

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

**Тема лекции: Распространение электромагнитного излучения в молекулярной атмосфере.**

**Цель лекции:** изучить факторы и механизмы ослабления, поглощения и рассеяния электромагнитной энергии в атмосфере.

Вопросы лекции:

1. Факторы ослабления излучения. Затухание электро-магнитной энергии в атмосфере.
2. Молекулярное поглощение электромагнитной энергии.
3. Релеевское рассеяние электромагнитной энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гончаров И.В., Коковин Н.С.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Конспект лекций. — СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2016. — с. 68–75.
- 2.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

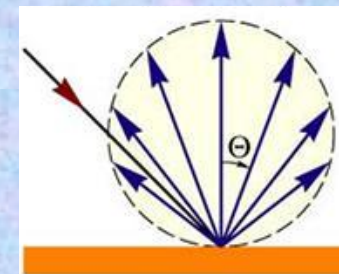
## 1. Факторы ослабления излучения. Затухание электро-магнитной энергии в атмосфере.

Распространяясь в атмосфере, радиоволны ослабляются из-за потери части электромагнитной энергии, которая поглощается и рассеивается молекулами кислорода и водяного пара, атмосферными осадками, частицами пыли и другими неоднородностями атмосферы



- **поглощение** электромагнитных волн – превращение электромагнитной энергии в тепловую (нагрев молекулы);
- **рассеяние** электромагнитных волн – изменение частицей направления их распространения

**Ослабление = поглощение + рассеяние.**



# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

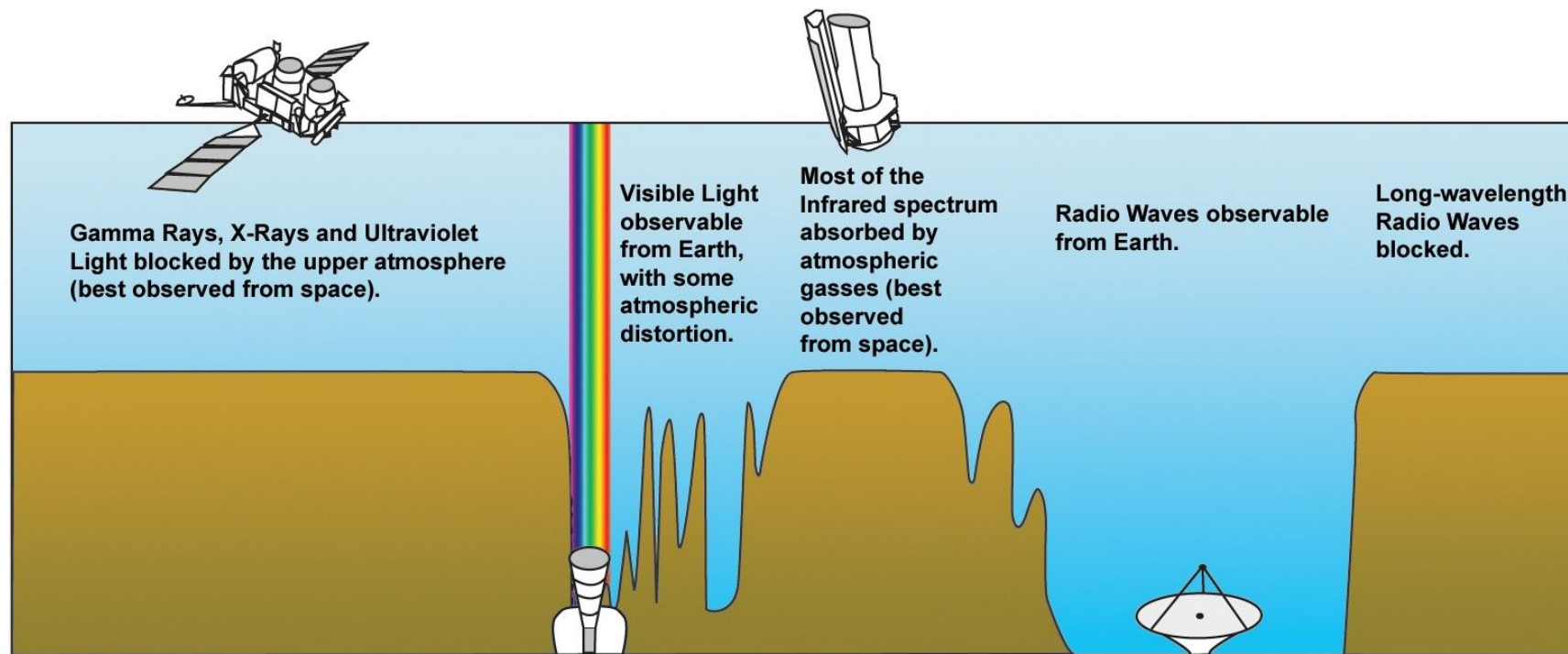
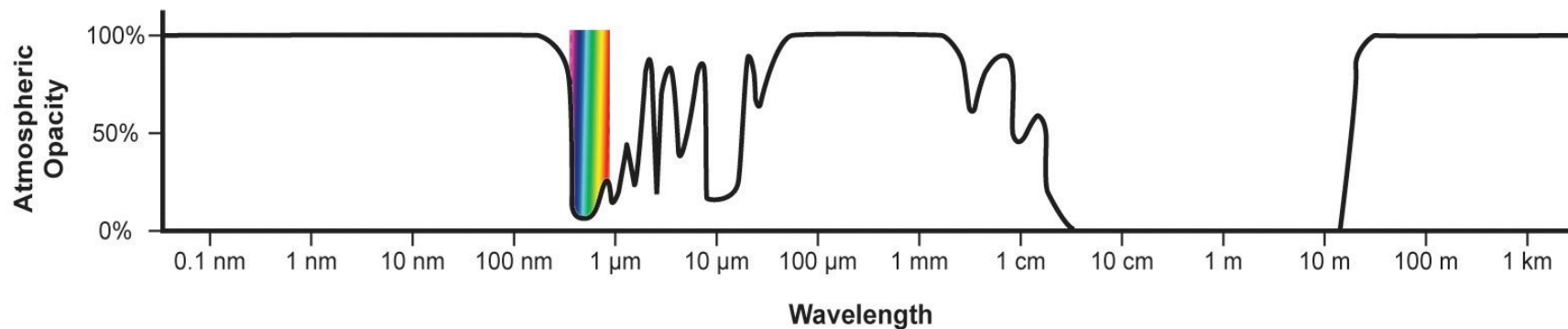


Особенности ослабления ЭМ излучения:

1. При малых размерах капель (например при тумане) ослабление происходит преимущественно за счёт поглощения энергии частицами влаги. При крупных каплях – вследствие её рассеяния.
2. Снег и град при одинаковой с дождем интенсивности значительно меньше влияют на величину ослабления энергии.
3. При повышении температуры от 0 до 40<sup>0</sup>С затухание радиоволн уменьшается более чем в три раза.
4. Поглощение в кислороде пропорционально квадрату давления и, следовательно, уменьшается с подъемом на высоту.
5. Поглощение в парах воды пропорционально влажности.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

## Прозрачность атмосферы для различных длин волн



# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

**Нерезонансное поглощение** вызывается затратой энергии воздействующего поля на преодоление сил трения между молекулами атмосферных газов, возникающими при вынужденном колебательном движении молекул под действием электромагнитного поля. *Нерезонансное поглощение* атмосферными газами не избирательно (не селективно). Оно плавно меняется с изменением длины волны.

**Резонансное поглощение** атмосферными газами связано с тем, что по законам квантовой механики каждая молекула того или иного вещества может поглощать (или излучать) только свои собственные наборы квантов энергии или соответствующие им наборы (спектры) частот.

Из всех газовых составляющих атмосферы в радиодиапазоне свои собственные наборы квантов энергии или соответствующие им наборы частот (спектры), создающие резонансное поглощение, имеют только **молекулы кислорода и водяного пара**.

**Резонансное поглощение молекулами кислорода и водяного пара** возникает вследствие того, что эти молекулы имеют дипольный момент, с которым взаимодействует электромагнитная волна.

При совпадении частоты электромагнитной волны с одной из дискретных частот внутримолекулярных переходов (эти переходы имеют **строго определенный набор значений для каждого вида молекул**) происходит поглощение энергии внешнего поля, в результате чего молекула переходит в более высокое энергетическое состояние. Поэтому резонансное поглощение **селективно** и **резко усиливается** в области резонансных частот.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

В области частот, расположенных в районе **резонансного поглощения молекул кислорода и водяного пара**, происходит резкое увеличение поглощения электромагнитного излучения, то для активного радиометеорологического зондирования атмосферы такое увеличение поглощения является крайне нежелательным эффектом: **сигнал сильно поглощается** как при распространении импульса от локатора до зондируемого облака, так и при распространении рассеянного излучения от облака до локатора.

У **кислорода** резонансная область лежит вблизи длин волн 0,5 и 0,25 см (60ГГц и 120 ГГц).

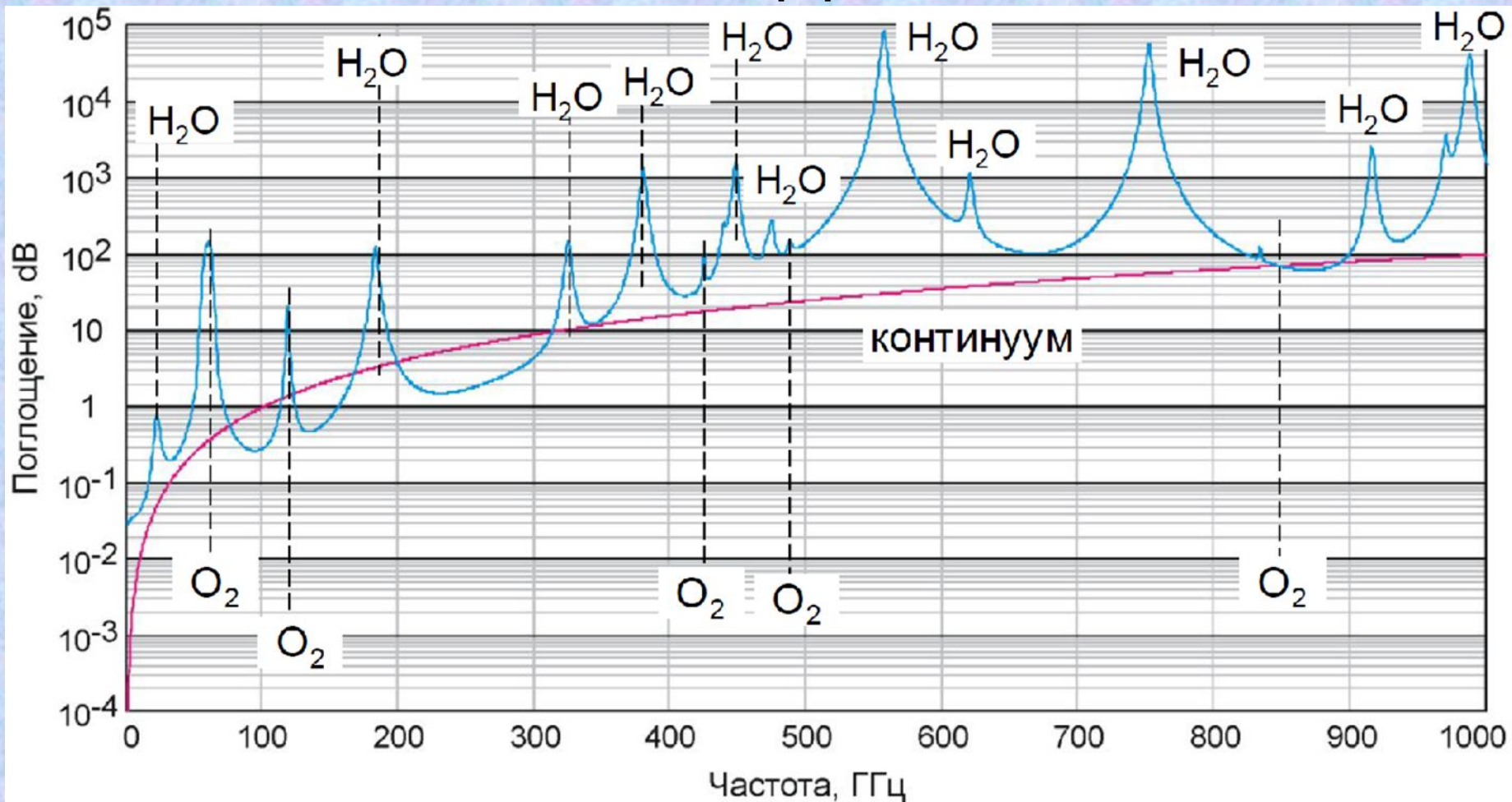
У **водяного пара** резонансное поглощение наблюдается на длинах волн 0,16 и 1,35 см.

Сильное ослабление электромагнитного излучения в области резонансного поглощения приводит к тому, что в метеорологических радиолокаторах не используются длины волн, расположенные вблизи резонансных частот молекул кислорода и водяного пара.

На длине волны около 3 см (рабочая длина волны радиолокаторов МРЛ-2, МРЛ-5 и доплеровского радиолокатора с двойной поляризацией METEOR 50DX) удельные коэффициенты ослабления имеют следующие значения:

- в кислороде удельный коэффициент ослабления равен 0,0072 дБ/км,
- в водяном паре при температуре 20<sup>0</sup>С и влажности 1 г/м<sup>3</sup> удельный коэффициент ослабления равен 0,00039 дБ/км.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы



## Поглощение водяным паром и кислородом

[Континуум \(в физике\)](#) — сплошная среда, в которой исследуются процессы при различных внешних условиях.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

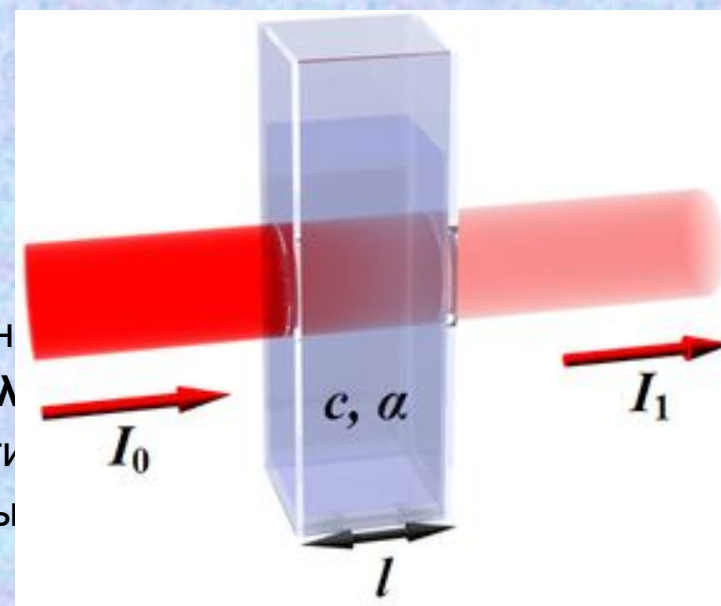
## 2. Молекулярное поглощение электромагнитной энергии.

Пройдя в среде путь от  $l_1$  до  $l_2$ , излучение за счет поглощения и рассеяния ослабляется и его интенсивность  $I$  становится меньше первоначальной  $I_0$ .

Поглощающие свойства среды при распространении монохроматического излучения обычно учитываются известным законом Бугера. Физический смысл закона заключается в независимости поглощения (потери фотонов) от интенсивности света, проходящего через вещество:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp \left[ - \int_{l_1}^{l_2} K_v(\lambda, l) dl \right]$$

где  $I_0(\lambda)$ ,  $I(\lambda)$  – интенсивности излучения, численно равны энергии монохроматического излучения длиной волны  $\lambda$  в единицу времени через единицу площади поверхности до и после прохождения слоя  $l_1$  и  $l_2$  поглощающей среды  $K(\lambda)$  – объемный коэффициент поглощения.



**Физический смысл коэффициента поглощения:** коэффициент поглощения численно равен обратной величине толщины слоя вещества, по прохождении которого интенсивность света уменьшается в  $e$  раз.



# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

Вывод:

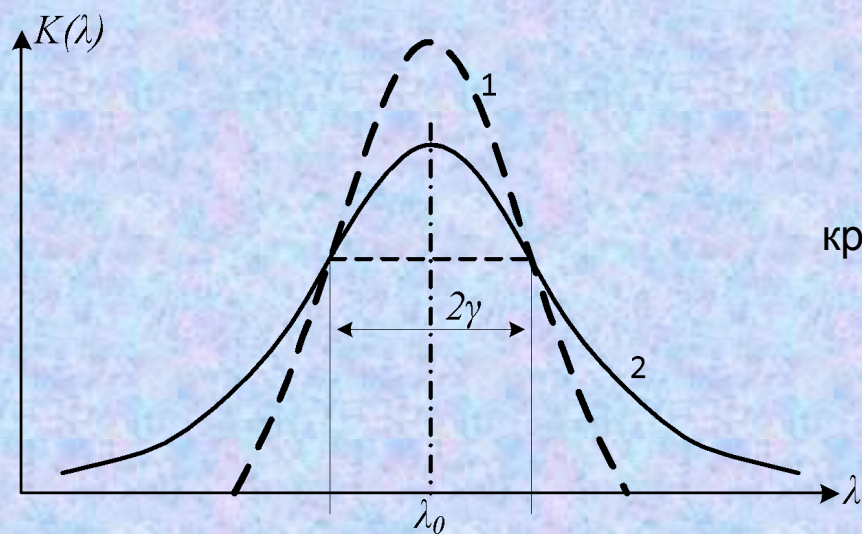
Поглощение электромагнитной энергии характеризуется переходом молекул из одного энергетического состояния в другое. Эти переходы сопровождаются поглощением энергии в определенном узком спектральном интервале, носящем название *линий поглощения*.

Свойства линий поглощения определяются тремя характеристиками:

- интенсивностью  $S$ ;
- полушириной  $\gamma$ ;
- положением центра спектральной линии  $\lambda_0$  или  $\nu_0$ .

Форму распределения  $K(\lambda)$  в общем случае характеризуют:

- естественной  $\gamma_N$  полушириной линии поглощения,
- лоренцовой  $\gamma_L$  полушириной линии поглощения,
- доплеровской  $\gamma_D$  полушириной линии поглощения (рис).



1 – Лоренцева кривая  
2 – Гауссова кривая

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

- Значение  $\gamma_N$  характеризует форму линии поглощения в условиях отсутствия внешних воздействий. Эта величина обратно пропорциональна времени  $\tau$  нахождения молекул в возбужденном состоянии. В реальных условиях  $\gamma_N \ll \gamma_L$  и  $\gamma_N \ll \gamma_D$ .
- Расширение линий поглощения  $\gamma_L$  происходит под влиянием столкновений молекул. Эти столкновения приводят к сокращению времени  $\tau$ . Чем интенсивнее соударения, тем меньше время  $\tau$  и тем дальше от частоты  $\nu_0$  отстоят составляющие полос поглощения.
- Доплеровская полуширина линий поглощения  $\gamma_D$  учитывает тепловое движение поглощающих молекул относительно источника излучения

$$K_\nu = \frac{S}{\sqrt{\pi}\gamma_D} \exp\left[-\frac{\nu - \nu_0}{\gamma_D}\right]^2$$

где  $\gamma_D = \frac{\nu_0}{c} \sqrt{\ln 2 \frac{kT}{m}}$

Вблизи земной поверхности преобладает  $\gamma_L$ . По мере увеличения высоты величины  $\gamma_L$  и  $\gamma_D$  выравниваются, и далее преобладает  $\gamma_D$ . При стандартных условиях  $\gamma_D / \gamma_L = 1$  на высоте 7 км.

# Физические основы дистанционных методов измерений параметров атмосферы

## 3. Релеевское рассеяние электромагнитной энергии.

Релеевское рассеяние – когерентное рассеяние света без изменения длины волны (называемое также упругим рассеянием) на частицах, неоднородностях или других объектах, когда частота рассеиваемого света существенно меньше собственной частоты рассеивающего объекта или системы.

Релеевское рассеяние происходит тогда, когда излучение взаимодействует с молекулами и частицами в атмосфере меньшего диаметра, чем длина волны излучения.