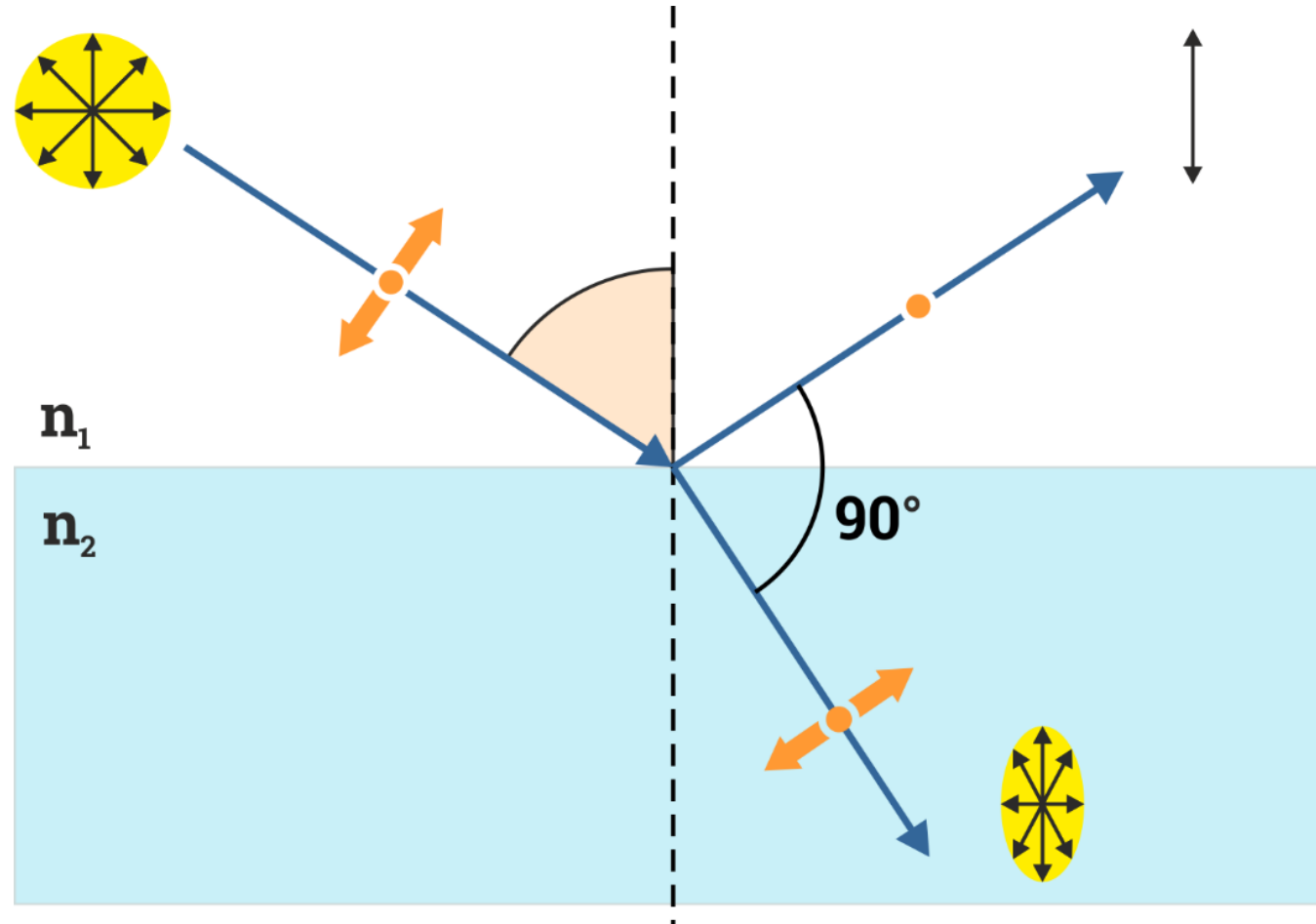
$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{\text{естест}}$$

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{естест}} \cos^2 \varphi$$



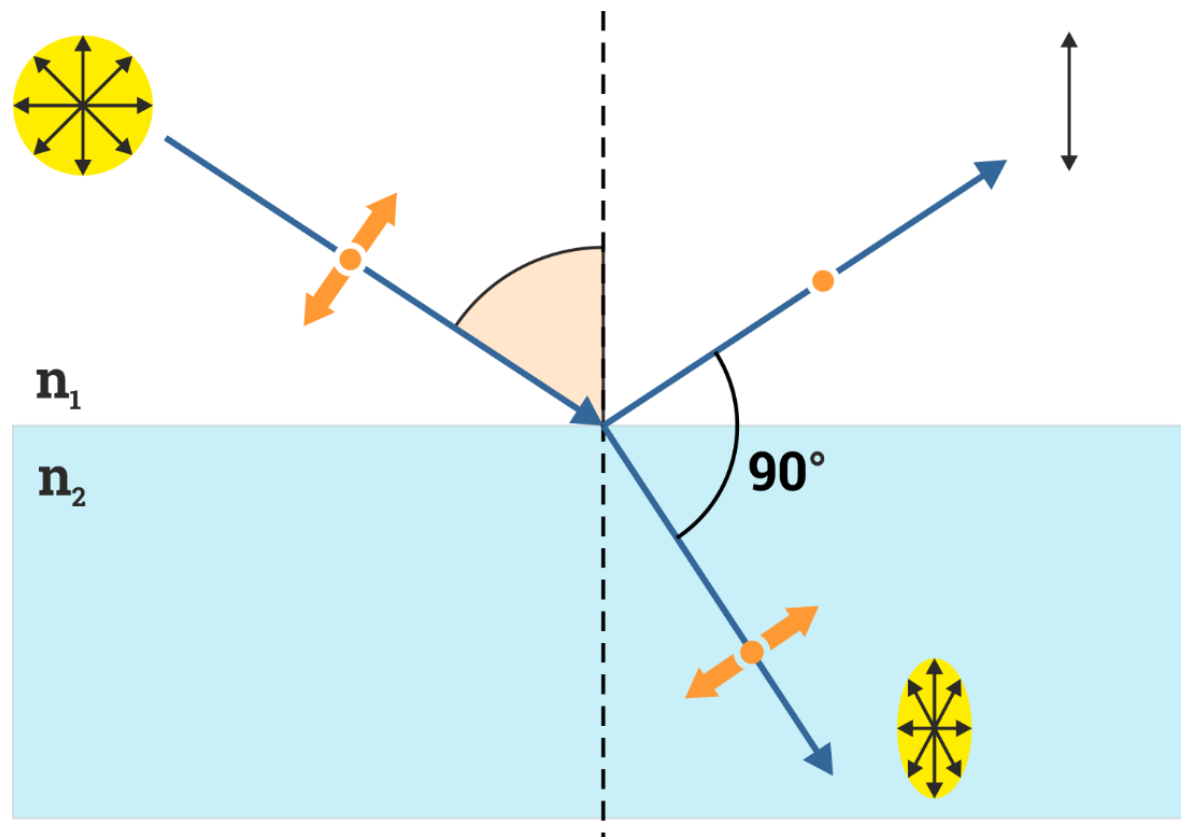
Поляризация при отражении и преломлении



Закон Брюстера

При угле падения $i_{\text{БР}}$
отраженный луч является
плоскополяризованным.
Преломленный же луч
поляризуется максимально,
но не полностью

$$\operatorname{tg} i_{\text{БР}} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$



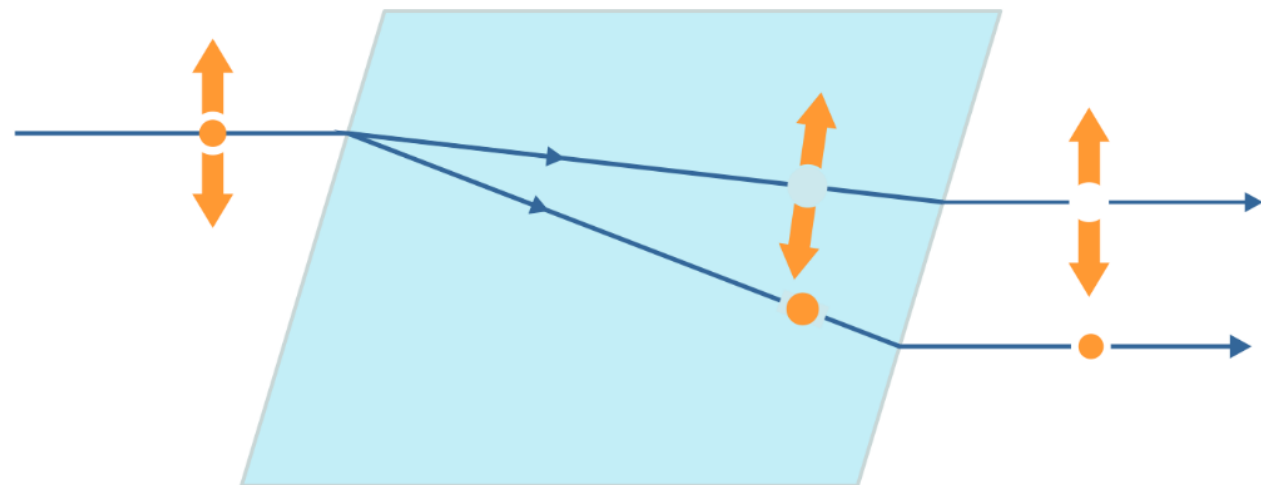
Поляризационный фильтр



Без фильтра

Фильтр

Двойное лучепреломление



Двойное лучепреломление

Оптическая ось кристалла – направление в кристалле, по которому луч света распространяется, не испытывая двойного лучепреломления

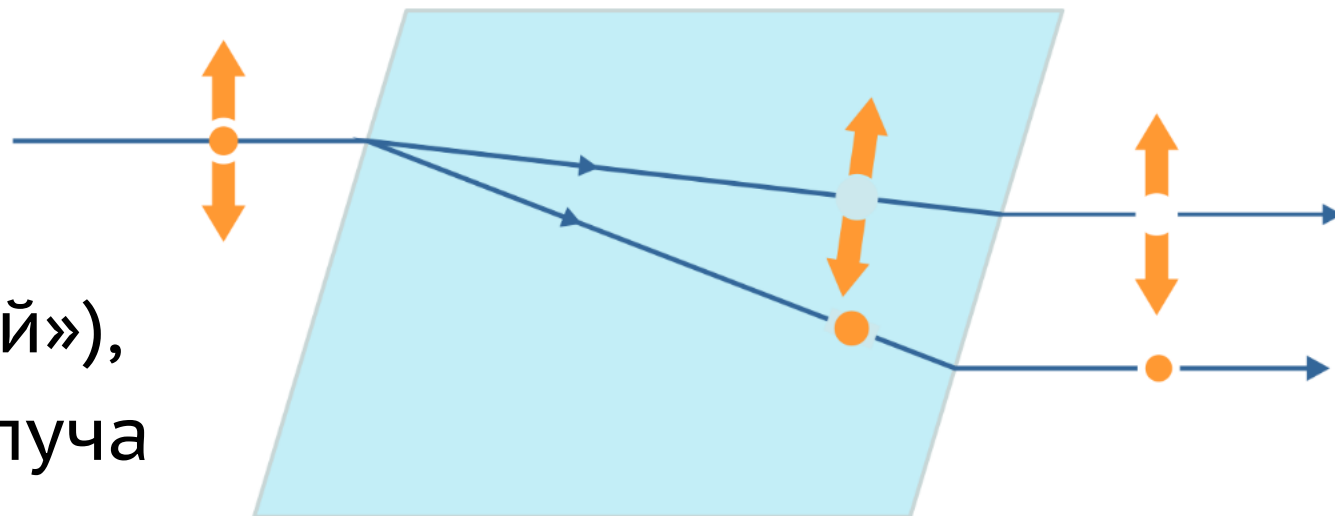
Главная плоскость – плоскость, проходящая через направление луча света и оптическую ось кристалла

Колебания светового вектора в **обыкновенном** луче происходят **перпендикулярно** главной плоскости

В **необыкновенном** – в главной плоскости

Двойное лучепреломление

Обыкновенный луч подчиняется закону преломления (отсюда и название «обыкновенный»), а для необыкновенного луча этот закон не выполняется



Вращение плоскости поляризации

для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей

$$\varphi = \alpha d$$

d – расстояние, пройденное светом в оптически активном веществе,

$\alpha, [\alpha]$ – удельное вращение, численно равное углу поворота плоскости поляризации света слоем оптически активного вещества единичной толщины

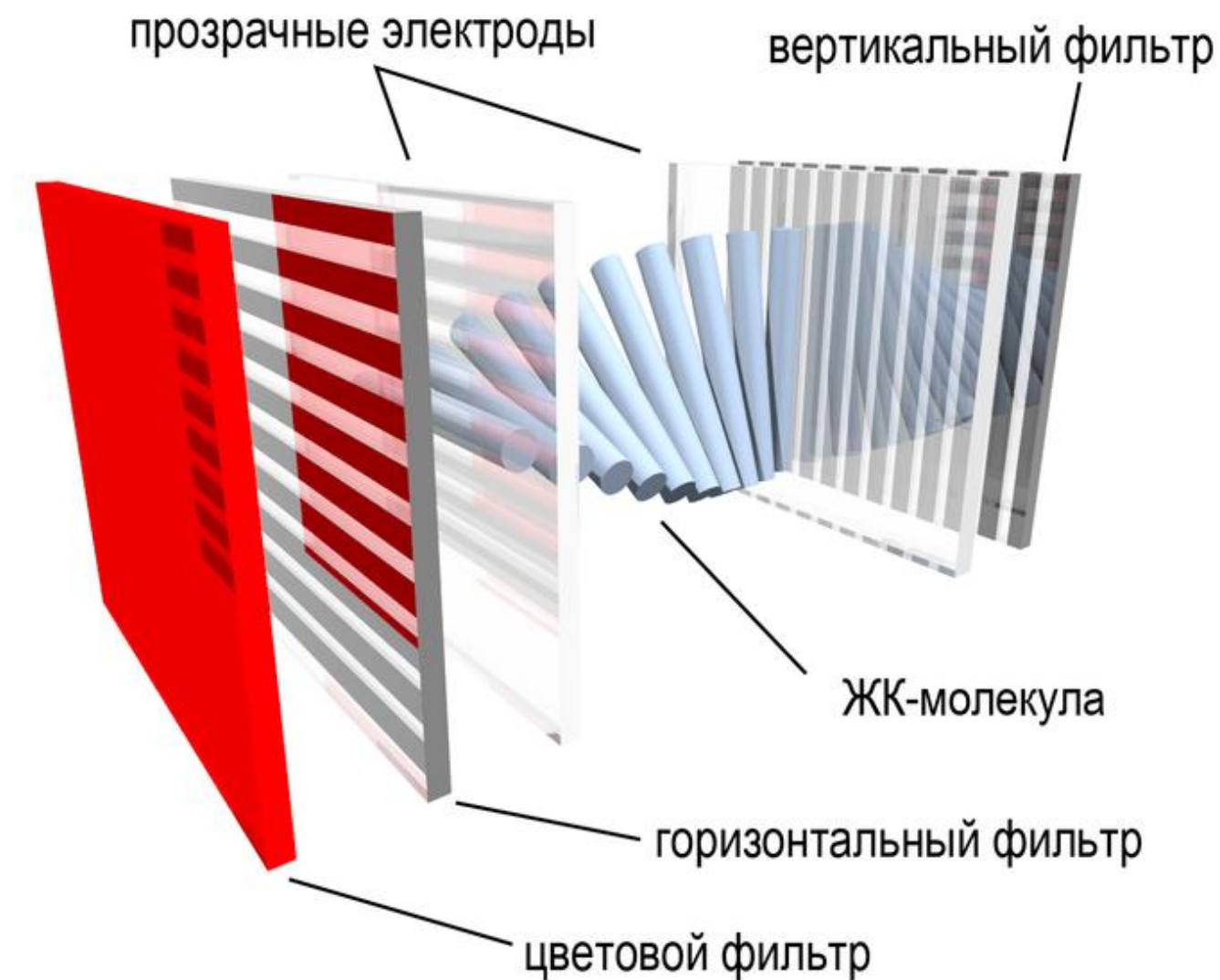
Вращение плоскости поляризации

для оптически активных растворов

$$\varphi = [\alpha] C d$$

C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе, кг/м³

Жидкокристаллический дисплей



Эффект Доплера

– изменение частоты волны при
относительном движении
приемника и источника волны

ν_0 – исходная частота

v – **скорость источника
относительно приемника**

ϑ – угол между скоростью и
направлением наблюдения

$$\nu = \nu_0 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}{1 + \frac{v}{c} \cos \vartheta}$$

Продольный эффект Доплера

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$



Поперечный эффект Доплера

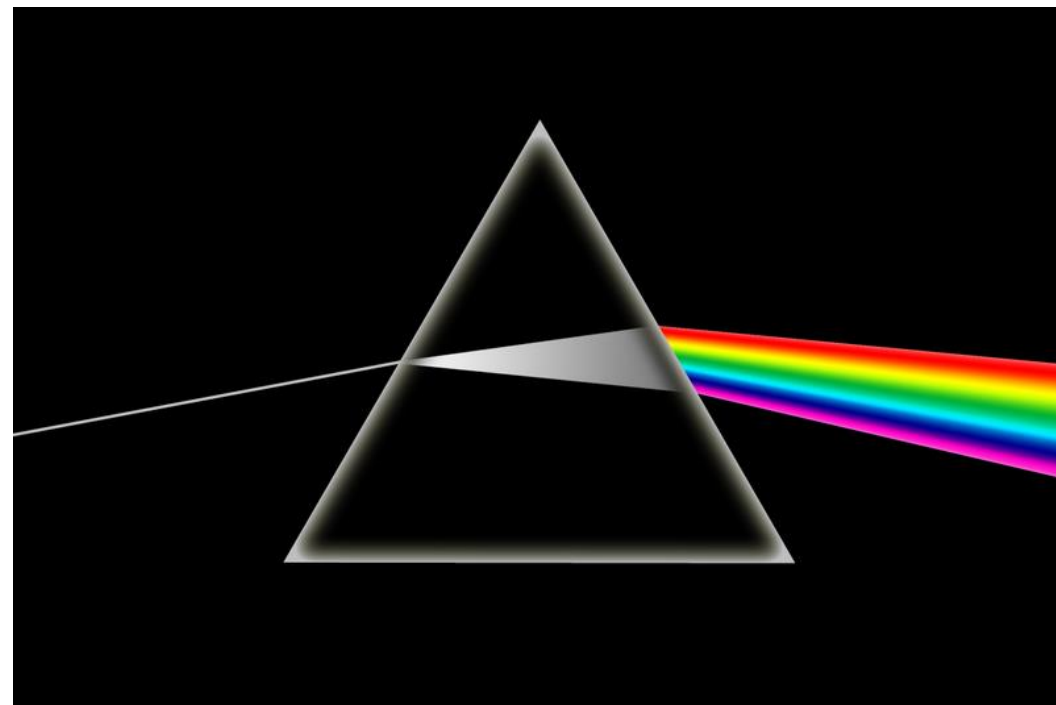
$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{v}{c}}$$



Дисперсия света

зависимость показателя
преломления n вещества от
частоты ν (длины волны λ)
света,

или зависимость фазовой
скорости v световых волн от
его частоты ν



$$n = f(\lambda)$$

Сравнение спектров

Дифракционная решетка

Призма

$$d \sin \varphi = k\lambda$$

$$n = f(\lambda)$$

Сильнее отклоняются
длинные волны

Сильнее отклоняются
короткие волны

$$\varphi \sim \lambda$$

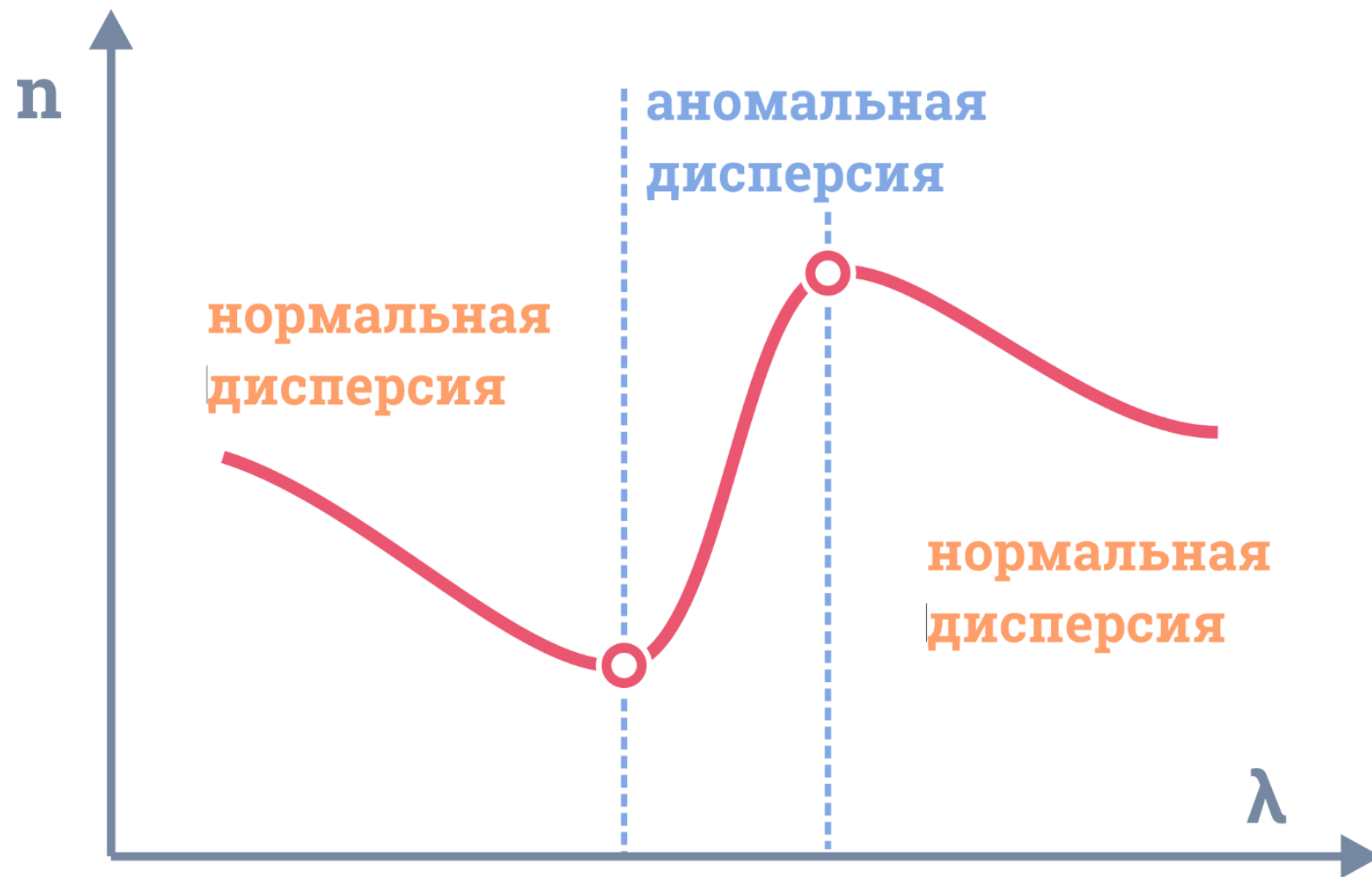
$$\varphi \sim n$$

Разлагает свет по длинам
волн

Разлагает по значению
показателя преломления

Дисперсия света

$$D = \frac{dn}{d\lambda}$$



Поглощение (абсорбция) света

– явление уменьшения энергии световой волны при ее распространении в веществе вследствие преобразования энергии волны в другие виды энергии

Закон Бугера

$$I = I_0 e^{-\alpha \cdot x}$$

α – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны света, химической природы и состояния вещества и не зависящий от интенсивности света

Поглощение (абсорбция) света

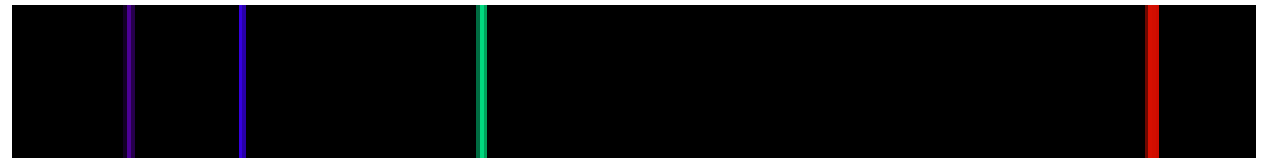
Спектр поглощения

- Сплошной
- Линейчатый

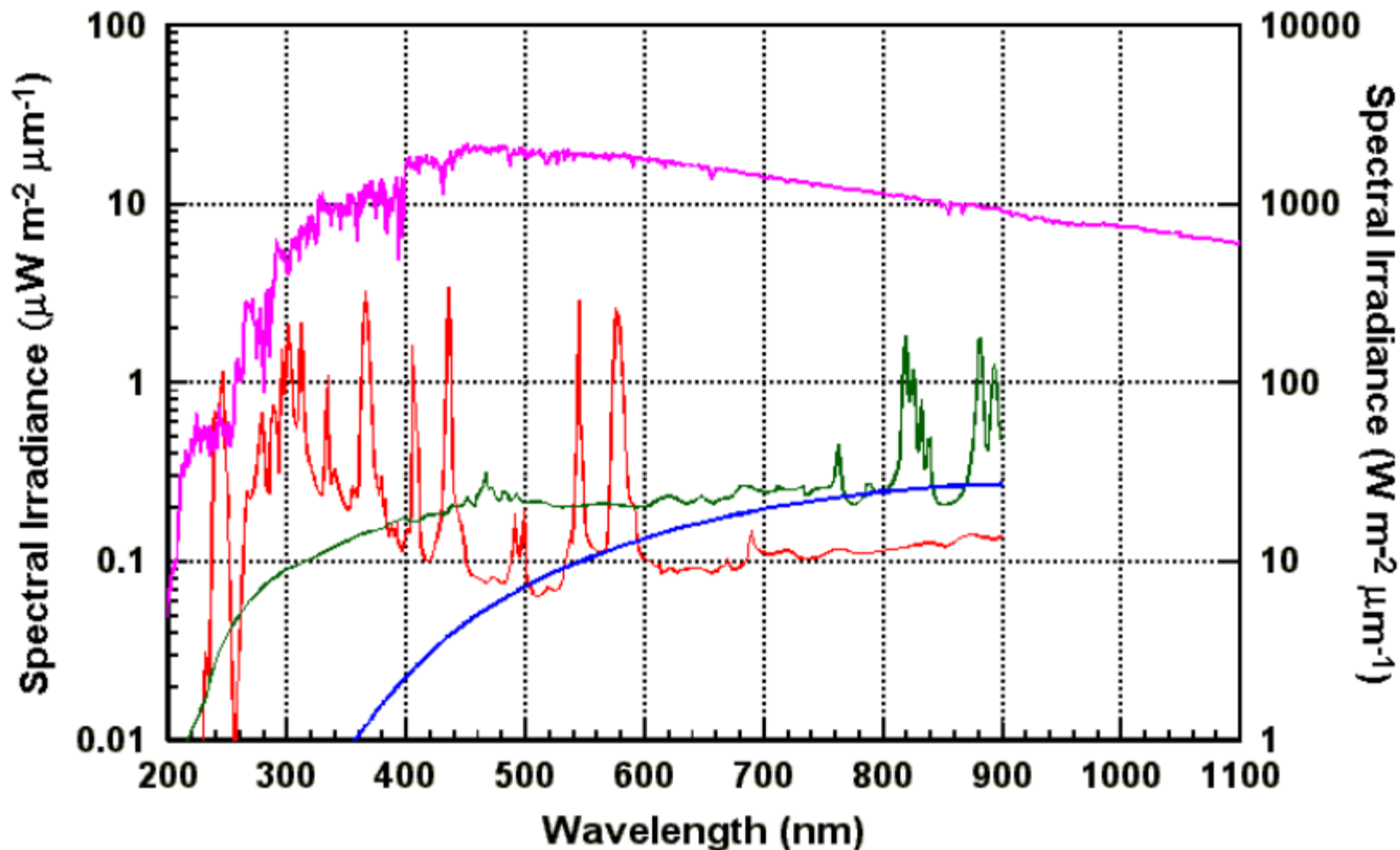
Спектр поглощения H_2



Спектр излучения H_2



Спектральное излучение ксеноновой (зеленый), галогеновой (синий) и ртутной (красный) лампочки (левая ось) в сравнении со спектральной энергетической светимостью Солнца (фиолетовый, правая ось).



Тепловое излучение

Фотоэффект

Эффект Комптона

Корпускулярная оптика

Тепловое излучение

Тепловое излучение – электромагнитное излучение, возникающее за счёт внутренней энергии тела

- Свойственно всем телам при температуре выше 0 К
- Имеет сплошной спектр



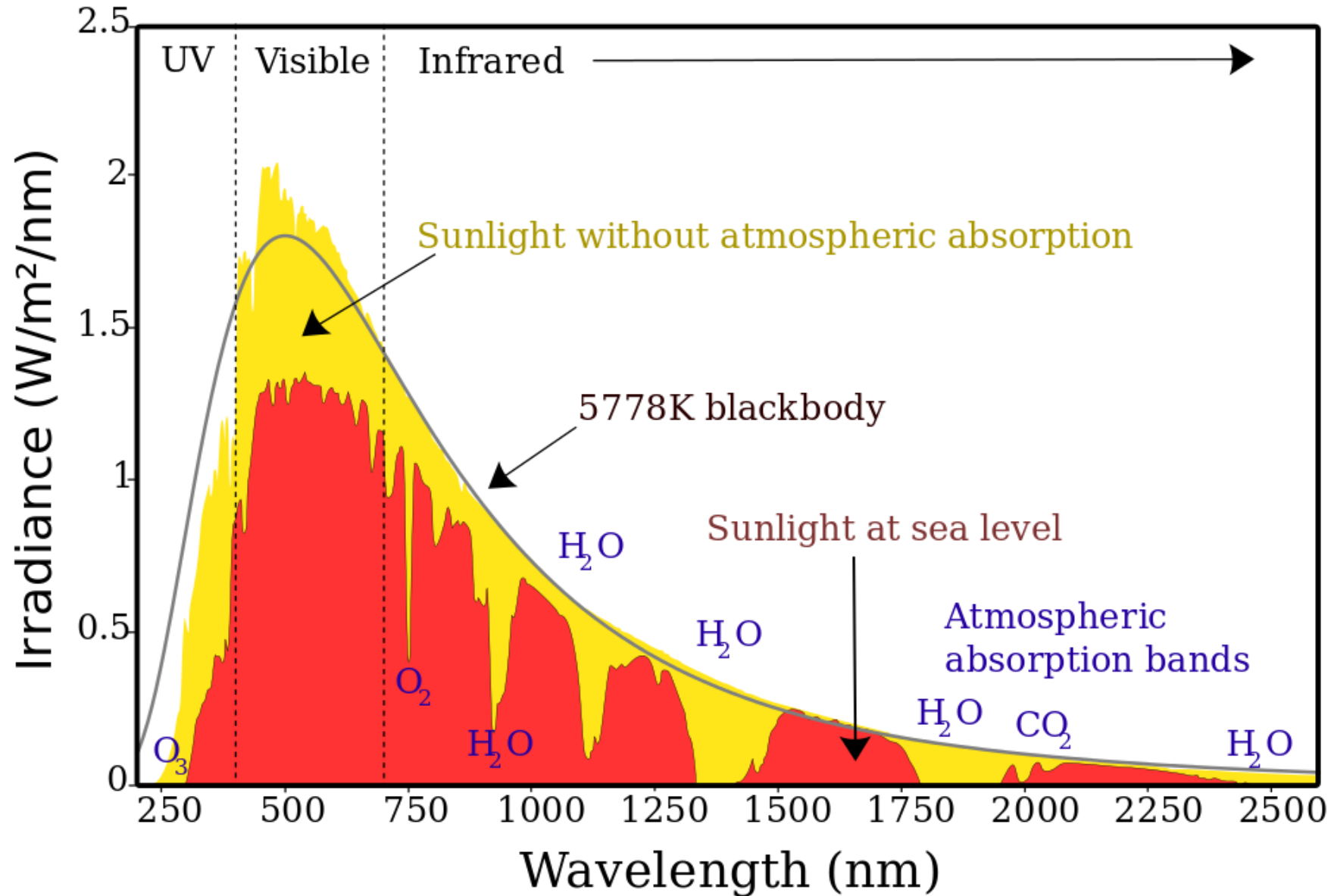
Спектральная плотность энергетической светимости

– **мощность излучения** с единицы площади поверхности тела в интервале частот единичной ширины

$$R_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{изл}}}{d\nu}$$

$dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{изл}}$ – **энергия** электромагнитного излучения, испускаемого за единицу времени (мощность излучения) с единицы площади поверхности тела в интервале частот от ν до $\nu + d\nu$

Spectrum of Solar Radiation (Earth)



Спектральная плотность энергетической светимости

$$R_{\nu,T} = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \right]$$

$$R_{\nu,T} = R_{\lambda,T} \frac{\lambda^2}{c}$$

Интегральная энергетическая светимость

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\nu,T} d\nu$$

Спектральная поглощательная способность

$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu + d\nu}^{\text{ПОГЛ}}}{dW_{\nu, \nu + d\nu}}$$

Показывает **какая доля энергии**, приносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами с частотами от ν до $\nu + d\nu$, **поглощается телом**

Величина безразмерная

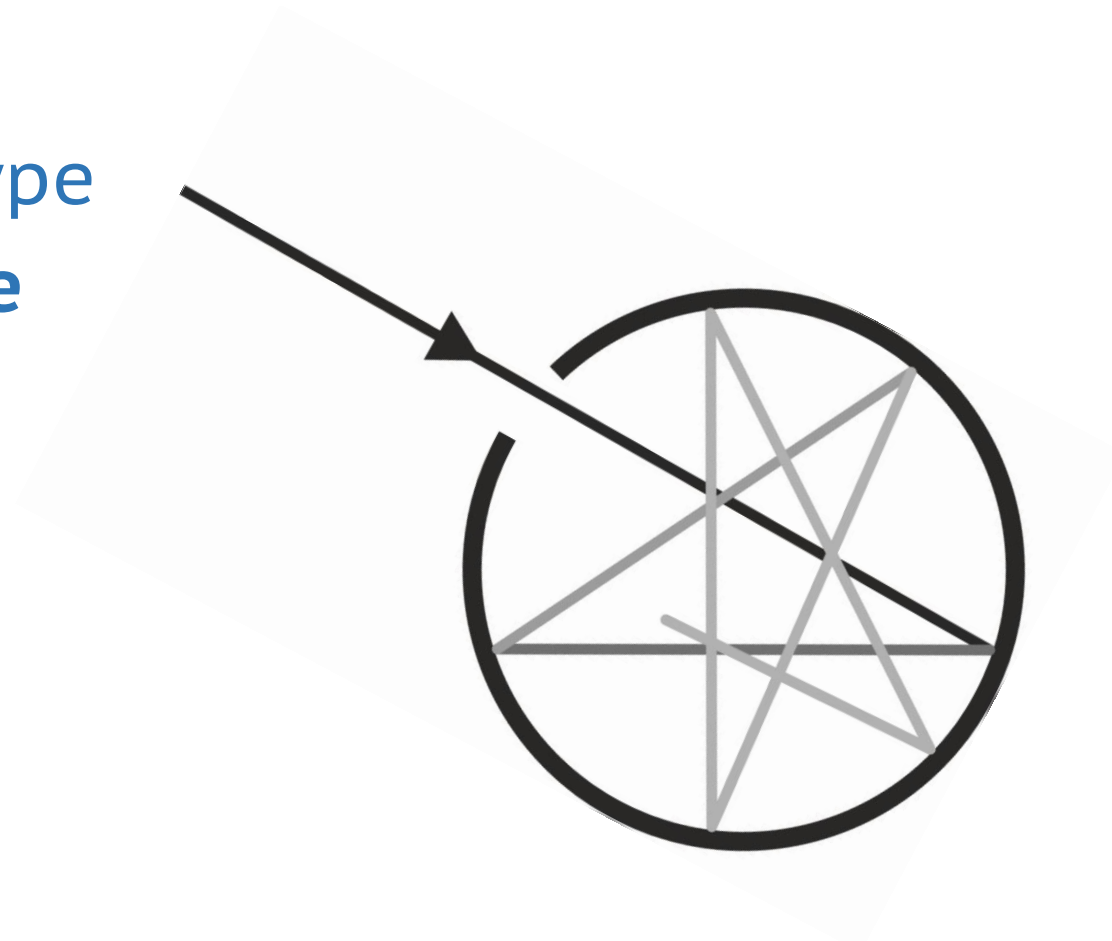
Абсолютно черное тело

Тело, способное **поглощать полностью** при любой температуре все падающее на него **излучение** любой частоты

$$A_{\nu, T}^{\text{ачт}} \equiv 1$$

Серое тело

$$A_{\nu, T}^{\text{серое}} = \text{const} < 1$$



Закон Кирхгофа

Отношение спектральной плотности энергетической светимости к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела

Оно является для всех тел универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}$$

$r_{\nu,T}$ – универсальная функция Кирхгофа

Закон Кирхгофа

$$r_{\nu,T} \equiv R_{\nu,T}$$

$$R_T = \int_0^{\infty} A_{\nu,T} r_{\nu,T} d\nu$$

Энергетическая светимость черного тела

$$R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu$$

Закон Стефана-Больцмана

Энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры

$$R_e = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ — постоянная Стефана-Больцмана

Закон смещения Вина

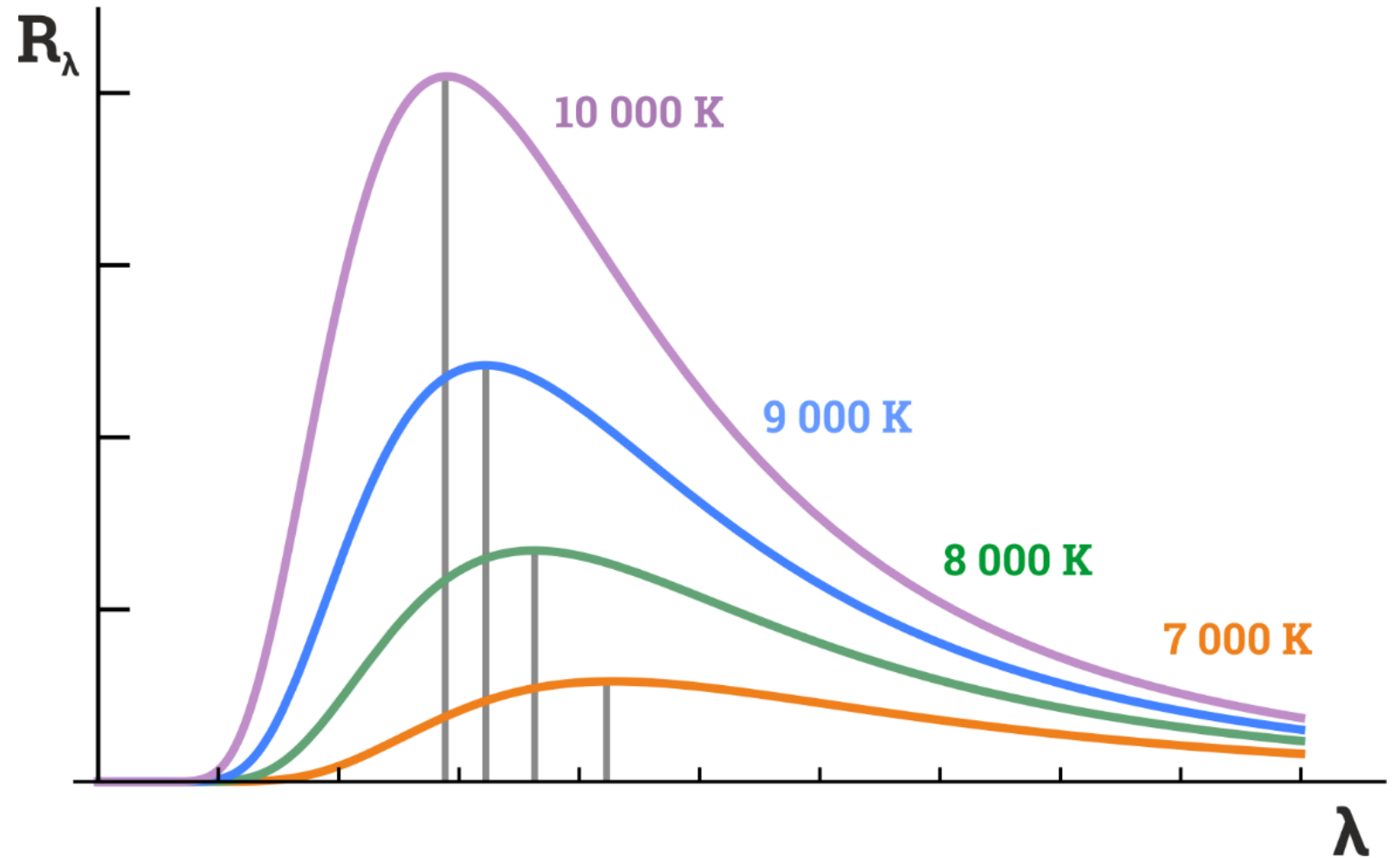
Длина волны λ_{max} , соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости черного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина

Закон смещения Вина

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$



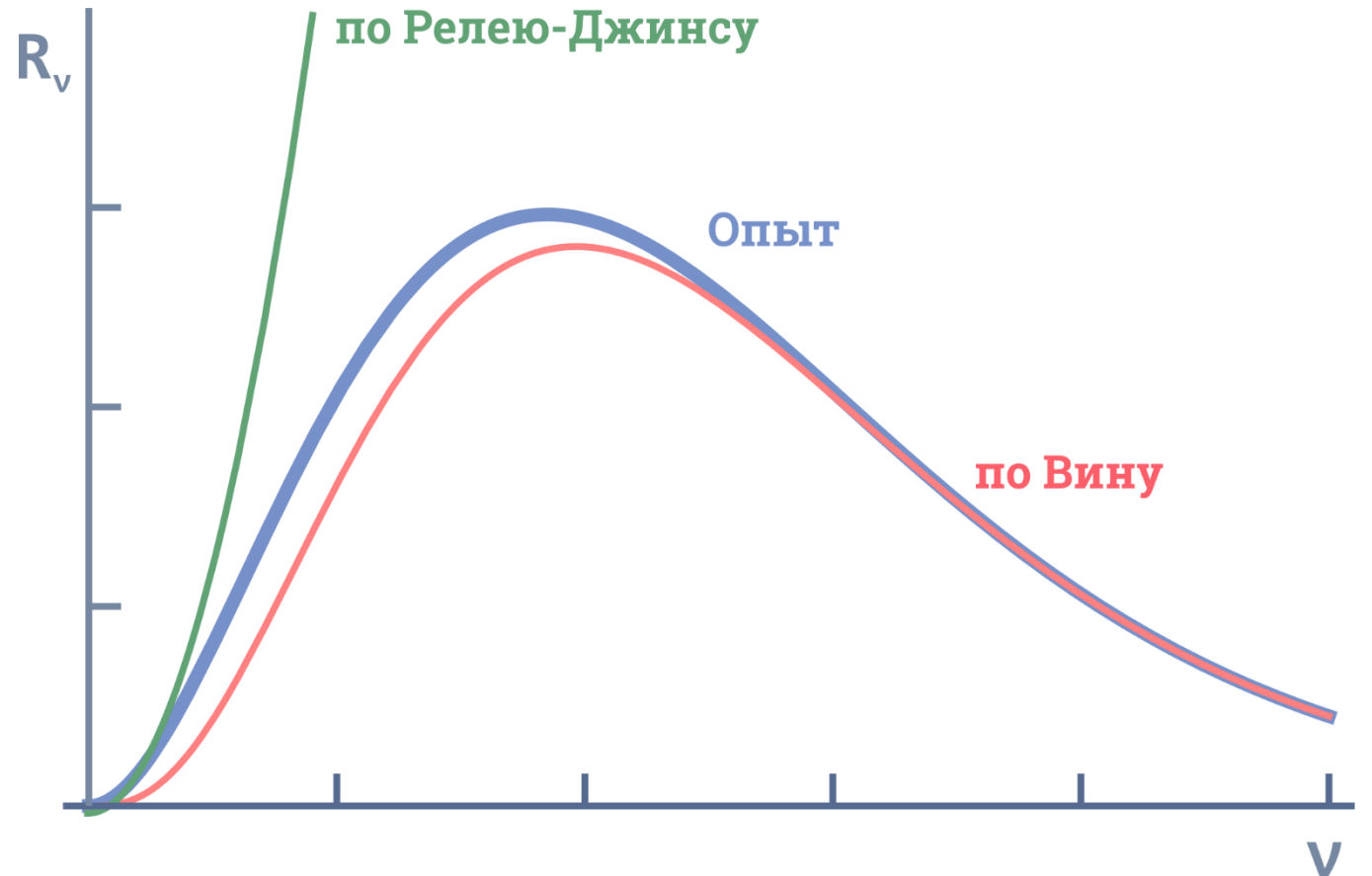
Формулы Релея-Джинса и Вина

Формула Релея-Джинса

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$

Закон Вина

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} e\left[-\frac{h\nu}{kT}\right]$$



Квантовая гипотеза Планка

Квант – неделимая порция какой-либо величины

$$\varepsilon = nh\nu$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постоянная Планка

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\left[\frac{h\nu}{kT}\right]} - 1}$$

Фотоэффект

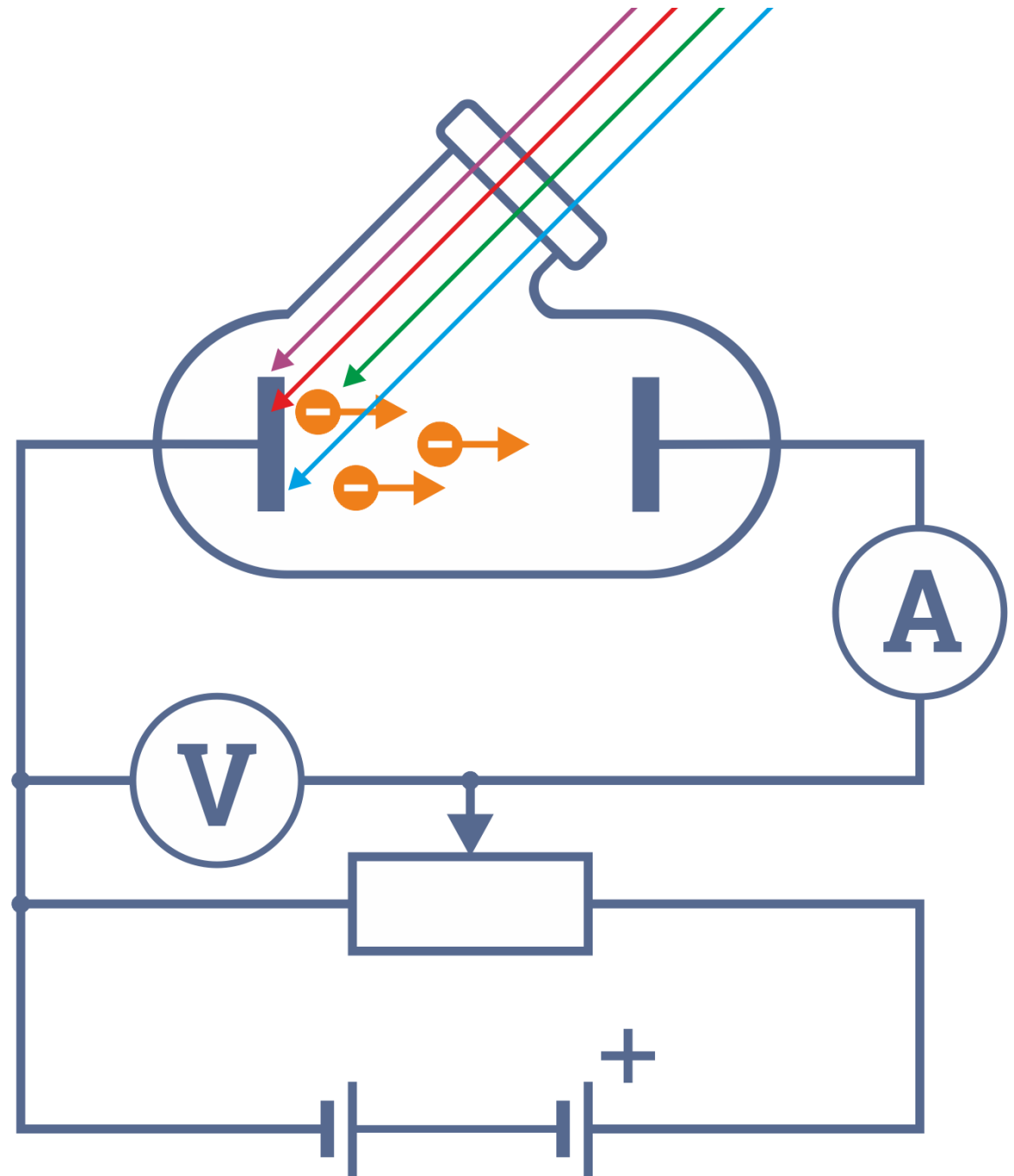
Внешним фотоэлектрическим эффектом называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения

Внутренний фотоэффект – это вызванные электромагнитным излучением **переходы электронов** внутри полупроводника или диэлектрика **из связанных состояний в свободные** без вылета наружу

Вентильный фотоэффект

Фотоэффект

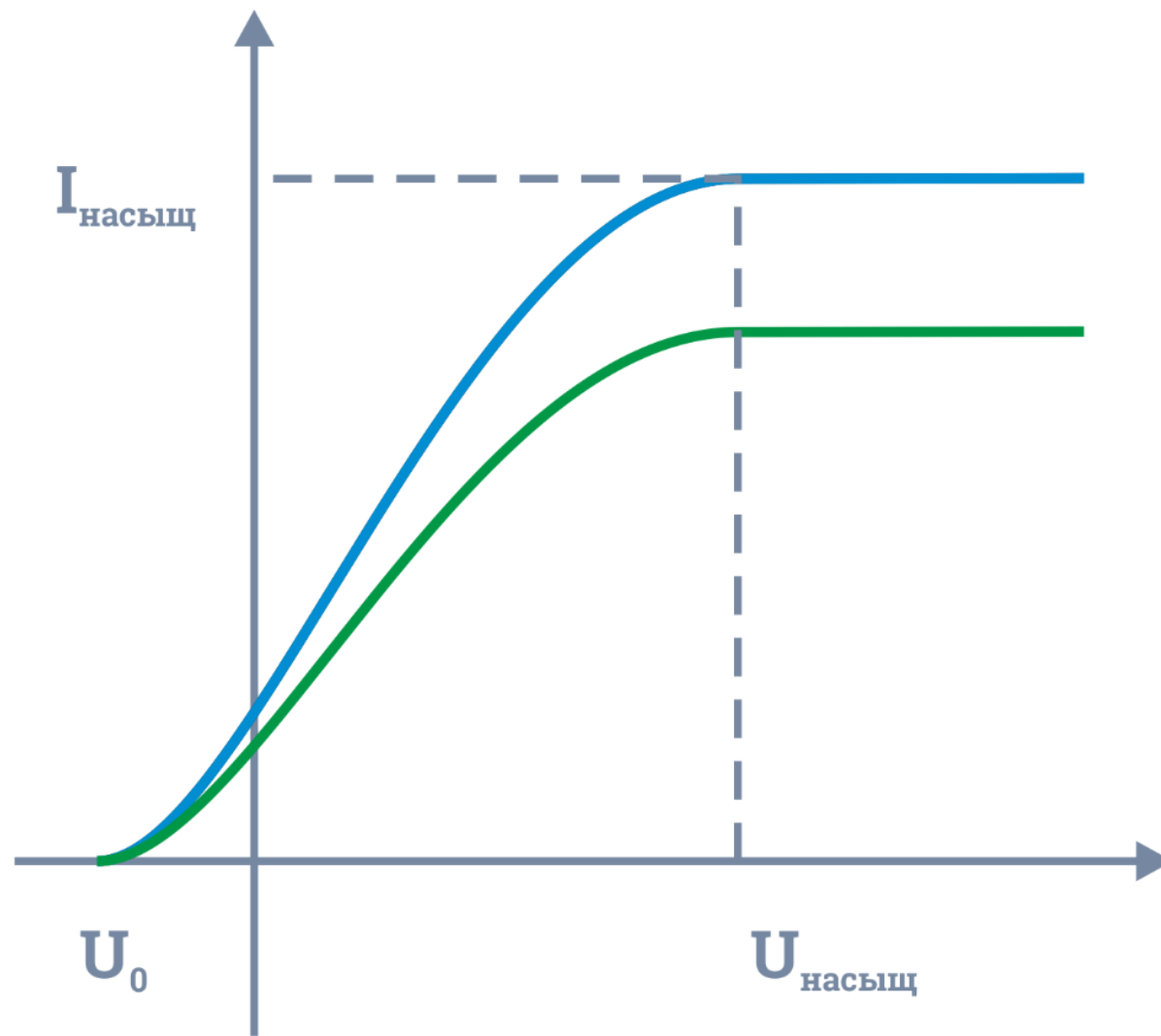
Опыт А. Г. Столетова



ВАХ фотоэффекта

$I_{\text{насыщ}}$ – фототок насыщения, при котором все электроны, испускаемые катодом, достигают анода

U_0 – задерживающее напряжение, при котором ни один из электронов не может достигнуть анода



Первый закон фотоэффекта

Закон Столетова

При фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света

Второй закон фотоэффекта

Максимальная начальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой

Третий закон фотоэффекта

Для каждого вещества существует **красная граница фотоэффекта**, т. е. минимальная частота света, ниже которой фотоэффект **невозможен**

Уравнение Эйнштейна

Эйнштейн: свет не только испускается, как это предполагал Планк, но и распространяется в пространстве и поглощается веществом отдельными порциями (квантами)

Фотон – квант света (электромагнитного излучения)

$$\varepsilon = h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2}$$

Уравнение Эйнштейна

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2}$$

A – работа выхода электрона

$\nu_0 = \frac{A}{h}$ – красная граница фотоэффекта

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = q_e U_0$$

ФОТОН

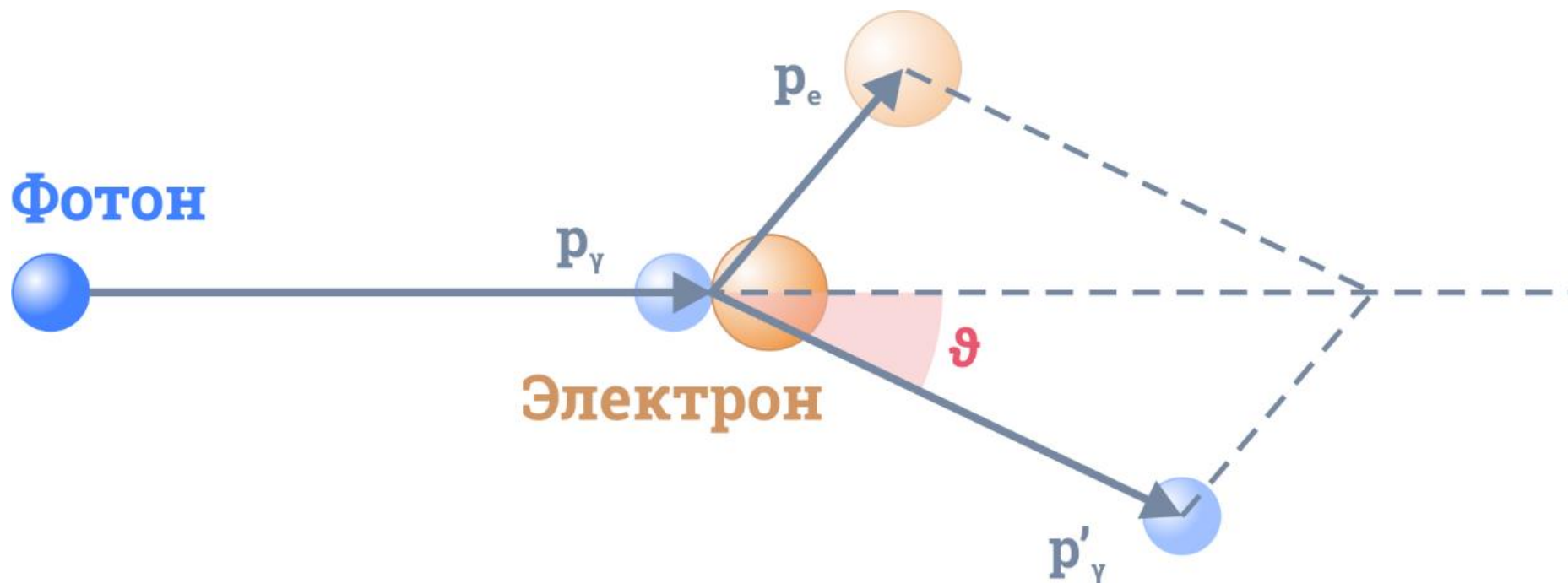
Фотон – элементарная частица, квант электромагнитного излучения

$\varepsilon_0 = h\nu$ – энергия фотона

$p = \frac{\varepsilon_0}{c} = \frac{h}{\lambda}$ – импульс фотона

Эффект Комптона

При рассеянии рентгеновского излучения веществами обнаружил, что в составе рассеянного излучения наблюдается также более длинноволновое излучение



Эффект Комптона

упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и γ -излучений) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, **сопровождается увеличением длины волны**

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2\left(\frac{\vartheta}{2}\right)$$

Эффект Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2\left(\frac{\vartheta}{2}\right)$$

$\Delta\lambda$ – длина волны рассеянного излучения

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0c} - \text{КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ}$$

при рассеянии фотона на электроне $\lambda_c = 2,426$ пм

Корпускулярно-волной дуализм света

- **Чем больше длина волны, тем меньше энергия и импульс фотона и тем труднее обнаруживаются квантовые свойства света**
- **Чем меньше длина волны, тем больше энергия и импульс фотона и тем труднее обнаруживаются волновые свойства света**