

# Análise de dados INMET

1	REGIAO:	CO																	
2	UF:	DF																	
3	ESTACAO:	BRASILIA																	
4	CODIGO (WMO):	A001																	
5	LATITUDE:	-15,7894																	
6	LONGITUDE:	-47,9258																	
7	ALTITUDE:	1160,96																	
8	DATA DE FUNDACAO:	#####																	
9	Data	Hora UTC	PRECIPITA	PRESSAO	PRESSÃO	PRESSÃO	RADIACAO	TEMPERA	TEMPERA	TEMPERA	TEMPERA	TEMPERA	TEMPERA	UMIDADE	UMIDADE	UMIDADE	VENTO, DI	VENTO, RA	VENTO, VELOCIDADE HORARIA
10	01/01/2022	0000 UTC	0	884	884	882,9		19,2	17,4	19,2	19	17,4	17,2	90	89	89	356	4,4	1,9
11	01/01/2022	0100 UTC	0,4	884,4	884,4	884		19	17,7	19,5	19	17,7	17,4	92	88	92	350	5,2	2,1
12	01/01/2022	0200 UTC	0	884,2	884,4	884,2		19,1	17,6	19,1	18,8	17,7	17,6	93	91	91	6	5,1	2,6
13	01/01/2022	0300 UTC	0	884	884,2	884		18,8	17,2	19,2	18,8	17,6	17,2	91	89	91	2	5,8	2,8
14	01/01/2022	0400 UTC	0	883,2	884	883,2		18,5	17,2	18,8	18,4	17,3	17,1	92	91	92	11	4,3	1,3
15	01/01/2022	0500 UTC	0	882,8	883,2	882,8		18,7	17,3	18,7	18,4	17,4	17,2	93	92	92	12	4,7	2,9
16	01/01/2022	0600 UTC	0,8	882,7	882,8	882,7		18,3	17,4	18,7	18,3	17,4	17,3	94	92	94	350	5,6	2,7
17	01/01/2022	0700 UTC	0,4	882,6	882,7	882,5		18,3	17,5	18,4	18,3	17,5	17,4	95	94	95	350	6,1	3,1
18	01/01/2022	0800 UTC	0	882,8	882,9	882,6		18,3	17,4	18,4	18,3	17,5	17,4	95	95	95	356	6,4	3,4
19	01/01/2022	0900 UTC	0	883,3	883,3	882,8	1,5	18,3	17,5	18,3	18,2	17,5	17,4	95	95	95	2	6,4	2,2
20	01/01/2022	1000 UTC	0,2	883,9	883,9	883,3	79,4	18,6	17,7	18,6	18,3	17,7	17,5	95	95	95	5	5,1	2,9
21	01/01/2022	1100 UTC	0	884,4	884,4	883,9	328,5	18,9	17,9	19,1	18,6	18,1	17,7	95	93	94	6	6,8	3,5
22	01/01/2022	1200 UTC	0,6	884,8	884,8	884,4	361,6	19	18	19	18,9	18	17,8	94	93	94	355	7,7	4,3
23	01/01/2022	1300 UTC	0,2	885	885	884,8	998,5	20,6	18,4	20,6	19	18,7	18	94	87	87	355	7,9	4,9
24	01/01/2022	1400 UTC	0	884,9	885	884,9	1239,2	20,2	18	21	20,1	18,9	17,8	90	84	87	345	9,1	4,3
25	01/01/2022	1500 UTC	5,2	884,3	884,9	884,3	1142,4	20,9	19,8	20,9	19,3	19,9	18,1	95	87	94	341	9,1	3,6
26	01/01/2022	1600 UTC	0	883,6	884,3	883,6	2221	22,3	18,7	22,9	20,8	19,8	18,1	94	79	81	324	8,3	3,3
27	01/01/2022	1700 UTC	3,2	883,3	883,7	883,3	955,3	20,8	18,5	22,4	19,8	19,2	16,9	91	79	87	342	10	4
28	01/01/2022	1800 UTC	0	882,7	883,4	882,7	1098,9	20,8	18,3	21,2	20,5	18,8	18,2	89	84	85	341	7,5	3,5
29	01/01/2022	1900 UTC	0	882,6	882,7	882,5	903,6	20,3	18	21,2	20,3	18,4	17,6	86	81	86	343	7,4	4
30	01/01/2022	2000 UTC	10,2	882,8	882,9	882,6	218,7	19	18,1	20,3	18,9	18,3	17,7	95	86	95	352	6,9	3,1
31	01/01/2022	2100 UTC	3,8	883,2	883,2	882,8	103,1	19	18,2	19	18,8	18,2	18	95	95	95	332	5,5	2,3
32	01/01/2022	2200 UTC	0,8	883,7	883,8	883,1	32,5	18,6	17,4	19	18,6	18,2	17,4	95	93	93	332	7	3,3
33	01/01/2022	2300 UTC	0	884,2	884,2	883,7		18,3	17,2	18,6	18,3	17,4	17,2	93	93	93	334	5,8	2,9
34	02/01/2022	0000 UTC	0,2	884,7	884,7	884,1		18,1	17,2	18,3	18	17,3	17,1	94	93	94	350	5,6	2,6
35	02/01/2022	0100 UTC	0	885,3	885,3	884,7		18,4	17,4	18,5	18,1	17,6	17,2	95	94	94	340	5,9	3,5

1	REGIAO:	CO							
2	UF:	DF							
3	ESTACAO:	BRASILIA							
4	CODIGO (WMO):	A001							
5	LATITUDE:	-15,7894							
6	LONGITUDE:	-47,9258							
7	ALTITUDE:	1160,96							
8	DATA DE FUNDACAO	#####							
9	Data	Hora UTC	PRECIPITACAO	PRESSAO	PRESSÃO	PRESSÃO	RADIACAO GLOBAL (Kj/m²)	TEMPERATURA	TEMPERATURA
10	01/01/2022	0000 UTC	0	884	884	882,9		19,2	17,4
11	01/01/2022	0100 UTC	0,4	884,4	884,4	884		19	17,7
12	01/01/2022	0200 UTC	0	884,2	884,4	884,2		19,1	17,6
13	01/01/2022	0300 UTC	0	884	884,2	884		18,8	17,2
14	01/01/2022	0400 UTC	0	883,2	884	883,2		18,5	17,2
15	01/01/2022	0500 UTC	0	882,8	883,2	882,8		18,7	17,3
16	01/01/2022	0600 UTC	0,8	882,7	882,8	882,7		18,3	17,4
17	01/01/2022	0700 UTC	0,4	882,6	882,7	882,5		18,3	17,5
18	01/01/2022	0800 UTC	0	882,8	882,9	882,6		18,3	17,4
19	01/01/2022	0900 UTC	0	883,3	883,3	882,8	1,5	18,3	17,5
20	01/01/2022	1000 UTC	0,2	883,9	883,9	883,3	79,4	18,6	17,7
21	01/01/2022	1100 UTC	0	884,4	884,4	883,9	328,5	18,9	17,9
22	01/01/2022	1200 UTC	0,6	884,8	884,8	884,4	361,6	19	18
23	01/01/2022	1300 UTC	0,2	885	885	884,8	998,5	20,6	18,4
24	01/01/2022	1400 UTC	0	884,9	885	884,9	1239,2	20,2	18
25	01/01/2022	1500 UTC	5,2	884,3	884,9	884,3	1142,4	20,9	19,8
26	01/01/2022	1600 UTC	0	883,6	884,3	883,6	2221	22,3	18,7
27	01/01/2022	1700 UTC	3,2	883,3	883,7	883,3	955,3	20,8	18,5
28	01/01/2022	1800 UTC	0	882,7	883,4	882,7	1098,9	20,8	18,3
29	01/01/2022	1900 UTC	0	882,6	882,7	882,5	903,6	20,3	18
30	01/01/2022	2000 UTC	10,2	882,9	882,9	882,6	218,7	19	19

- Analisar 5 anos de dados de ao menos 3 estações distintas, de preferência de diferentes regiões geográficas (N, NE, CO, S, SE)
- Irradiação ( $\text{kJ/m}^2$ ) – valores de irradiância solar incidente em superfície integrados a cada hora

# Preencher a planilha

- <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Ge1hT3zd3D1O2kVxCIGoEEqDI-D-GtQ2IVSJBUZQbQ7k/edit?usp=sharing>

The image shows a Google Sheets interface. At the top, there is a title bar with 'INMET' and icons for star, folder, and share. Below it is a menu bar with 'Arquivo', 'Editar', 'Ver', 'Inserir', 'Formatar', 'Dados', 'Ferramentas', 'Extensões', and 'Ajuda'. A toolbar contains various icons for undo, redo, print, link, zoom (100%), currency (R\$), percentage (%), decimal places (.0, .00), text color (123), background color (Padrã...), font size (10), bold (B), italic (I), text color (A), and grid lines. The spreadsheet grid has columns A, B, C, and D, and rows 1 to 22. Row 1 is highlighted in cyan and contains the headers: 'Nome' in column A, 'estação' in column B, 'município' in column C, and 'região' in column D. A blue selection box is visible around cell A2, indicating it is the active cell.

	A	B	C	D
1	Nome	estação	município	região
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

# Avaliar

- Variabilidade sazonal
- Variabilidade interanual
- Variabilidade espacial

A partir dos valores totais de irradiação mensal.

# Apresentação e discussão

- 20 de junho de 2023

# Absorção de Radiação por Gases na Atmosfera

# Constituintes gasosos da atmosfera

- $N_2$  ~ 78%                      ~ 99% da atmosfera
- $O_2$  ~ 21%                      seca
- vapor d'água (0,1 a > 4%)
- Argônio,  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $CH_4$ , etc.



# Absorção de radiação

- Apenas alguns gases absorvem radiação
- O que define?
  - Propriedades físicas e químicas das moléculas

# No processo de absorção

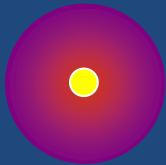
- Transformação em outra forma de energia, em geral, energia interna:
  - Energia cinética de rotação
  - Energia cinética de vibração
  - Energia cinética de translação
  - Energia potencial de transições eletrônicas

De todas, somente a energia de translação não é quantizada!

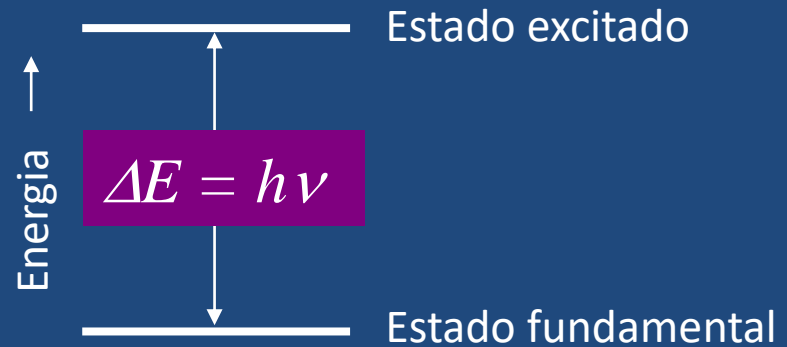
# Regras de seleção

- Não é qualquer valor de energia que contribui para o processo de absorção.

# Vibrações atômicas e moleculares correspondem a níveis excitados de energia na mecânica quântica



O átomo vibra com frequência  $\nu$

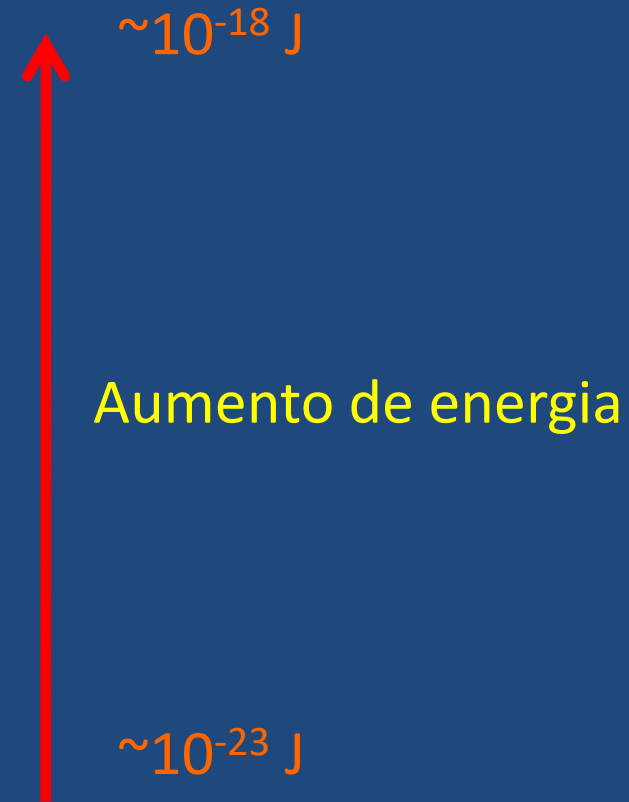


O átomo está num estado excitado.

- Para uma dada frequência de radiação, há somente um valor de energia quântica para o fóton associado a essa radiação
- As transições entre os níveis de energia ocorrem por absorção e emissão de fótons

# Processos de absorção molecular

- Transições eletrônicas
  - UV e visível
- Vibrações moleculares
  - Infravermelho térmico
- Rotações moleculares
  - microondas e infravermelho longínquo



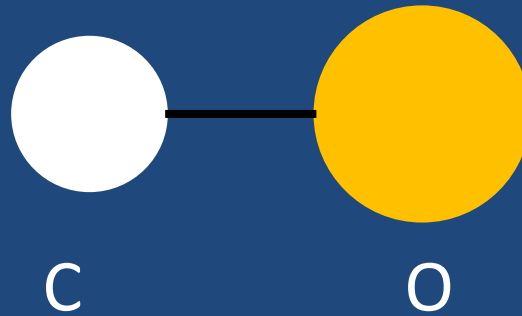
# Rotação

- Para que a molécula seja opticamente ativa e adquirir energia cinética de rotação  
⇒ É necessário que ela apresente momento de dipolo permanente

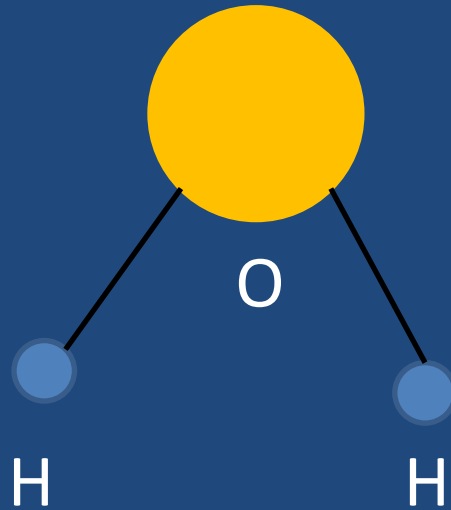
O que é momento de dipolo?

# Exemplos:

- Monóxido de carbono:



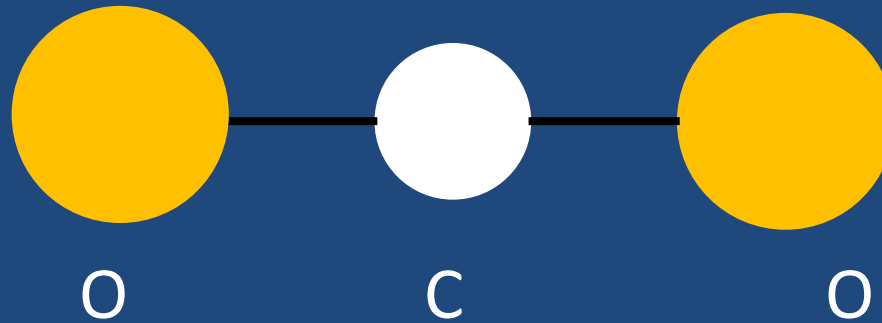
- Vapor d'água





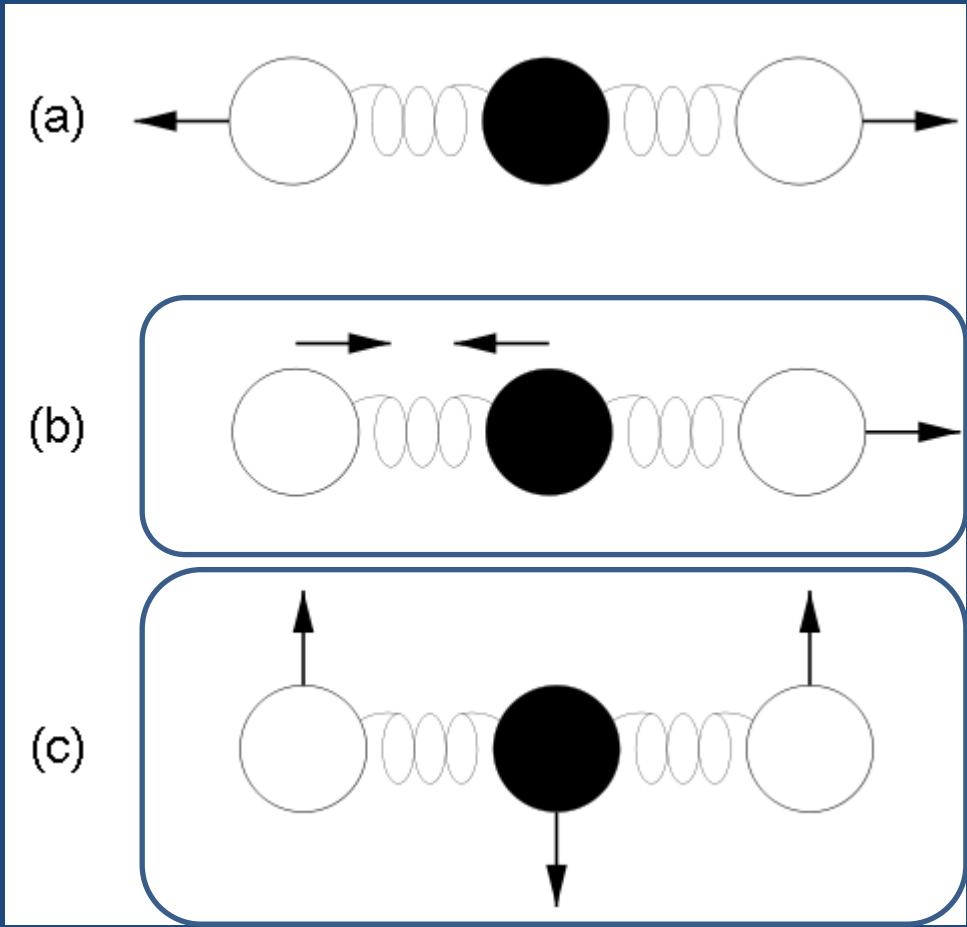
# Mas...

- Dióxido de carbono



- Pode adquirir momento de dipolo variável durante a vibração

=> Linhas de vibração-rotação

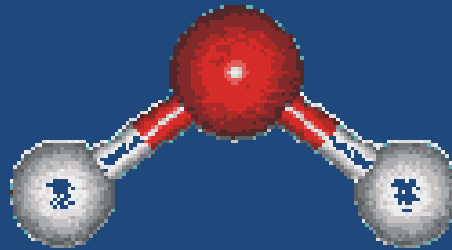


# Absorção de Radiação



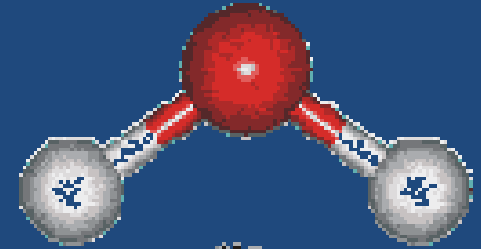
$\nu_1$

Symmetric stretching



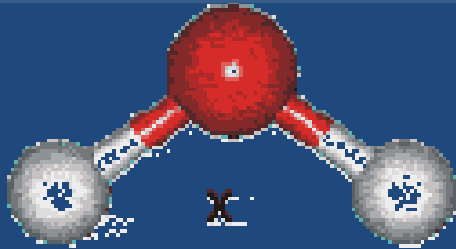
$\nu_3$

asymmetric stretching

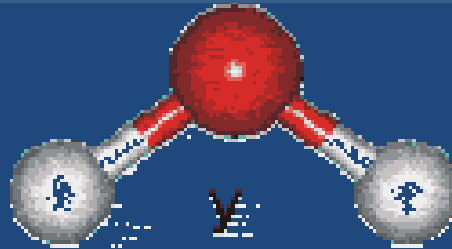


$\nu_2$

bend



$x$



$y$



$z$

librations

# Transições eletrônicas

- os eletrons passam do estado fundamental e ocupam níveis mais energéticos na eletrosfera
- Se a energia for maior =>
  - Ionização da molécula: remoção de eletrons
  - Dissociação da molécula: quebra da molécula

# Regiões espectrais

- **Rotação**: menos energia: **IV longínquo e microondas** (número de onda  $\sim 1$  a  $500 \text{ cm}^{-1}$  ou  $\lambda \sim 10^2$  a  $10^5 \text{ }\mu\text{m}$ )
- **Vibração**: energia intermediária: **IV** com comprimentos de onda mais energéticos ( $1\text{ }\mu\text{m} < \lambda < \sim 20 \text{ }\mu\text{m}$ )
- **Transições eletrônicas**: **visível e UV**
- Quanto maior a energia, pode-se ionizar ou dissociar a molécula: **UV, raio-X, raio-gama (espectro contínuo após vencer limiar de energia)**

# Exercício

- Determine a energia de um fóton com comprimento de onda igual a:
  - 1 cm (micro-ondas)
  - 20  $\mu\text{m}$  (infravermelho)
  - 500 nm (visível)

Lembrando que  $U = \frac{hc}{\lambda}$

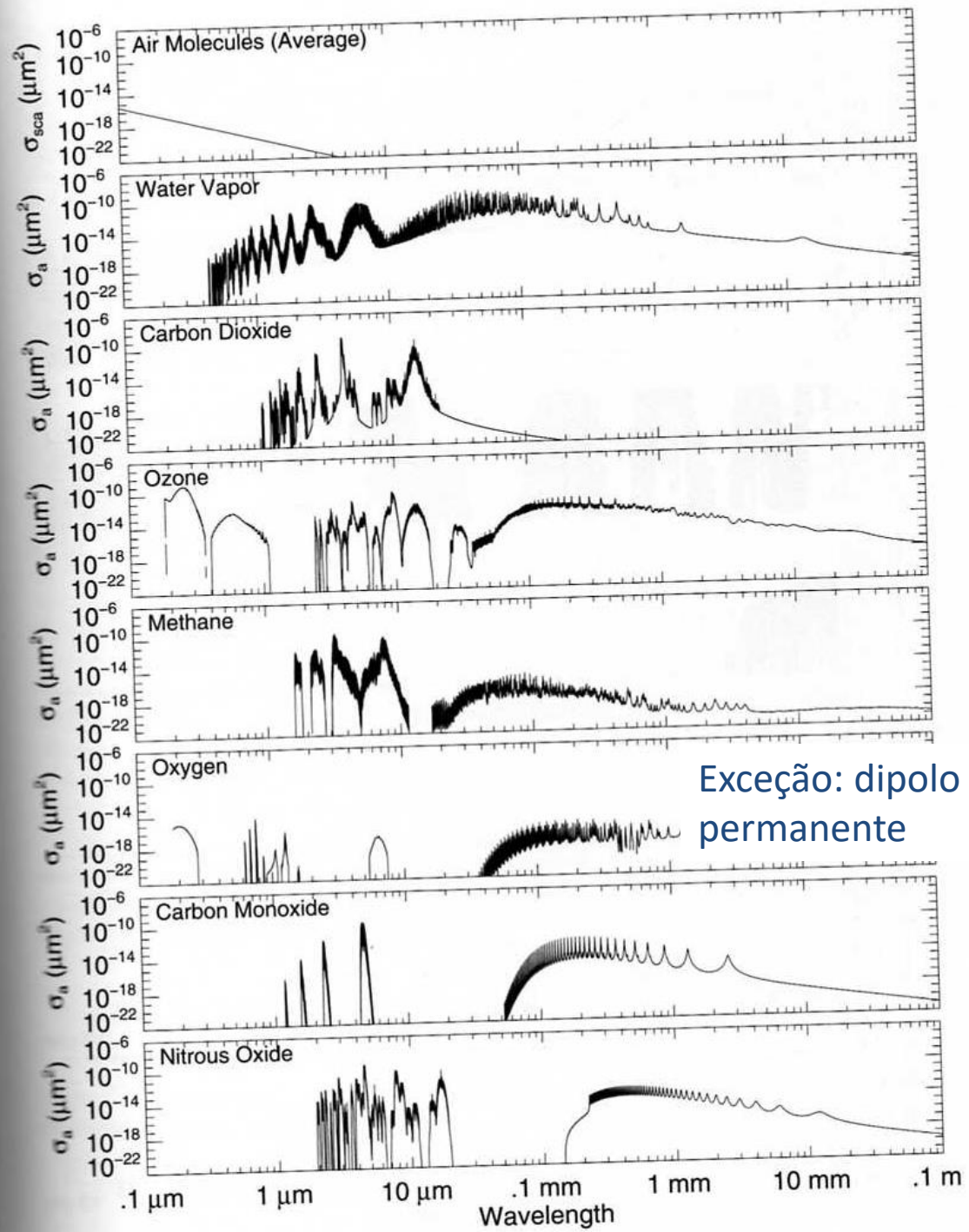
$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$  ;  $c \sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

- Temperaturas típicas da atmosfera  $T \sim 300$  K, energia cinética de translação equivalente à região espectral do IV térmico ( $200$  a  $400$   $\text{cm}^{-1}$ )

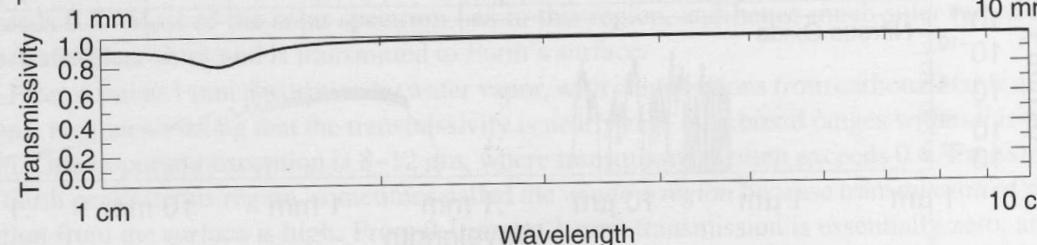
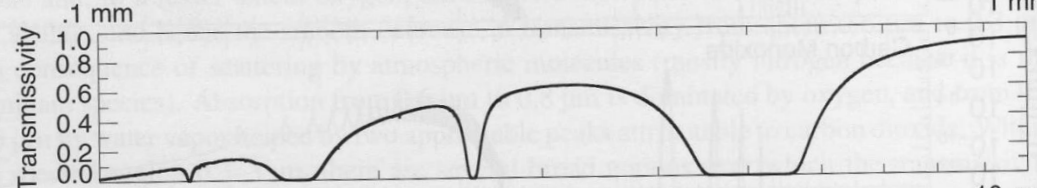
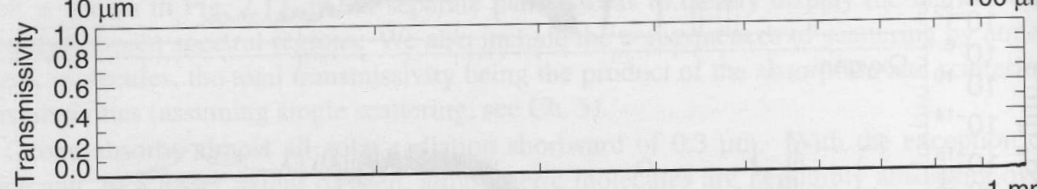
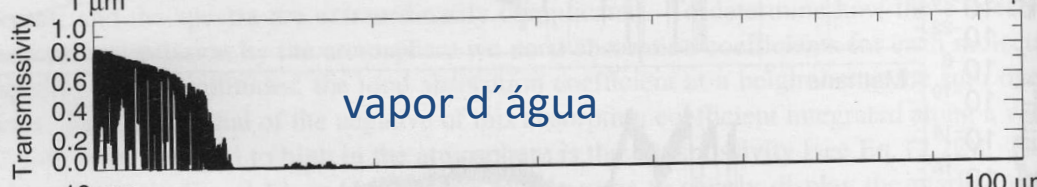
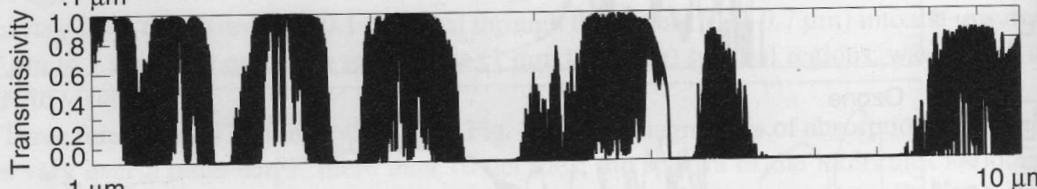
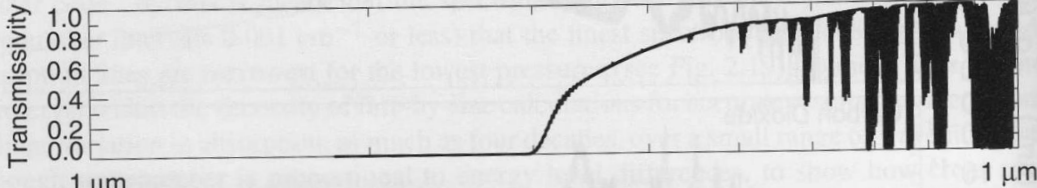
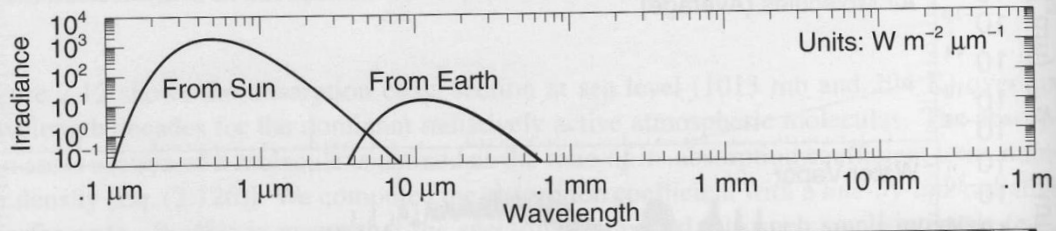
Pergunta: Se  $EC = \frac{3}{2}kT$ , qual a energia cinética de uma molécula a  $300$  K? Compare com os cálculos anteriores ( $k = 1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

- Energia de translação afeta significativamente os níveis de rotação, mas não os das transições eletrônicas





Exceção: dipolo magnético permanente

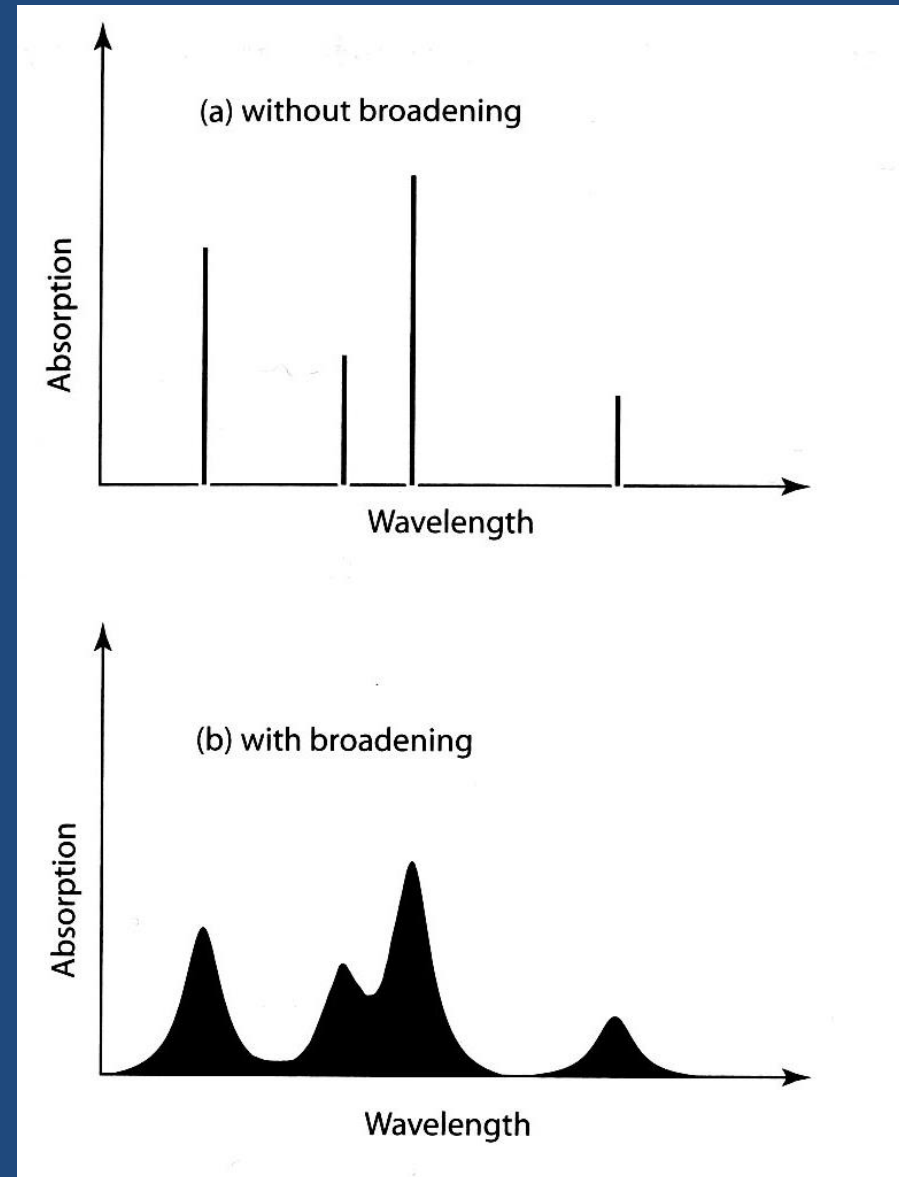


# Alargamento das linhas

- Quando se analisa o espectro de absorção gasosa, notam-se regiões com absortância não nula, ao redor das linhas previstas pela teoria quântica.
- O alargamento pode ocorrer:
  - Naturalmente (princípio da incerteza de Heisenberg);
  - Por colisão entre as moléculas (pressão);
  - Devido ao efeito Doppler.

# Alargamento das linhas

- **Alargamento Doppler:** movimento aleatório de moléculas (importante na alta atmosfera)
- **Alargamento por pressão:** colisões entre as moléculas (importante na troposfera e baixa estratosfera)
- O alargamento das linhas fecha o espaço entre as linhas de absorção, de tal forma que a atmosfera se torna opaca sobre uma região espectral contínua.



# Alargamento por colisão

- Colisão entre as moléculas devido à energia cinética de translação

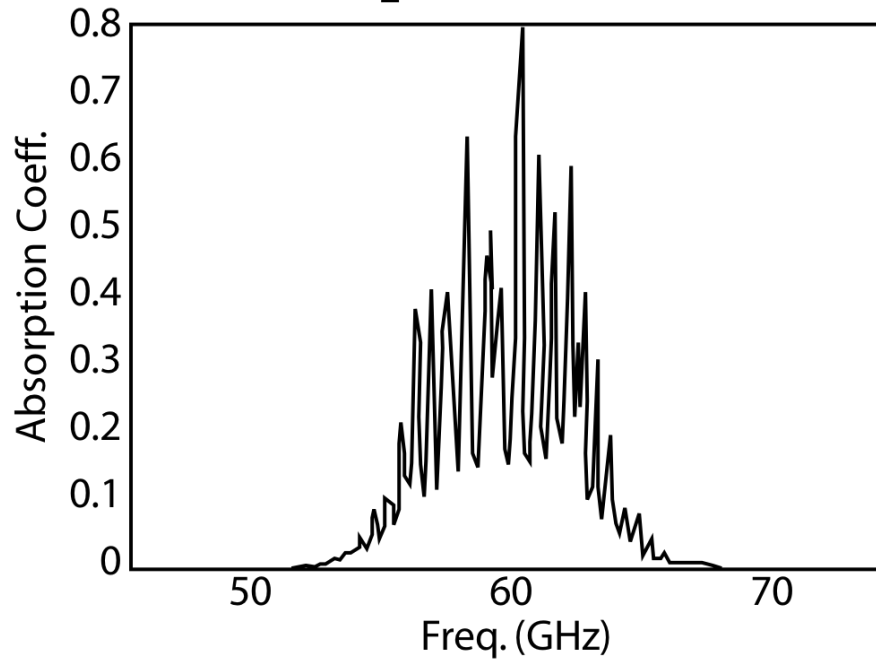
$$f_L(\tilde{V} - \tilde{V}_0) = \frac{\alpha / \pi}{(\tilde{V} - \tilde{V}_0)^2 + \alpha^2}$$

$$\alpha(P, T) = \alpha_0 \frac{P}{P_0} \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

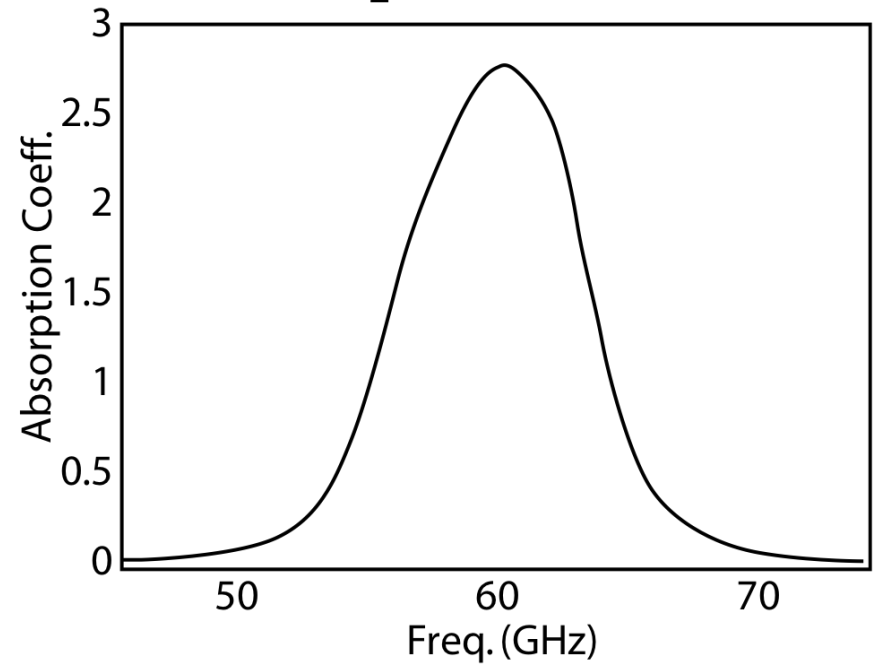
Largura à meia altura

# Alargamento por colisão ou pressão

a) O<sub>2</sub> at 100 mb pressure



b) O<sub>2</sub> at 1000 mb pressure



# Alargamento por efeito Doppler

- Velocidade térmica das moléculas

$$f_D(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_0) = \frac{1}{\alpha_D \sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_0}{\alpha_D}\right)^2\right]$$

$$\alpha_D = \frac{\tilde{\nu}_0}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

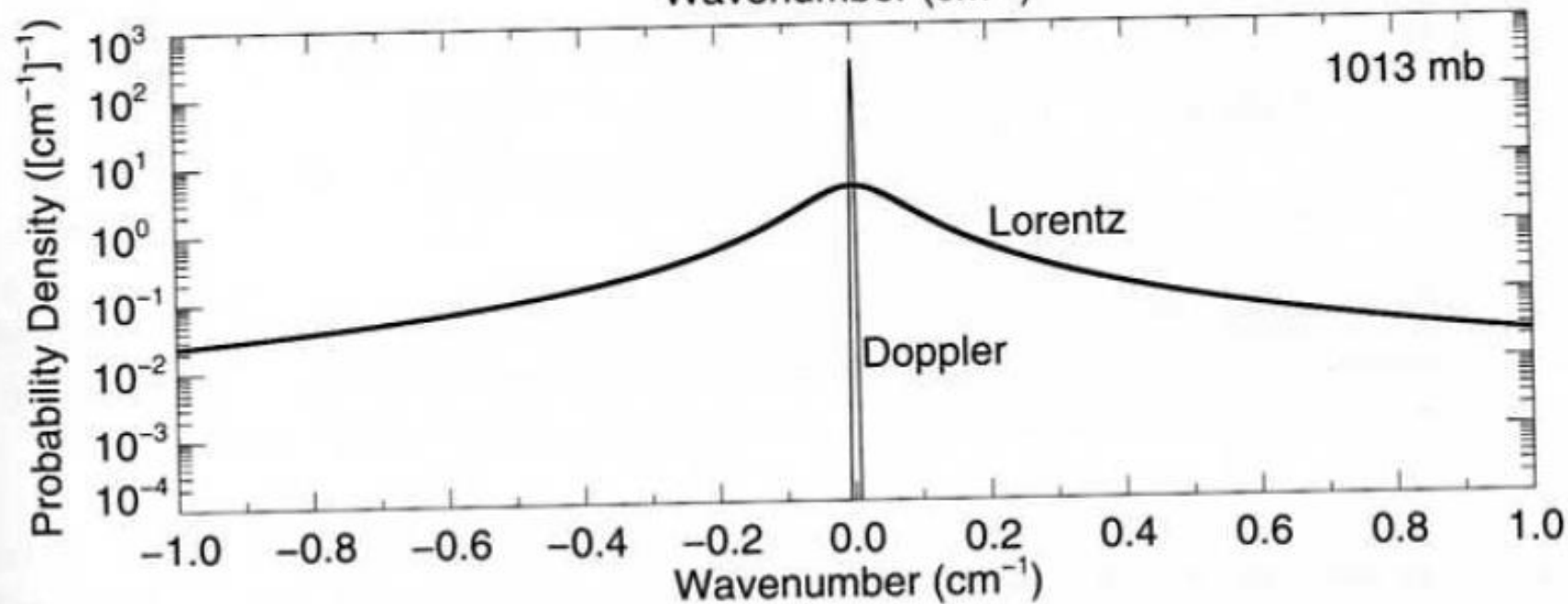
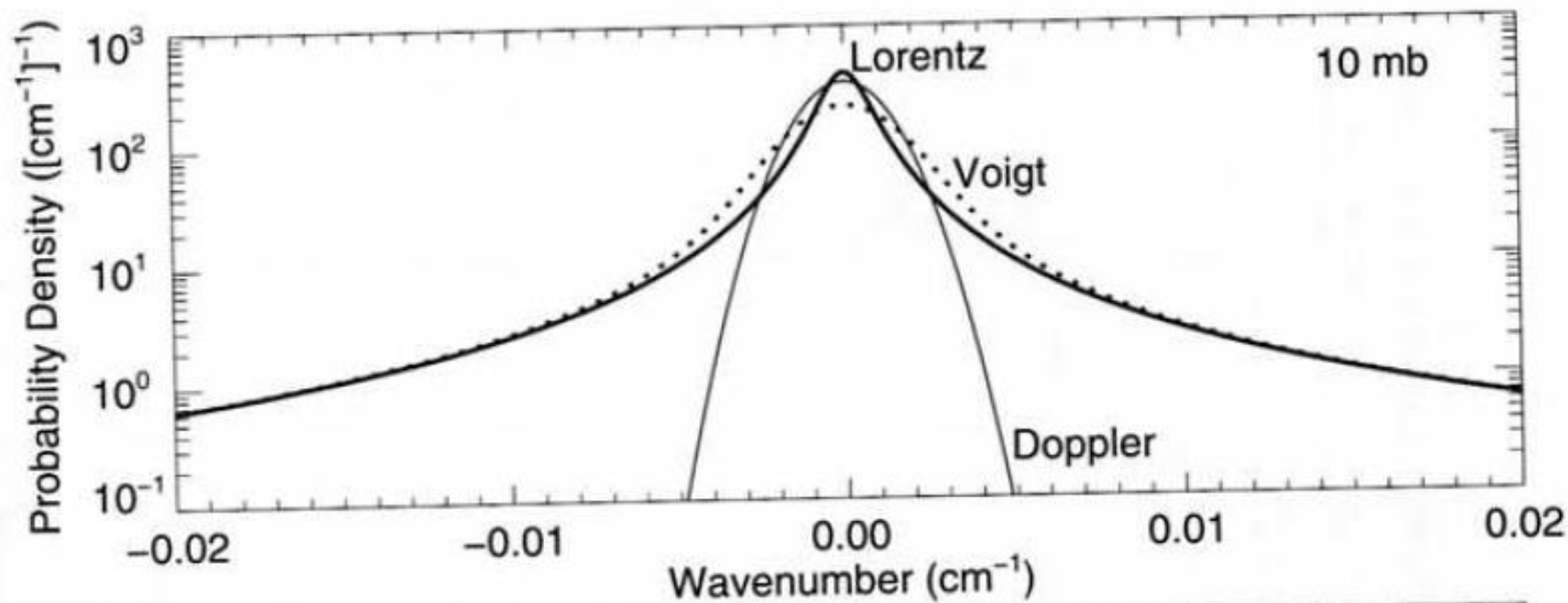
$$\nu = \nu_0 \left(1 \pm \frac{V}{c}\right)$$

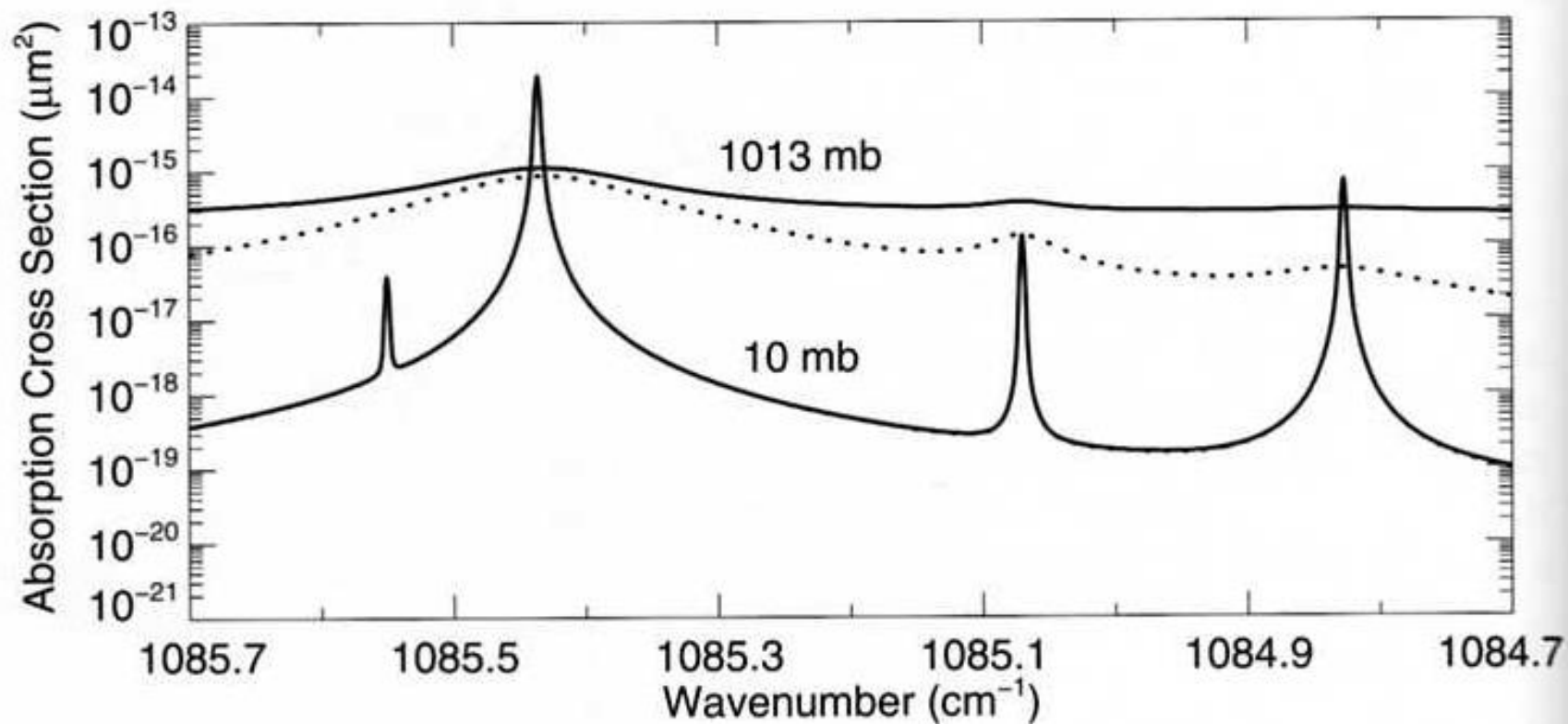
- Colisão é mais importante em baixos níveis (onde a pressão atmosférica é maior, por isso também é chamado alargamento por pressão)
- Efeito Doppler é mais importante em altas altitudes
- Combinação dos dois efeitos: perfil de Voigt



$$f_{Voigt}(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_L(\tilde{\nu}' - \tilde{\nu}_0) f_D(\tilde{\nu} - \tilde{\nu}') d\tilde{\nu}'$$
$$= \frac{\alpha}{\alpha_D \pi^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\tilde{\nu}' - \tilde{\nu}_0)^2 + \alpha} \exp\left[-\left(\frac{\tilde{\nu} - \tilde{\nu}'}{\alpha_D}\right)^2\right] d\tilde{\nu}'$$

Solução só é obtida numericamente!!!!





**Figure 2.19:** Line-by-line calculations of water vapor absorption at two pressure altitudes. The dashed curve shows a calculation from which continuum absorption is omitted. At 10 mb, omission of the continuum results in a curve indistinguishable from that shown.

# Continuum associado ao vapor d'água

- Infravermelho e microondas
- Mecanismo físico ainda não foi bem compreendido
- alargamento devido a colisões é tão significativo que o efeito da absorção ainda é importante mesmo longe das frequências centrais.
- Mesmo na janela atmosférica do infravermelho (entre 8 e 13  $\mu\text{m}$ ) foi observada atenuação de radiação
- Quanto maior a concentração do vapor d'água mais importante é esse efeito

- Aglomerados de vapor d'água (dímeros ou trímeros)

X

- Colisão entre moléculas idênticas (vapor d'água – vapor d'água): *self-broadening*
- + Colisão entre moléculas distintas (vapor d'água – N<sub>2</sub>): *foreign-broadening*

- Absorção *continuum* (ou não ressonante):
  - Fotoionização
  - fotodissociação

# Relembrando: Contínuo

- Ionização e dissociação → limiar
- Se a radiação incidente for mais energética também ionizará ou dissociará a molécula  
→ **contínuo**

- Livro sugerido para maior aprofundamento no tema:

Bohren, C. F. and Clothiaux, E. E. “Fundamentals of Atmospheric Radiation”, Wiley-VCH, 2006



# Pesquisa

- Qual o tempo de residência médio na atmosfera dos gases:
  - Metano
  - Monóxido de carbono
  - Dióxido de carbono
- Qual o ciclo desses gases na atmosfera? Destaque para as principais fontes emissoras, a concentração aproximada atualmente, e como são removidos da atmosfera.

# Próxima aula

- Espalhamento Rayleigh