

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ

Дисперсия света

Нормальная и аномальная дисперсии

Классическая теория дисперсии

Поглощение (абсорбция света)

Излучение Вавилова-Черенкова

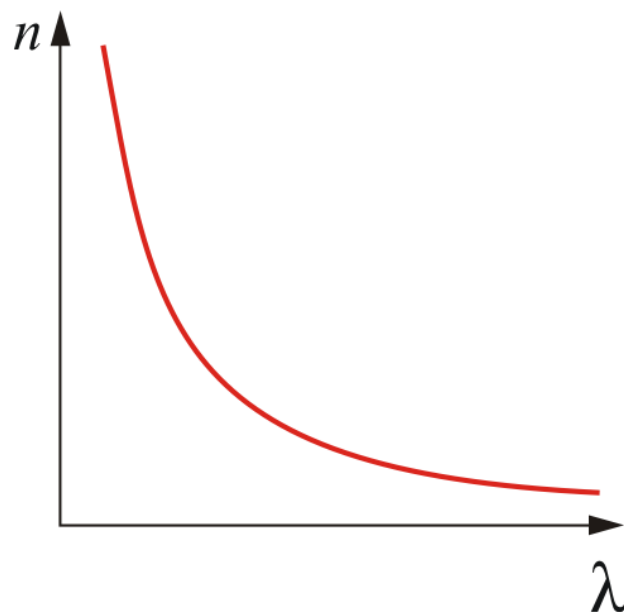
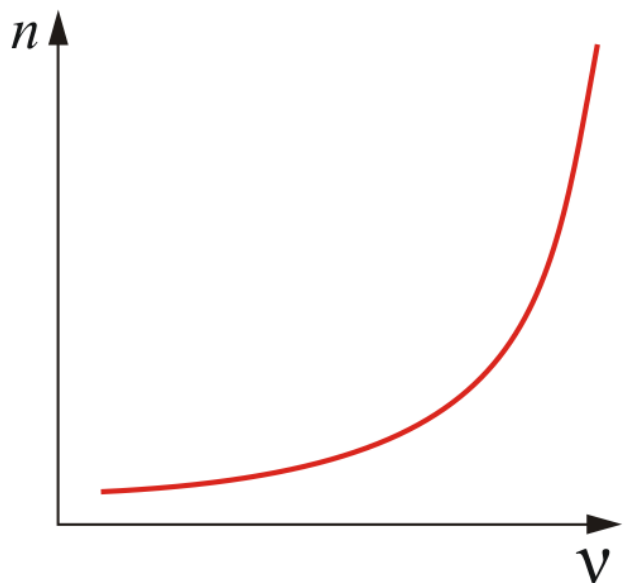
Дисперсия света

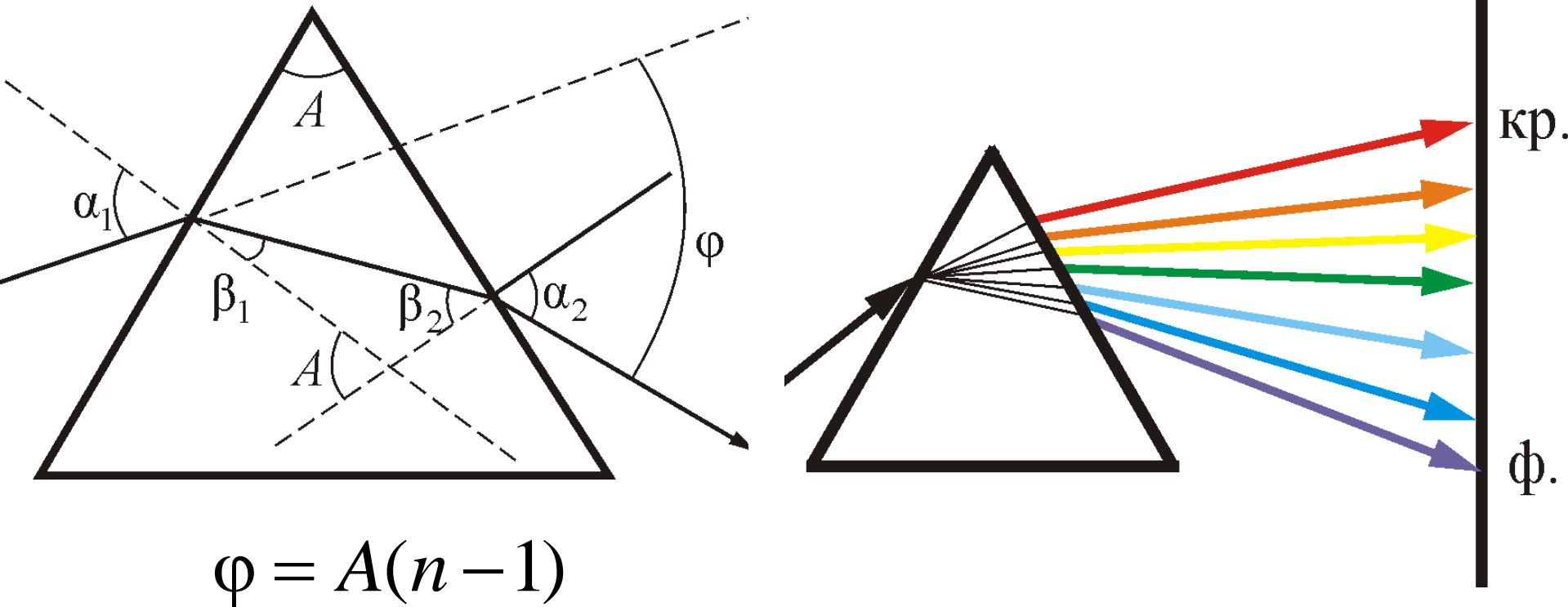
Дисперсией света называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волн λ) света или зависимость фазовой скорости v световых волн от их частоты.

$$n = f(\nu)$$

ИЛИ

$$n = f(\lambda)$$



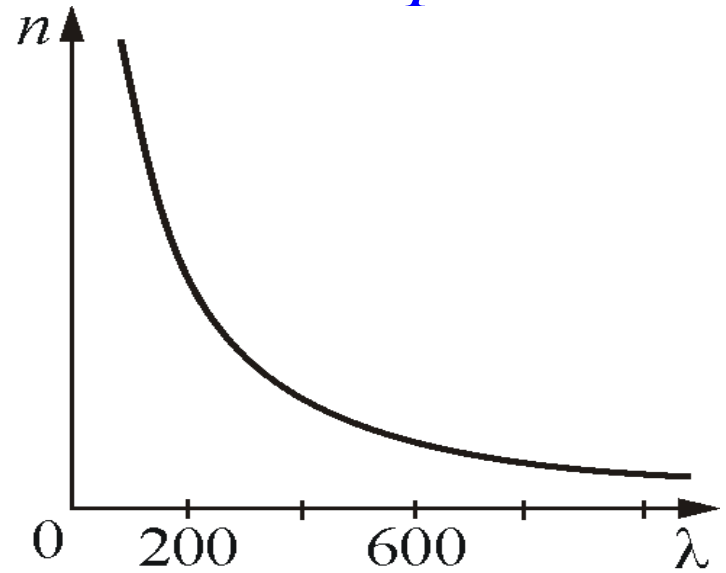


Угол отклонения лучей призмой тем больше, чем больше преломляющий угол призмы

*Лучи разных длин волн после прохождения призмы отклоняются на разные углы. Пучок **белого света** за призмой **разлагается в спектр**, который называется **дисперсионным** или **призматическим***

Различия в дифракционном и призматическом спектрах.

1) Дифракционная решетка разлагает свет непосредственно по длинам волн, а призма – по показателям преломления.



2) Составные цвета в дифракционном и призматическом спектрах располагаются различно: красные лучи, имеющие большую длину волны, чем фиолетовые, отклоняются дифракционной решеткой сильнее, а в призме наоборот.

Величина

$$D = \frac{dn}{d\lambda} \quad \text{или} \quad D = \frac{dn}{dv}$$

называемая *дисперсией вещества*, показывает, как быстро меняется показатель преломления с длиной волны.

Нормальная и аномальная дисперсии

Области значения ν , в которых

$$\frac{dn}{d\nu} > 0 \quad \text{или} \quad \frac{dn}{d\lambda} < 0$$

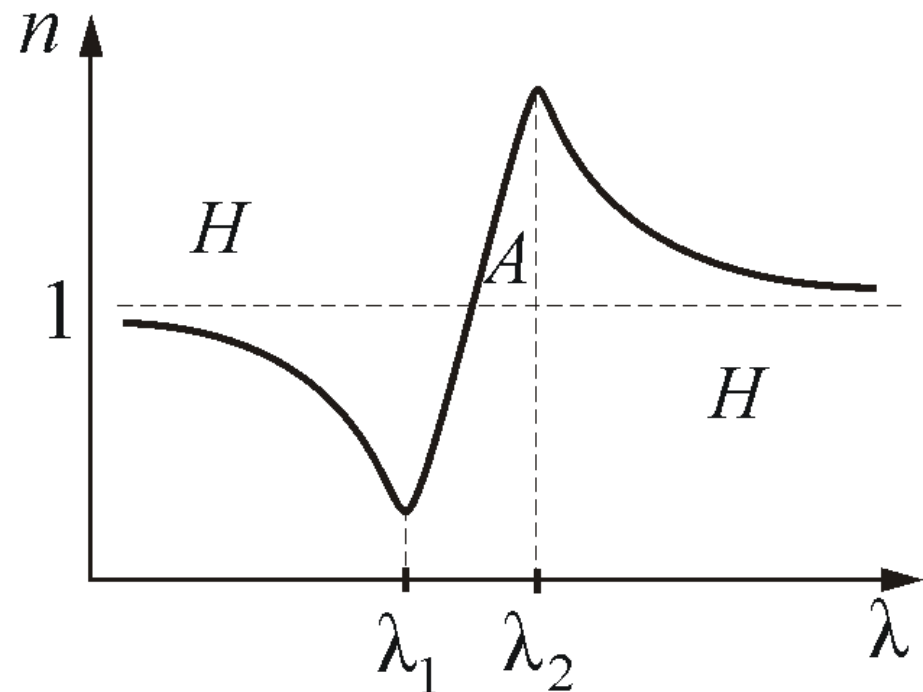
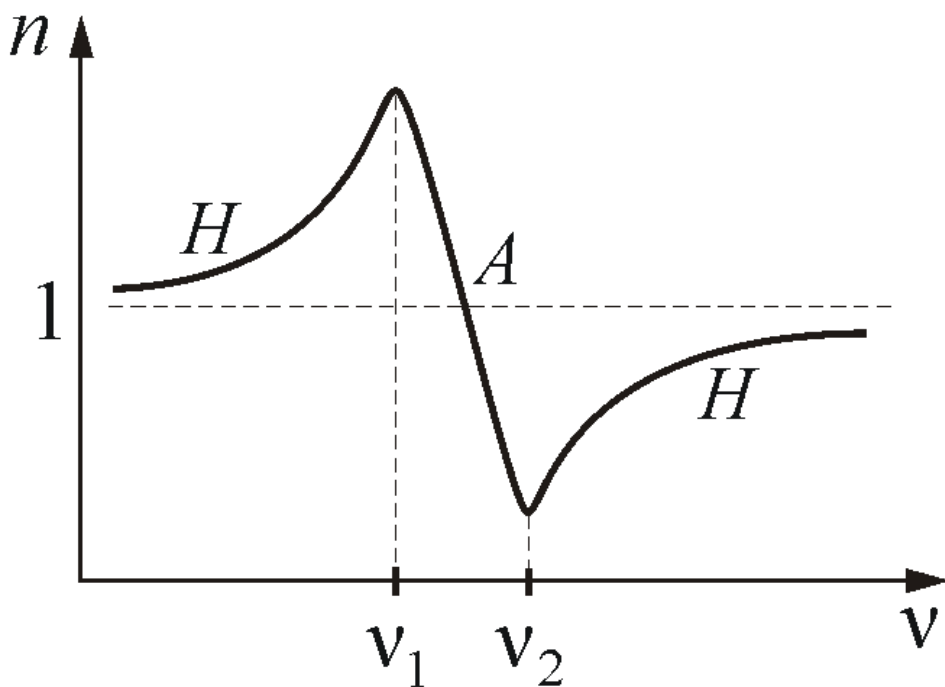
соответствует **нормальной дисперсии света** (с ростом частоты ν , показатель преломления n увеличивается).

Дисперсия называется аномальной, если

$$\frac{dn}{d\nu} < 0 \quad \text{или} \quad \frac{dn}{d\lambda} > 0$$

т.е. с ростом частоты ν показатель преломления n уменьшается.

Зависимости n от ν и λ



В *недиспергирующей среде*

$$u = v$$

u – групповая скорость, v – фазовая скорость

$$u = \frac{d\omega}{dk}$$

$$u = \frac{v}{1 + \frac{v}{n} \frac{dn}{dv}}$$

Т.о., *при нормальной дисперсии* $u < v$, а значит $u < c$ и $\frac{dn}{dv} > 0$

При *аномальной дисперсии*, т.к. $\frac{dn}{dv} < 0$ то $u > v$ и, в частности, если

$$n + v \frac{dn}{dv} < 1, \text{ то } \underline{u > c}$$

Классическая теория дисперсии

Дисперсия света является результатом взаимодействия электромагнитной волны с заряженными частицами, входящими в состав вещества.

Теория Максвелла не могла объяснить это явление, так как тогда не было известно о сложном строении атома.

Классическая теория дисперсии была разработана Х.А. Лоренцем лишь после создания им электронной теории строения вещества.

Он показал, что $n = \sqrt{\varepsilon}$ и ε – тоже зависит от частоты.

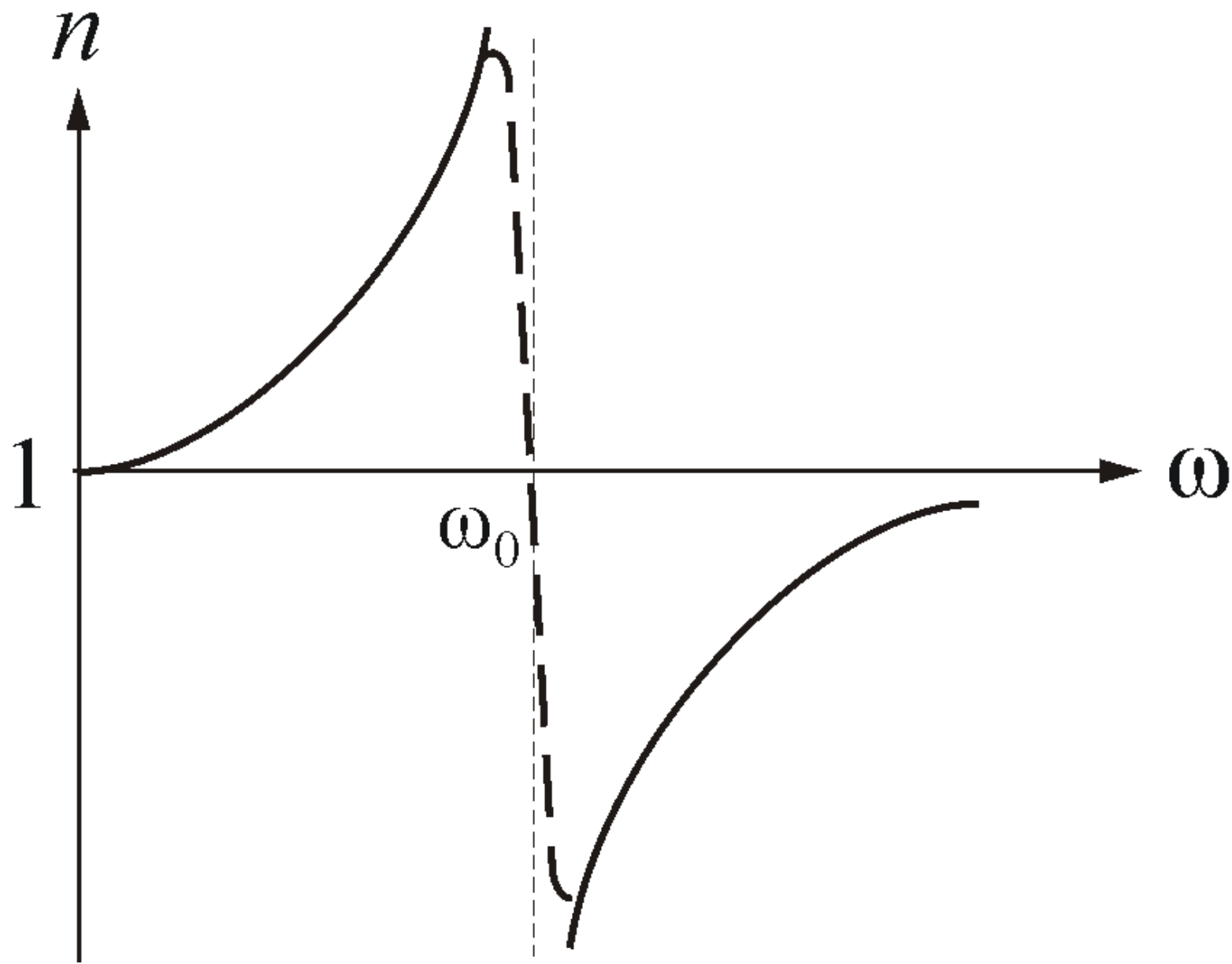
Для видимого света ($\nu \approx 10^{15}$ Гц)

существует только поляризация электрически упругого смещения. Смещаются в основном валентные электроны. В процессе **вынужденных** (под действием падающей световой волны) колебаний электронов с частотой ν (частота вынуждающей силы), **периодически изменяются** дипольные электрические моменты атомов, частота которых тоже равна ν . Среднее расстояние между атомами вещества много меньше протяженности одного цуга волн. Следовательно, вторичные волны, излучаемые большим числом соседних атомов, когерентны как между собой, так и с первичной волной. При сложении этих волн они интерферируют, в результате этой интерференции и получаются все наблюдаемые оптические явления, связанные со взаимодействием света с веществом.

Оптический электрон совершает вынужденные колебания под действием следующих сил:

- возвращающей квазиупругой силы $F_{\text{в}} = -m\omega_0^2 r$
- силы сопротивления $F_{\text{сопр}} = -2\beta m \frac{dr}{dt}$
- вынуждающей силы $F = -eE$

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + 2\beta \frac{dr}{dt} + \omega_0^2 r = -\frac{eE}{m}$$



Поглощение (абсорбция света)

Поглощением (абсорбцией) света называется явление потери энергии световой волной, проходящей через вещество.

Для плоской волны, распространяющейся вдоль оси x , имеем

$$E(x) = E_0 e^{-\beta t} = E_0 e^{-\alpha x} .$$

В соответствии с **законом Бугера** (П. Бугер (1698 – 1758) – французский ученый)

$$J(x) = J_0 e^{-\alpha x}$$

J_0 – интенсивность волны на входе в среду,

α – коэффициент поглощения

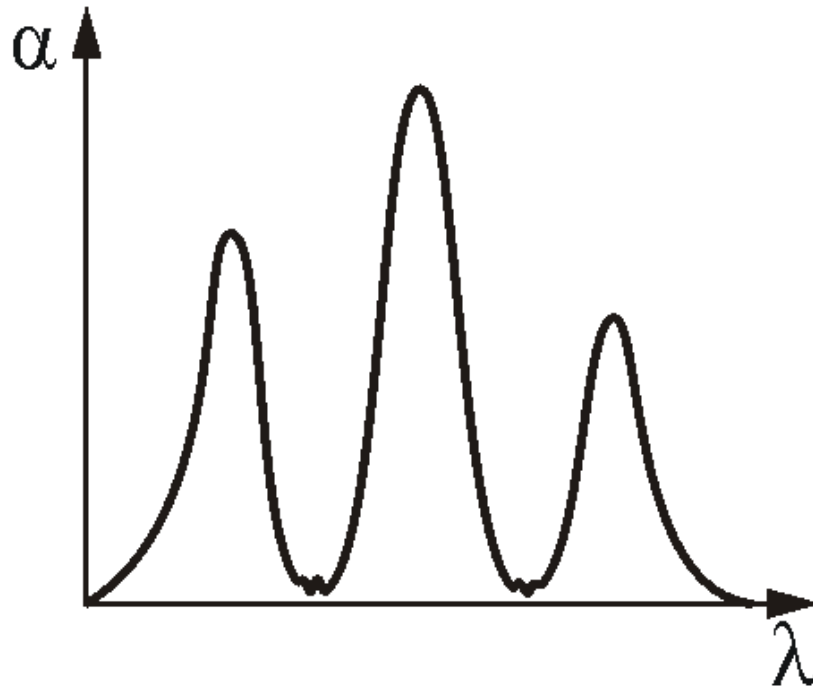
При $\alpha = 1/x$ $J = J_0 / e$

Следовательно, коэффициент поглощения – физическая величина, численно равная обратному значению толщины слоя вещества, в котором интенсивность волны убывает в $e = 2,72$ раз.

Зависимость коэффициента поглощения от длины волны определяет спектр поглощения материала.

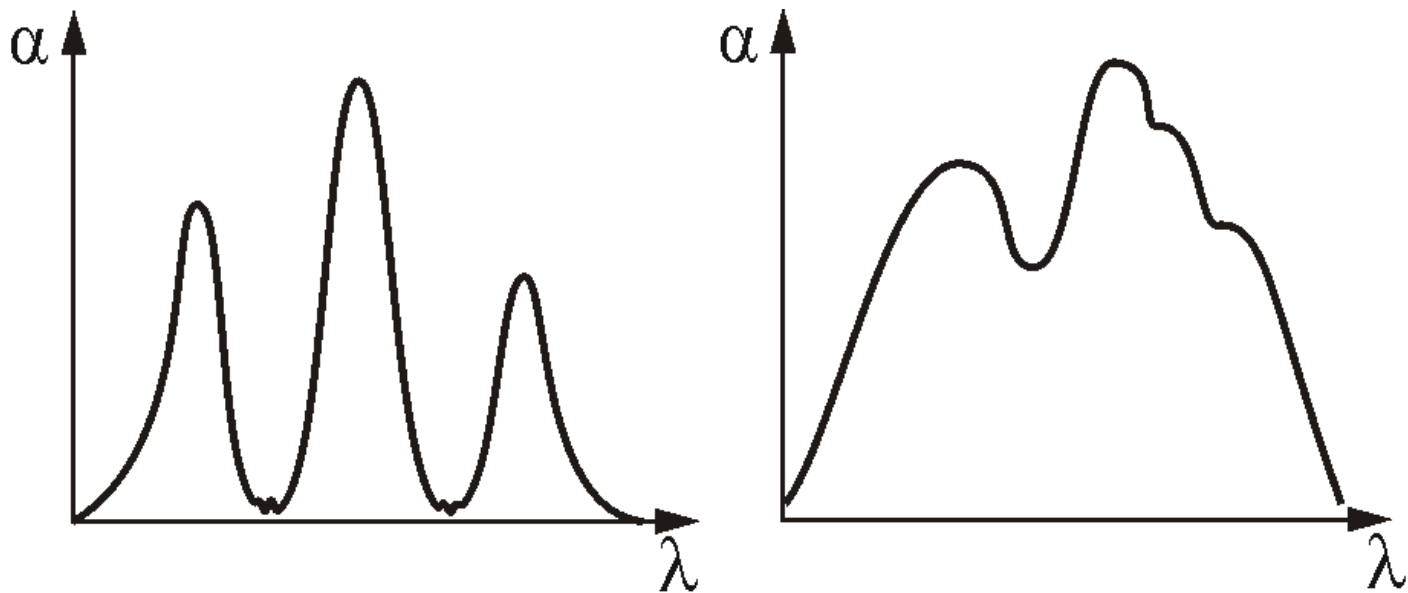
В веществе (например *в газе*) может присутствовать несколько сортов частиц, участвующих в колебаниях под действием распространяющейся электромагнитной волны.

Если эти частицы слабо взаимодействуют, то коэффициент поглощения мал для широкого спектра частот, и лишь в узких областях он резко возрастает



При увеличении давления газа полосы поглощения уширяются. В жидком состоянии они сливаются, и спектр поглощения принимает вид, показанный на рисунке. Причиной уширения является усиление связи атомов (молекул) в среде.



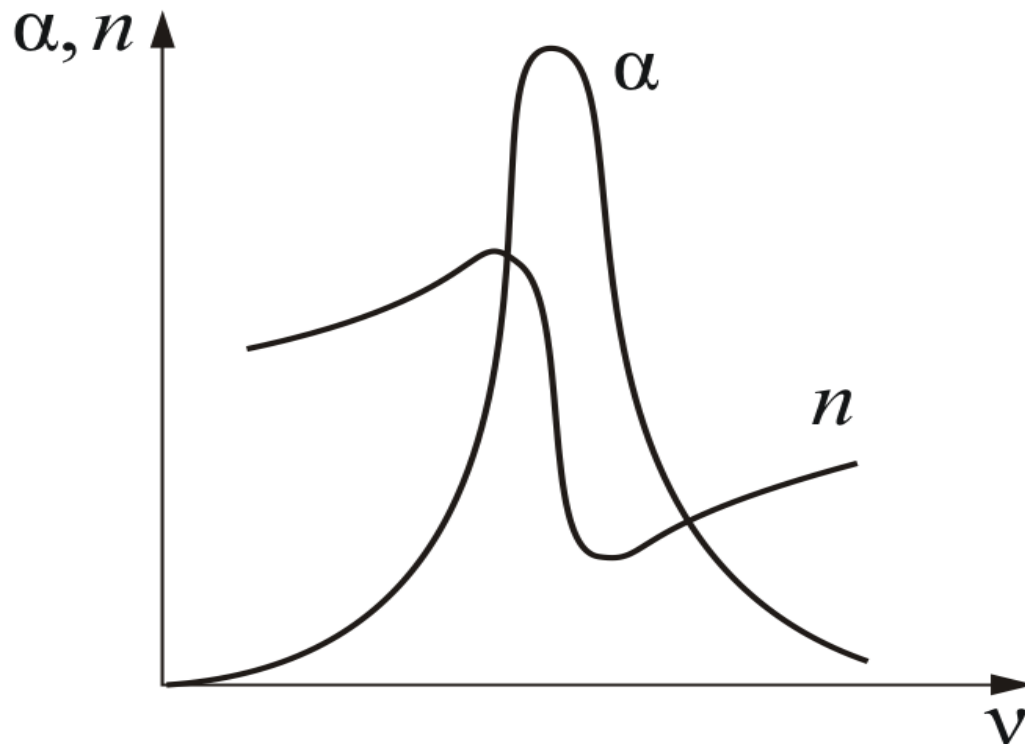


Спектр поглощения молекул, определяемый колебаниями атомов в молекулах, характеризуется ***полосами поглощения*** (примерно $10^{-10} - 10^{-7}$ м).

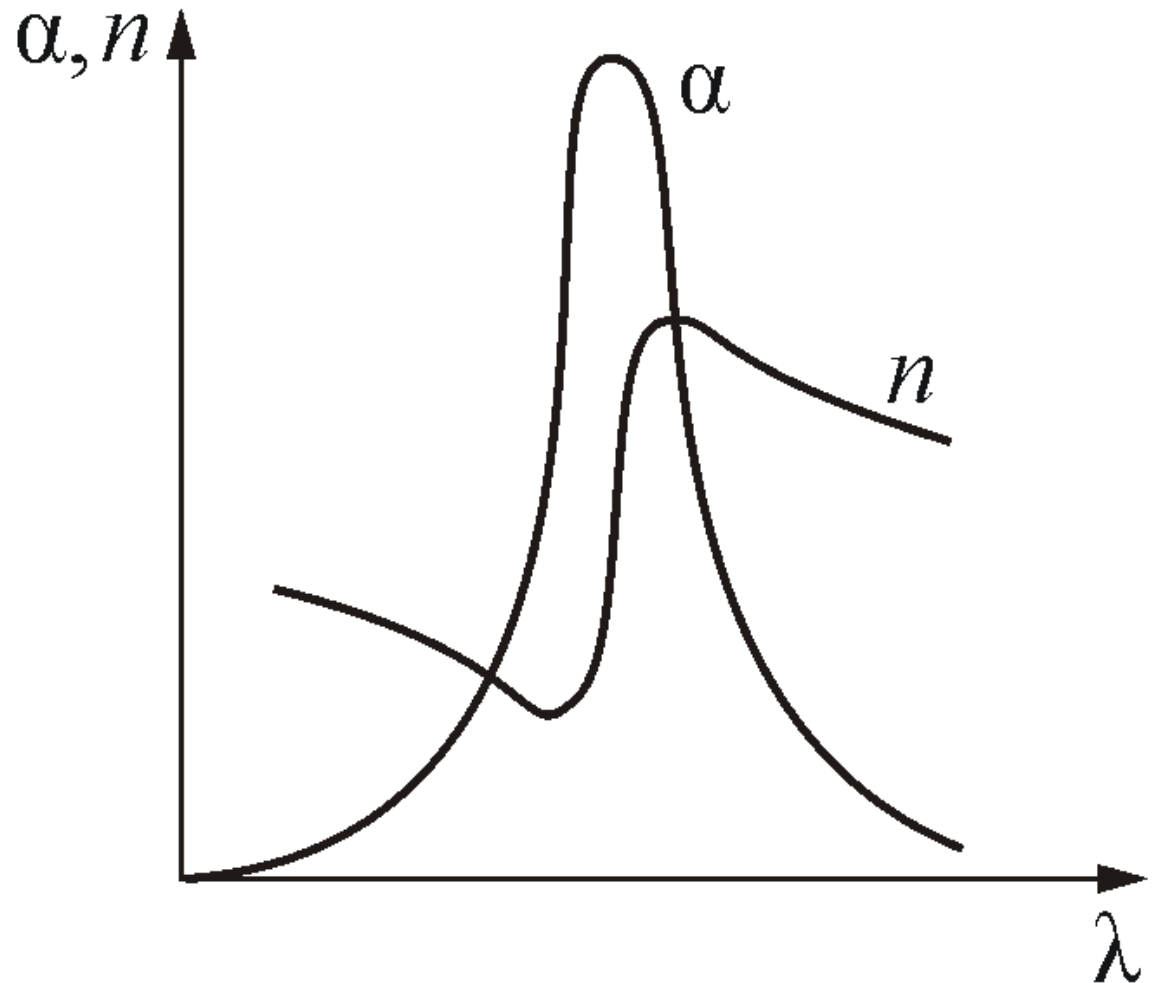
Коэффициент поглощения ***для диэлектриков*** невелик (примерно $10^{-3} - 10^{-5}$ см⁻¹)

Коэффициент поглощения ***для металлов*** имеет большие значения (примерно $10^3 - 10^4$ см⁻¹)

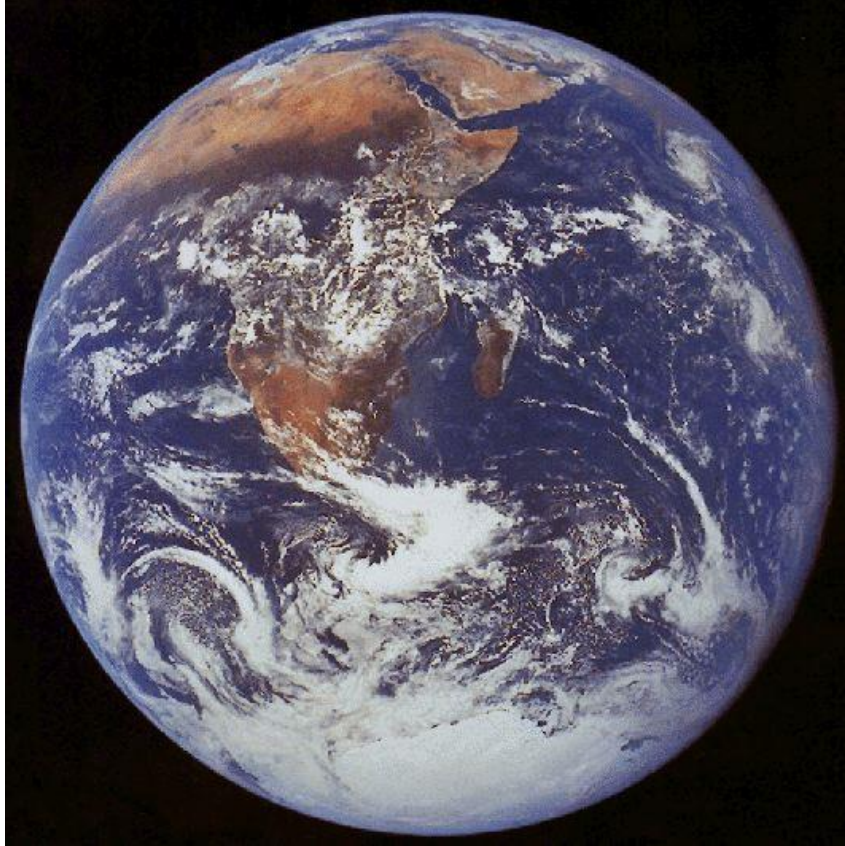
На рис. представлена типичная зависимость коэффициента поглощения α от частоты света ν и зависимость показателя преломления n от ν в области полосы поглощения. Из рис. следует, что *внутри полосы поглощения наблюдается аномальная дисперсия* (n убывает с увеличением ν)



Или по другому: внутри полосы поглощения наблюдается аномальная дисперсия (n убывает с уменьшением λ)



Зависимостью коэффициента поглощения от частоты (длины волны) объясняется окрашенность поглощающих тел.



Разнообразие пределов селективного (избирательного) поглощения у различных веществ объясняет разнообразие и богатство цветов и красок, наблюдающееся в окружающем мире.



*«... Видел радугу на небе,
На востоке, и тихонько
Говорил:
«Что там, Нокомис?»
И Нокомис отвечала:
«Это Мускодэ на небе;
Все цветы лесов зеленых,
Все болотные кувшинки,
На земле, когда увянут,
Расцветают снова в небе.»*

*По мотивам легенды
североамериканских индейцев.*

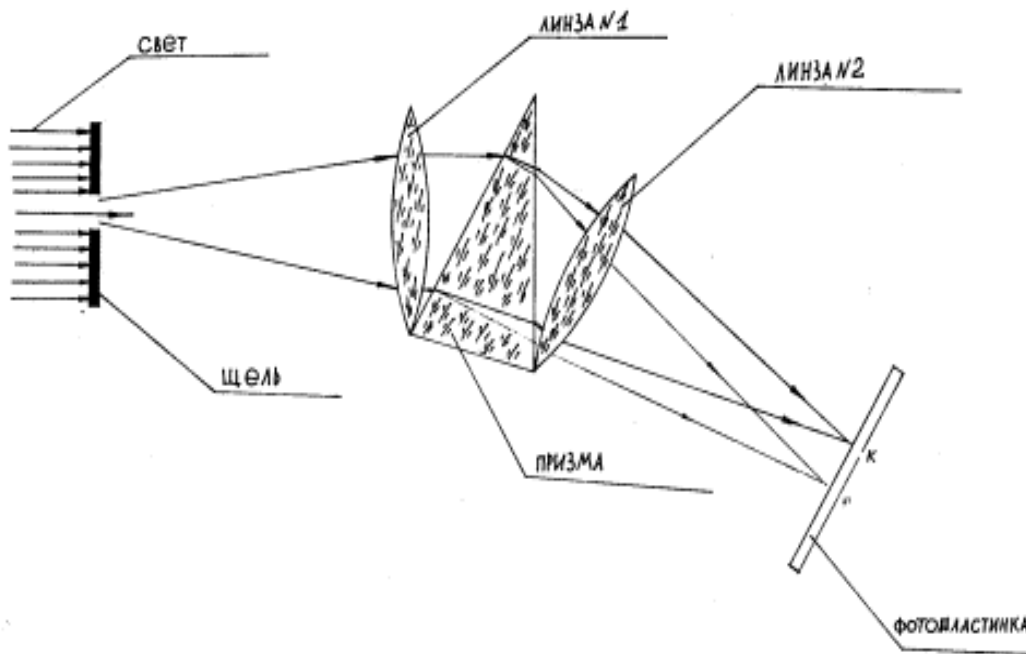
Явление поглощения широко используется в абсорбционном *спектральном анализе* смеси газов, основанном на измерениях спектров частот и интенсивностей линий (полос) поглощения. Структура спектров поглощения определяется составом и строением молекул, поэтому *изучение спектров поглощения является одним из основных методов количественного и качественного исследования веществ.*



Спектральные аппараты

Призменный спектральный аппарат – спектрограф.

СХЕМА СПЕКТРОГРАФА (призменного)



Ход лучей в спектрографе

1. Через узкую щель проходит пучок света.
2. Линза №1 делает пучок света параллельным.
3. Призма раскладывает белый свет по длинам волн на спектр.
4. Линза №2 собирает разошедший пучок излучения по длинам волн в разные концы экрана.
5. Фотопластинка фиксирует спектр и получается спектограмма.

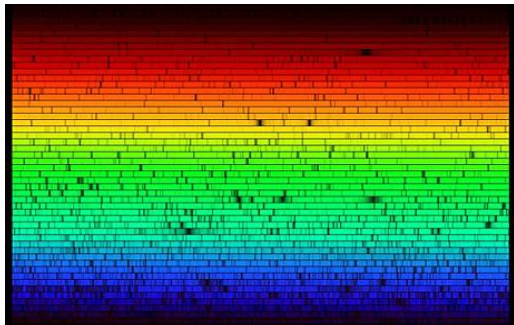


Спектральный анализ

Метод определения химического состава по его спектру.

Атомы любого химического элемента дают спектр, не похожий на спектры всех других элементов: они способны излучать строго определенный набор длин волн.

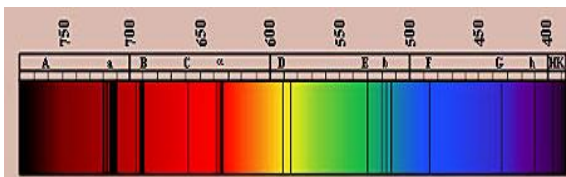
1.



Видимая часть солнечного излучения при изучении с помощью спектроанализирующих приборов оказывается неоднородной – **в спектре наблюдаются *линии поглощения*, впервые описанные в 1814 году И. Фраунгофером.**

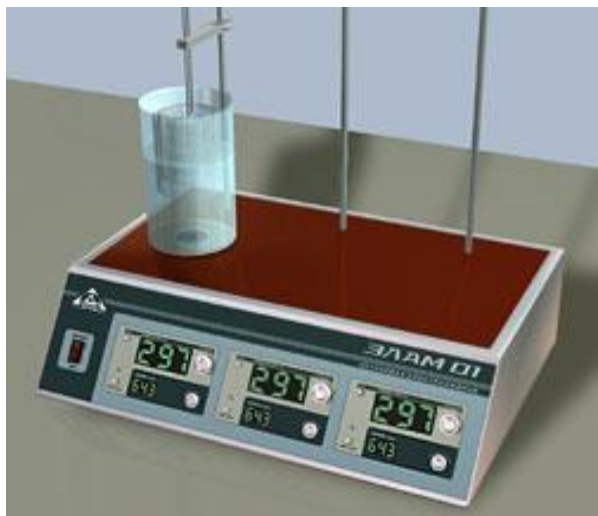
Спектральный анализ позволяет получить информацию о составе Солнца, поскольку определенный набор спектральных линий исключительно точно характеризует химический элемент. Так, с помощью наблюдений спектра Солнца был открыт гелий.

С помощью спектрального анализа узнали, что звезды состоят из тех же самых элементов, которые имеются и на Земле.



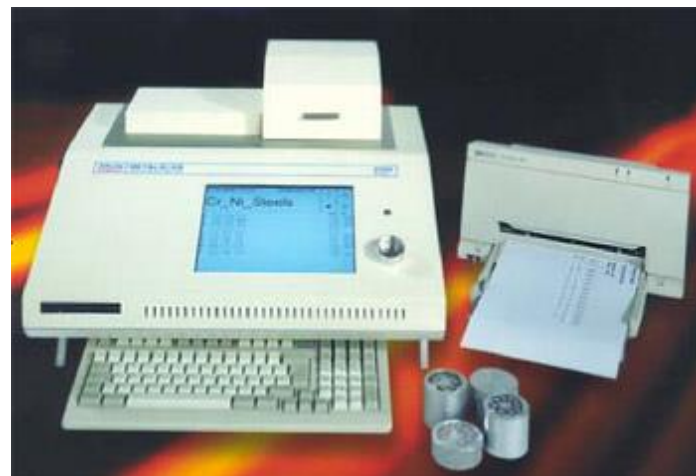
Фраунгоферовы линии в спектре солнечного излучения

2. С помощью спектрального анализа можно обнаружить данный элемент в составе сложного вещества. Благодаря универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении, атомной индустрии.



Лабораторная электролизная установка для анализа металлов «ЭЛАМ».

Установка предназначена для проведения весового электролитического анализа меди, свинца, кобальта и др. металлов в сплавах и чистых металлах.

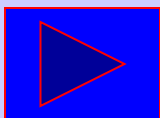


Стационарно – искровые оптико - эмиссионные спектрометры «МЕТАЛСКАН –2500».

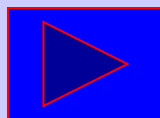
Предназначены для точного анализа металлов и сплавов, включая цветные, сплавы черных металлов и чугуны.

Виды спектров

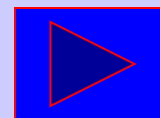
Непрерывные



Линейчатые

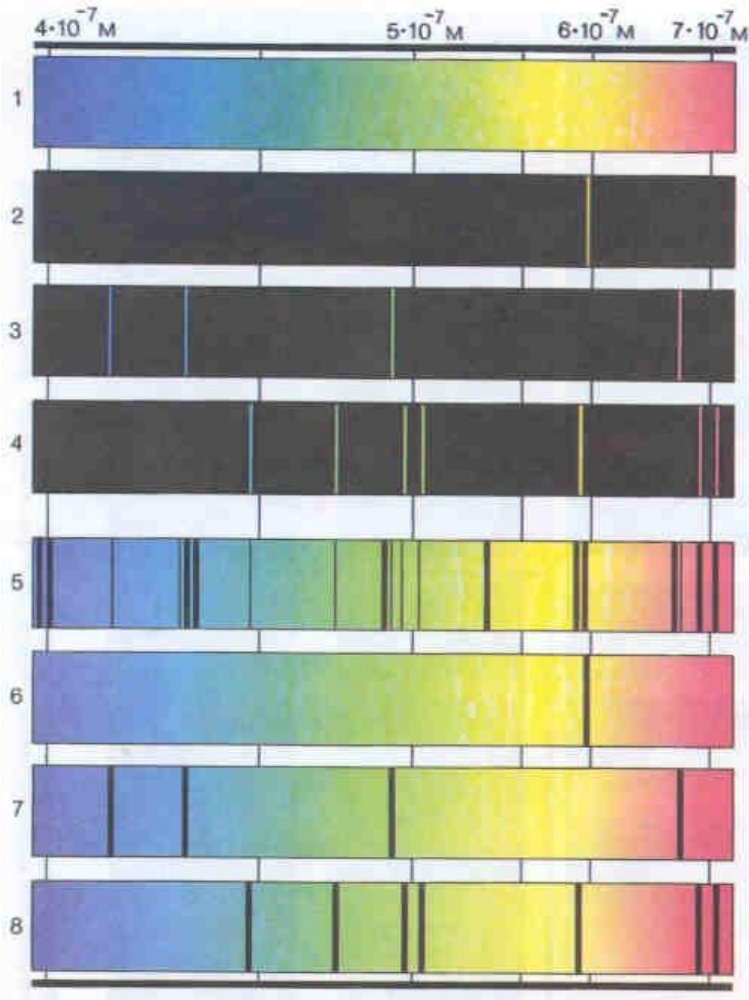


Полосатые





Спектры испускания и поглощения



Спектры испускания:

- 1- сплошной;
- 2- натрия;
- 3- водорода;
- 4- гелия.

Спектры поглощения:

- 5- солнечный;
- 6- натрия;
- 7- водорода;
- 8- гелия.

Излучение Вавилова-Черенкова

В 1934 году П.А.Черенков, и С.Н. Вавилов, обнаружили особый вид свечения жидкости под действием γ -лучей радия.

В 1937 году И.Е. Тамм и И.М. Франк объяснили механизм свечения

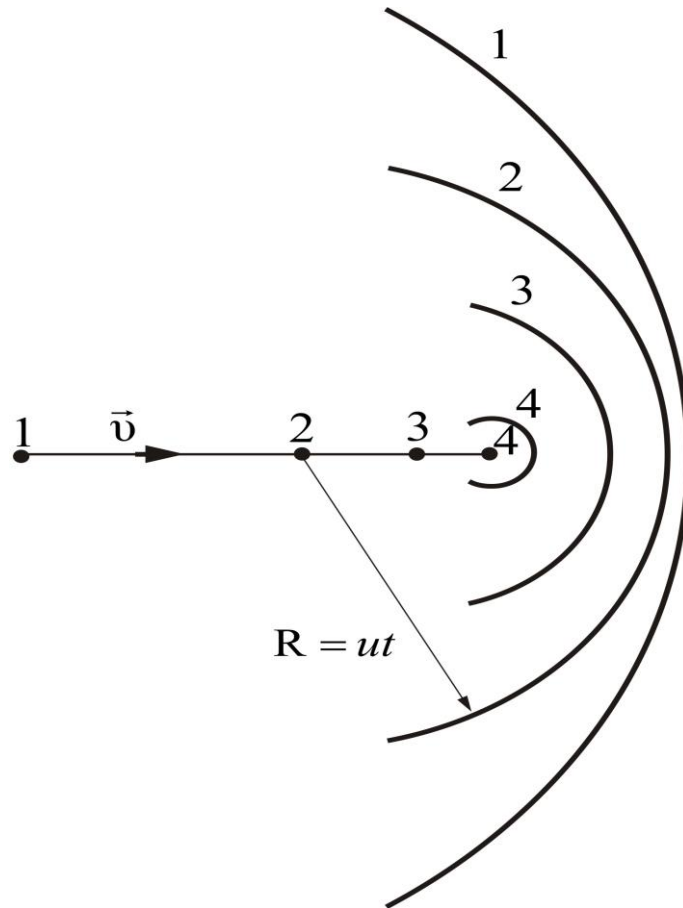
В 1940 году В.Л. Гинзбург создал квантовую теорию

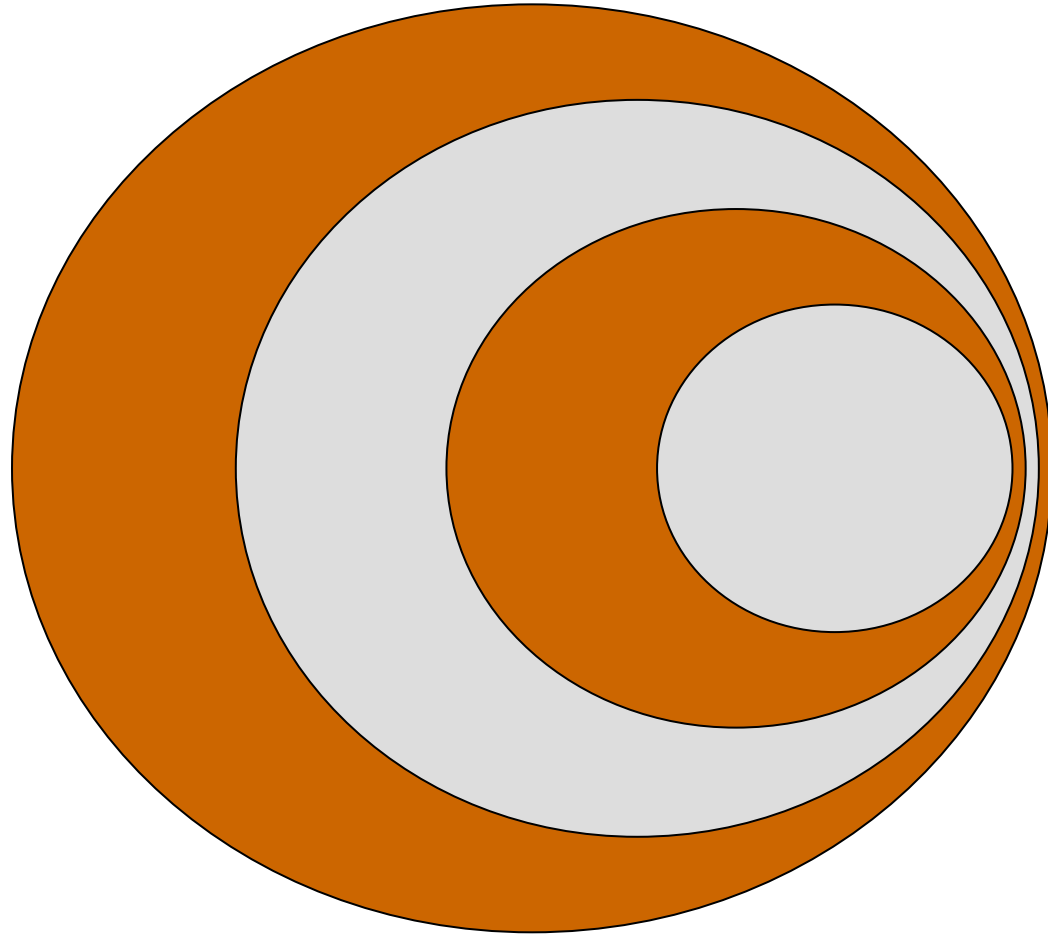
• *Излучение Вавилова-Черенкова это **излучение электрически заряженной частицы**, движущейся в среде с групповой скоростью u , превышающей фазовую скорость света в этой среде*

$$\frac{c}{n} < u < c$$

При движении заряженной частицы в изотропной среде со скоростью $v < u = \frac{c}{n}$ элементарные волны будут представлять собой сферы, находящиеся одна в другой, распространяющиеся со скоростью

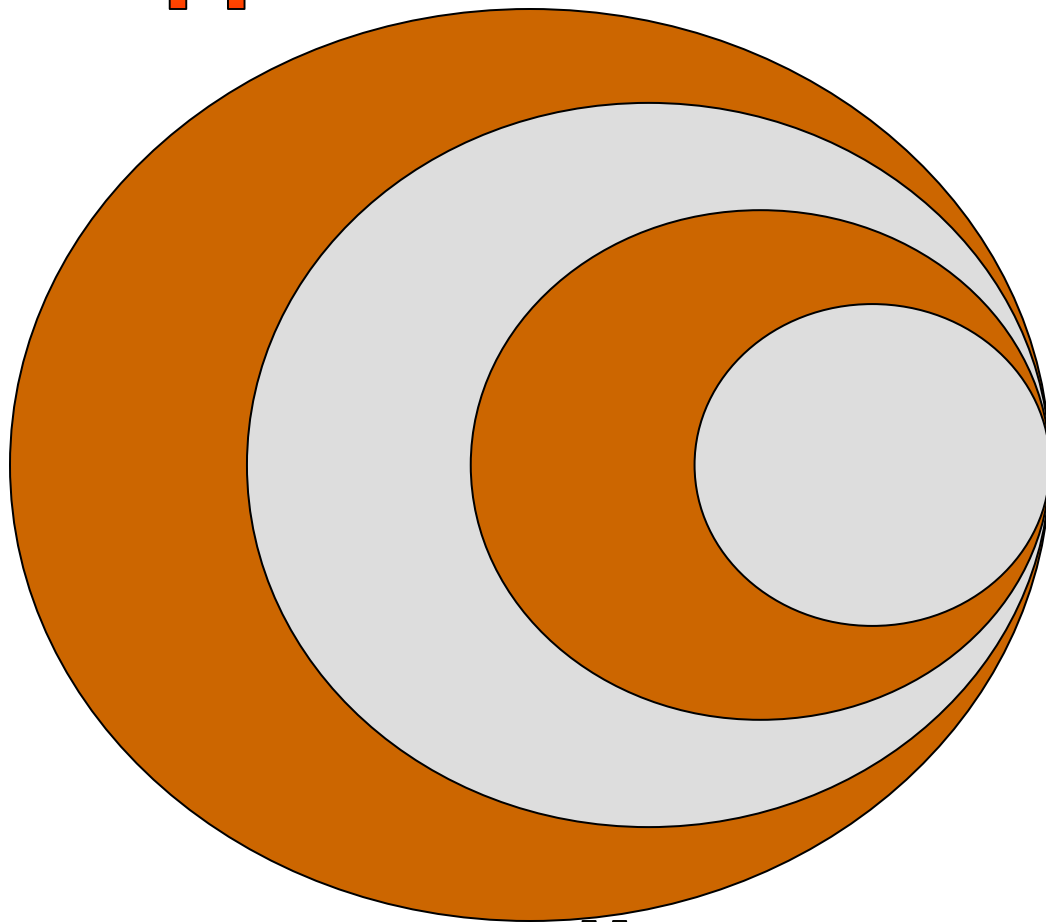
$$u = \frac{c}{n}$$





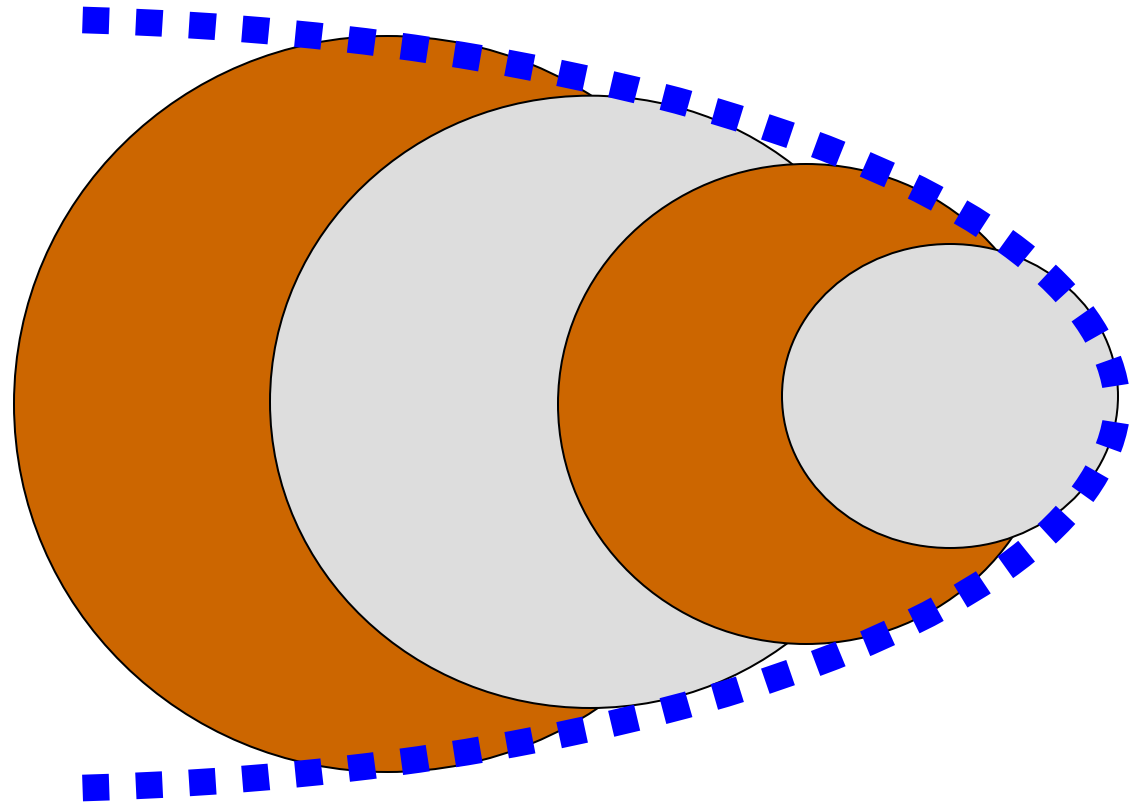
СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МЕНЬШЕ ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА

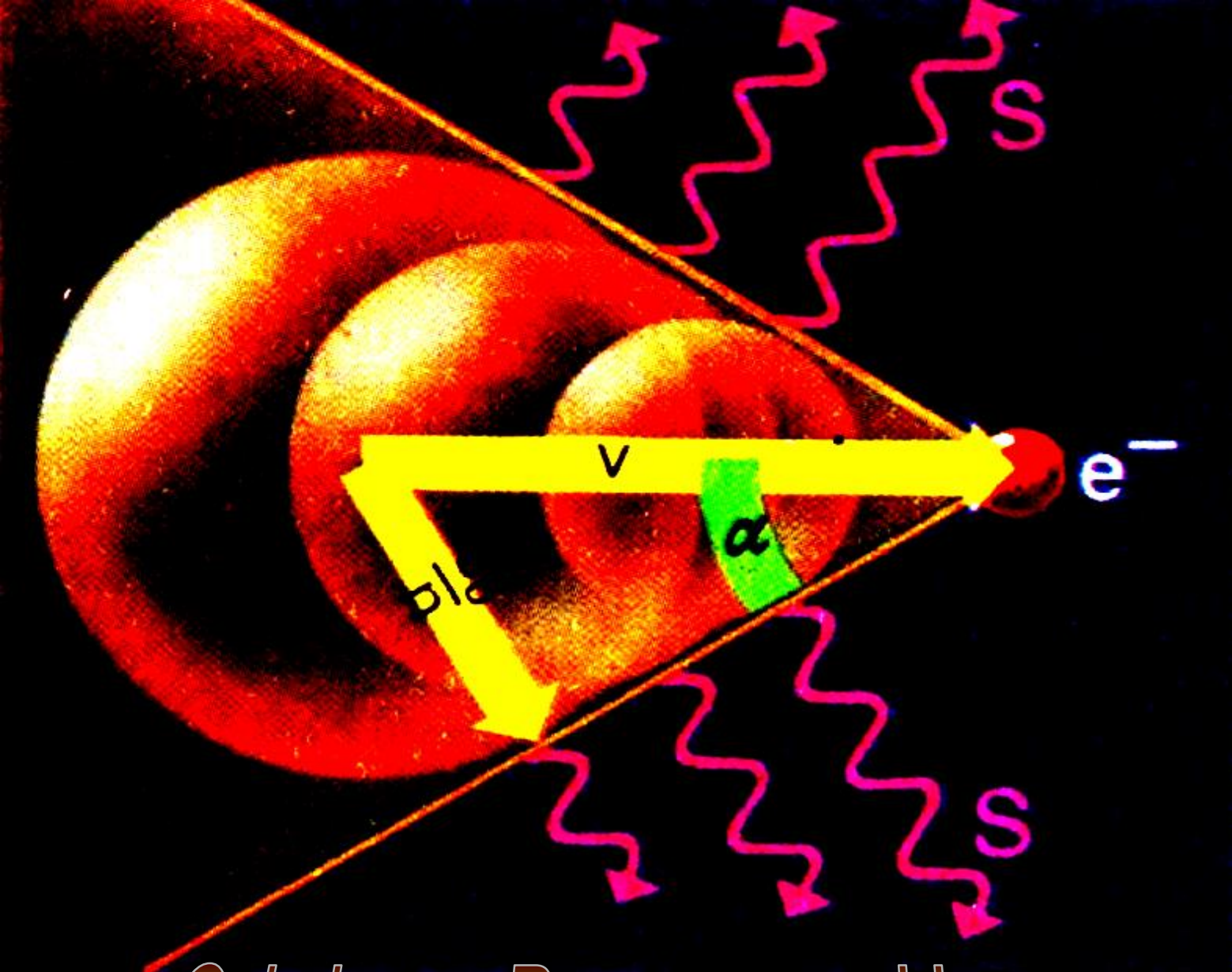


равна фазовой скорости

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА



ВЫШЕ ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ

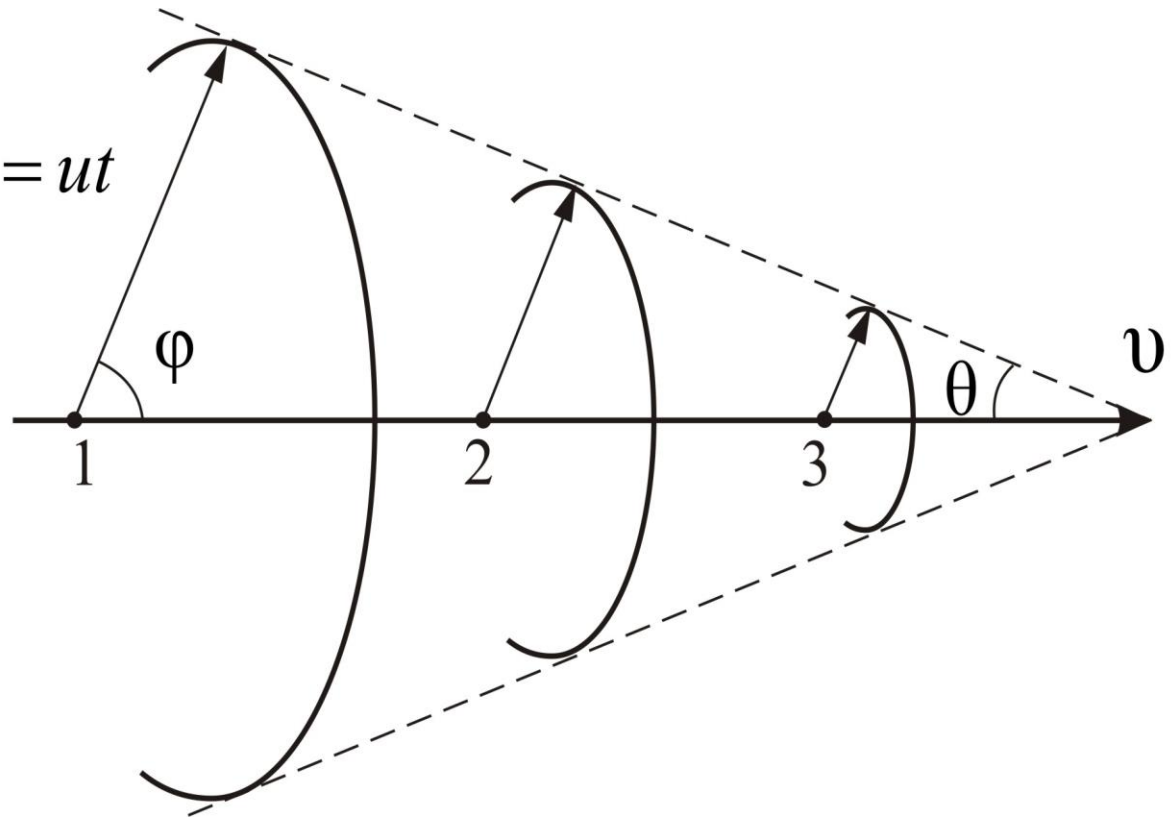


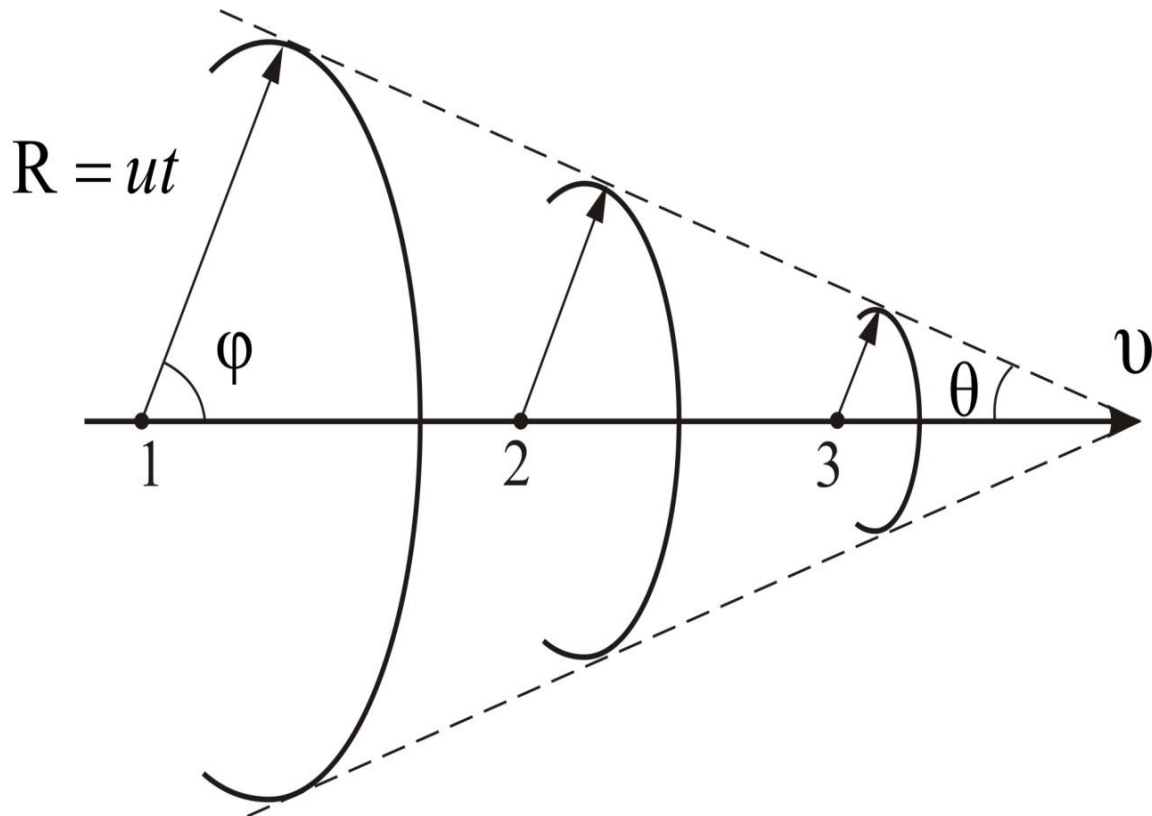
Эффект Вавилова-Черенкова

Если частица движется быстрее, чем распространяются волны в среде, то соответствующие элементарным волнам сферы пересекаются, и их общая огибающая (волновая поверхность) представляет собой конус с вершиной в точке, совпадающей с мгновенным положением движущейся частицы. Нормали к образующим конуса определяют волновые векторы, т.е. направления распространения света. Угол, который составляет волновой вектор с направлением движения частицы

$$\cos \varphi = \frac{u}{v} = \frac{c}{nv}$$

$$R = ut$$

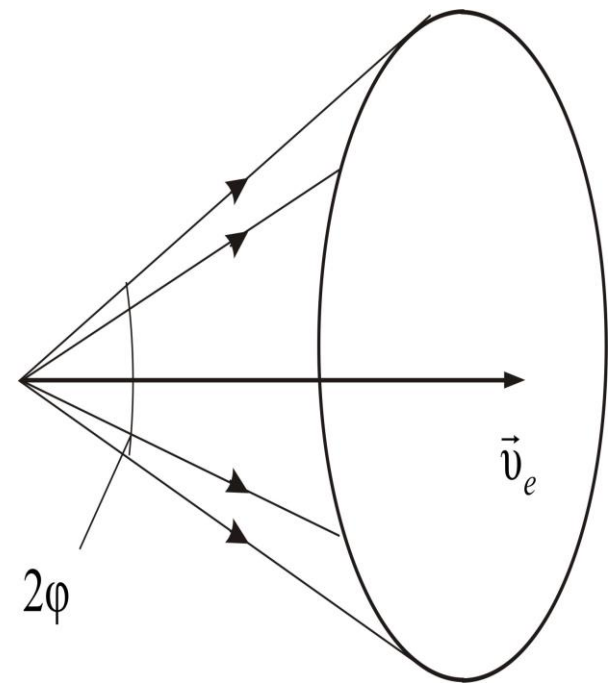
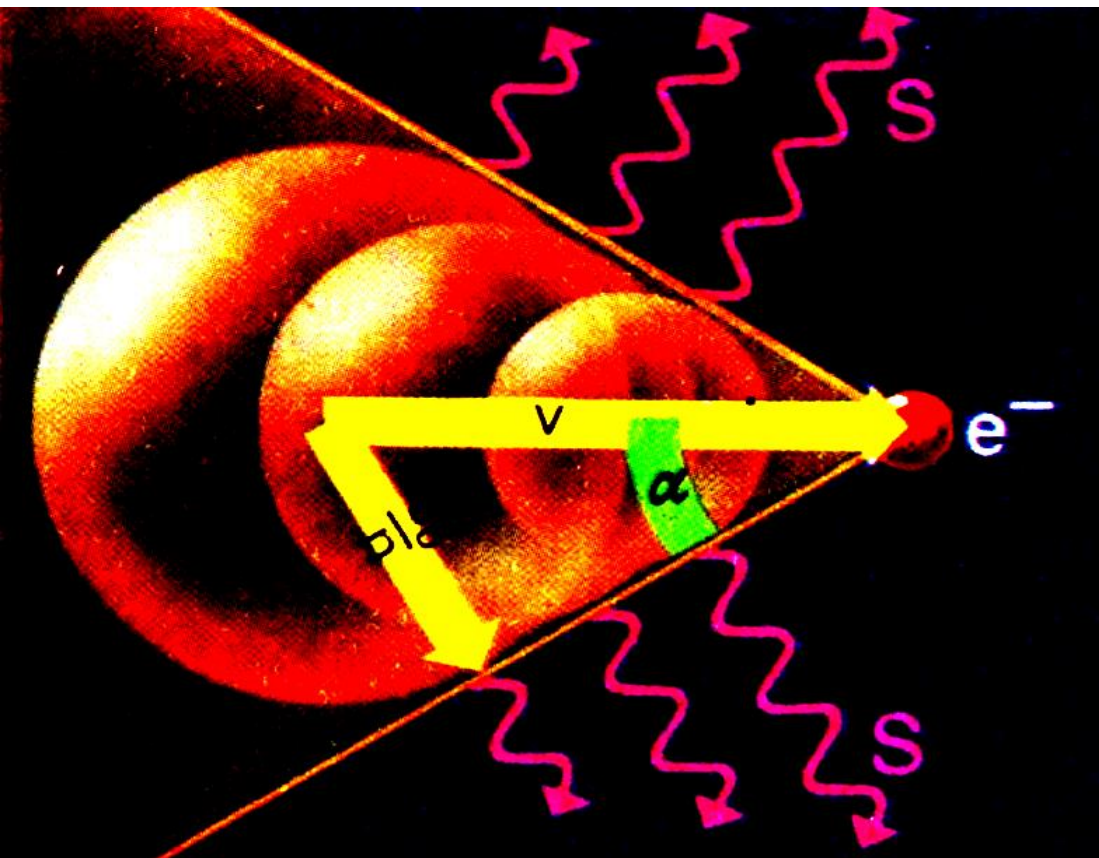


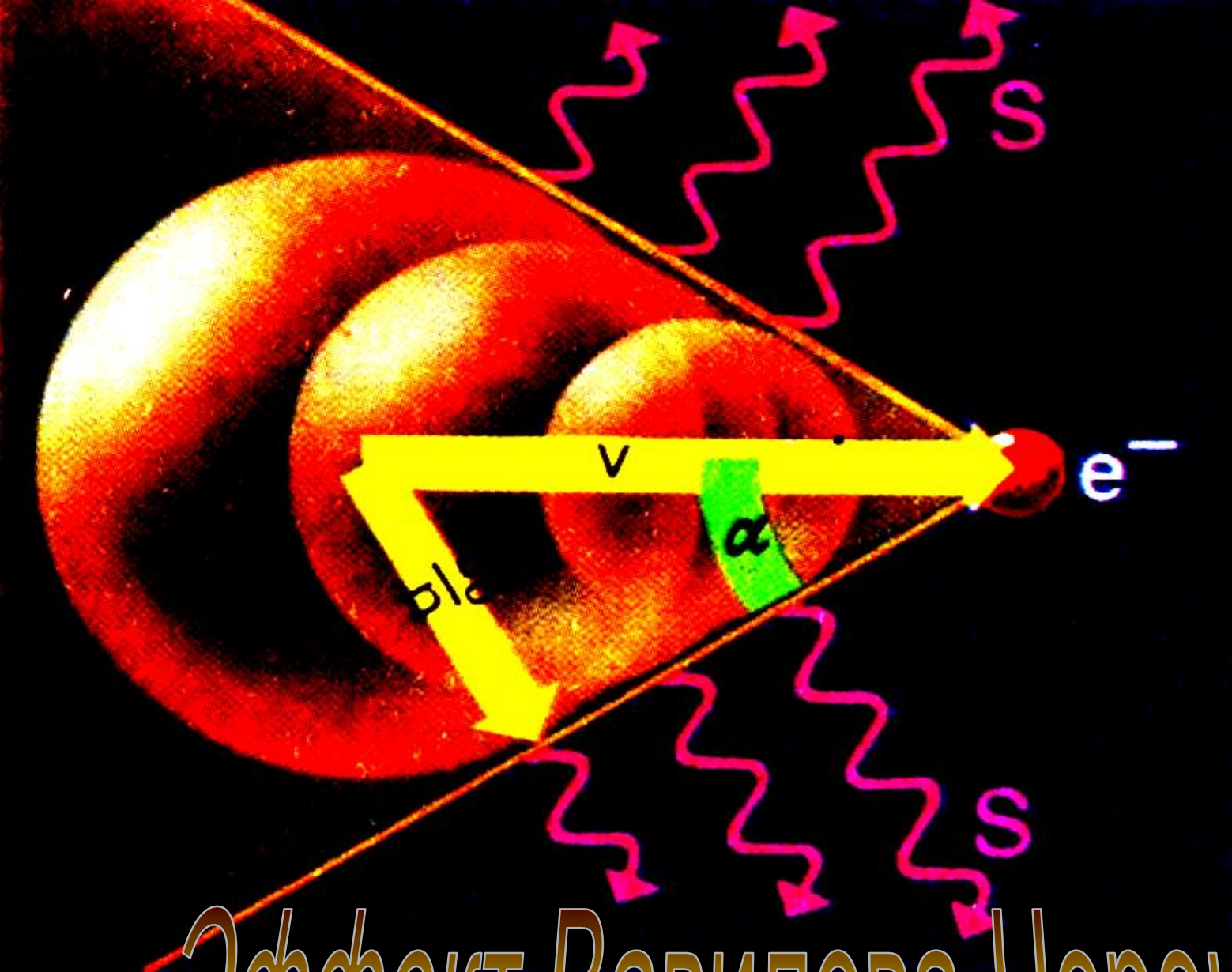


Частица движется быстрее, чем распространяются волны в среде

$$\cos \varphi = \frac{u}{v} = \frac{c}{nv}$$

Нормали к образующим конуса определяют волновые векторы распространения света. В этих направлениях вторичные волны будут усиливаться и формировать излучение Вавилова–Черенкова. Свет, возникающий на каждом малом участке траектории частицы, распространяется вдоль образующей конуса, ось которого совпадает с направлением движения электрона v_e , а угол при вершине равен 2φ





Эффект Вавилова-Черенкова

В жидкостях и твердых телах условие $v > c$

начинает выполняться для электронов при энергиях $W > 10^5$ эВ, а для протонов $W > 10^8$ эВ.

Описанный эффект используют в *счетчиках Черенкова*, предназначенных для регистрации заряженных микрочастиц (электронов, протонов, мезонов, и т.п.). В них световая вспышка, возникающая при движении частицы, преобразуется в электрический сигнал с помощью фотоумножителя, который и регистрируется.

В некоторых черенковских счетчиках можно определить угол φ и по условию $\cos \varphi = c/(nv_e)$ оценить скорость частицы v , зная массу, определить ее энергию.