

A ionosfera como uma cavidade ressonante: Ressonâncias de Schumann

Leandro Viscardi

Instituto de Física de São Carlos

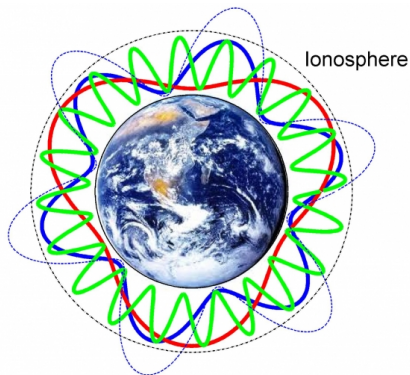
junho de 2018

- 1 Introdução e Objetivo
- 2 A Cavidade Ressonante Terra-Ionosfera
- 3 Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

- 1 Introdução e Objetivo
- 2 A Cavityde Ressonante Terra-Ionosfera
- 3 Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

Definição

- Ressonância de Schumann (RS) é um conjunto de frequências de ondas eletromagnéticas na cavidade natural formada pela superfície de um planeta e sua ionosfera, no intervalo de frequência extremamente baixo (ELF), causada pela atividade elétrica do planeta e/ou seu ambiente atmosférico.



Ressonâncias de Schumann na Terra (Imagem por NASA/Simoes).

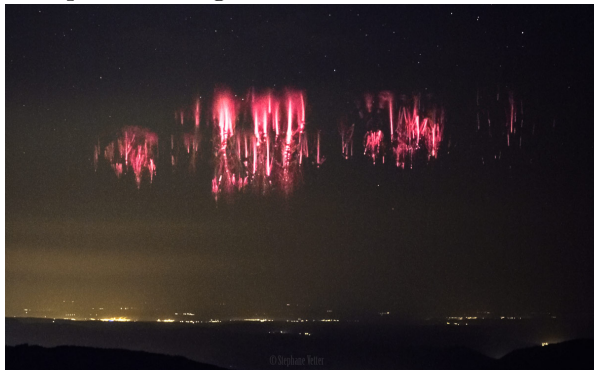
Ressonância de Schumann (Animação por NASA)

- A ressonância de Schumann foi prevista e calculada em 1952 por Winfried Otto Schumann, um professor em Technische Hochschule München, Alemanha.
- Em 1960 Balser e Wagner realizaram a primeira detecção.
- Aplicações militares direcionaram os estudos iniciais (1960s–1980s).
- O interesse por RS desapareceu após o término da Guerra Fria.
- Nos anos 1990s E. R. Williams demonstrou uma conexão das amplitudes das RS com a temperatura global.
- Em seguida, retornou o interesse por RS.

Aplicações Recentes

Atualmente algumas das aplicações mais importantes de RS são:

- Sensoriamento de tempestades.
- Ionosfera inferior na escala planetária.
- Localização de “sprites vermelhos”.
- Estudo do aquecimento global.



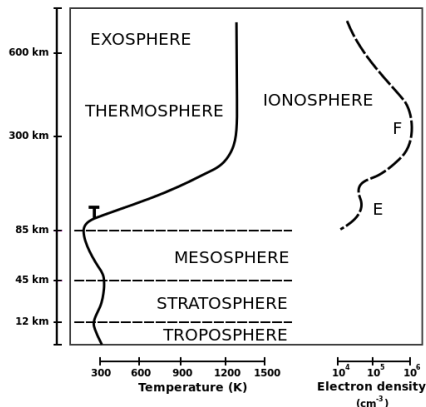
Sprites são descargas elétricas de grande escala que ocorrem acima das nuvens de tempestades, dando origem à um fenômeno ótico na mesosfera (camada da atmosfera entre 50 a 85 km de altitude).

- Descrever a estrutura da cavidade formada entre a superfície da Terra, ar e a ionosfera.
- Mostrar como as ressonâncias de Schumann podem ser usadas como um termômetro global.

- 1 Introdução e Objetivo
- 2 A Cavidade Ressonante Terra-Ionosfera
- 3 Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

Ionosfera da Terra

- A ionosfera é por definição ionizada e, portanto, um plasma.
- Preenchida por elétrons, íons e moléculas.
- Corresponde à atmosfera superior terrestre (cerca de 60 até 1000 km de altitude).

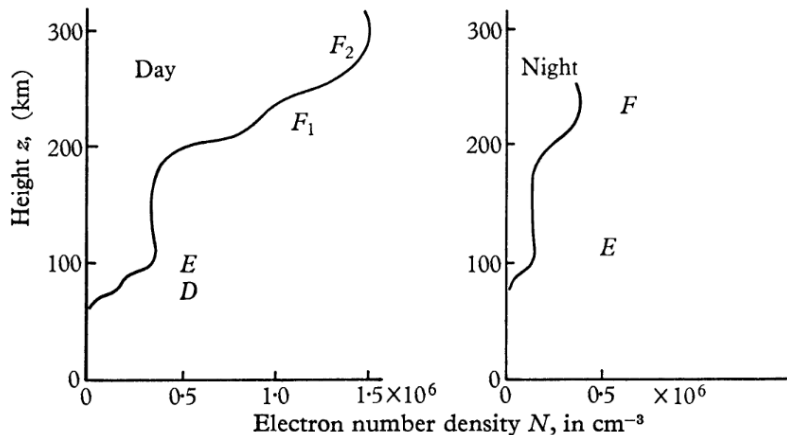


(wikipedia Ionosphere)

Ionosfera da Terra

- A ionização é devida principalmente a radiação solar ultravioleta.
- Desta forma, a ionosfera nos protege da radiação perigosa a saúde.
- A radiação solar pode variar de acordo com o horário do dia, estação do tempo e localização geográfica.
- Deste modo, a ionização da ionosfera pode variar bastante, de 3 a 4 ordens, de acordo com a atividade solar.
- O perfil de ionização da ionosfera varia de acordo com as suas camadas.

Camadas da Ionosfera



(Budden 1961)

- A camada inferior é a única em que possivelmente deve possuir contribuições de raios cósmicos na sua formação.

Cavidade Terra-Ionosfera

- A Terra pode ser considerada como uma esfera condutora.
- A massa de ar até 30 km de altitude corresponde à cerca de 99% da massa atmosférica.
- A pequena porção de ar restante ainda desempenha um papel importante em fenômenos eletromagnéticos.
- A condutividade do ar se torna perceptível em altitudes da ordem de poucas centenas de quilômetros.
- A condutividade pode aumentar até 6 ordens de magnitude na ionosfera.
- É adequado tratar a massa de ar como um dielétrico posicionado entre dois bons condutores esféricos, a Terra e a ionosfera.
- A cavidade Terra-ionosfera se comporta como uma guia de onda de esferas concêntricas.

Ressonâncias de Schumann (Calculadas)

- Em 1952 Schumann previu que ondas eletromagnéticas de determinadas frequências deveriam se propagar na cavidade Terra-ionosfera.

Para calcular as frequências ele usou um modelo simplificado da cavidade Terra-ionosfera:

- Terra e ionosfera são condutores perfeitos.
- Condutividade elétrica do ar constante.
- Campo magnético da Terra desprezível.

A regra para a frequência de ressonância derivado por Schumann é

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)},$$

onde a é o raio da Terra, c é a velocidade da luz, e n é um número inteiro. Portanto, $f_1 = 10,6$, $f_2 = 18,3$, $f_3 = 26,0$ Hz, etc.

Ressonâncias de Schumann (Medidas)

- Em 1960 Balser e Wagner detectaram pela primeira vez as RS.
- Eles analisaram o espectro de potência do ruído de rádio natural na banda de frequência de uns poucos Hz.
- As frequências de ressonância medidas foram em torno de 8, 14, 20, 26 Hz, etc.

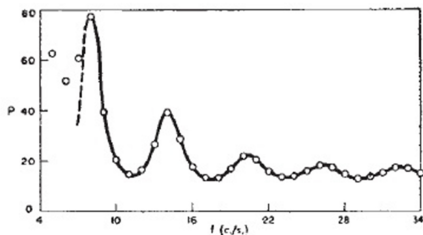
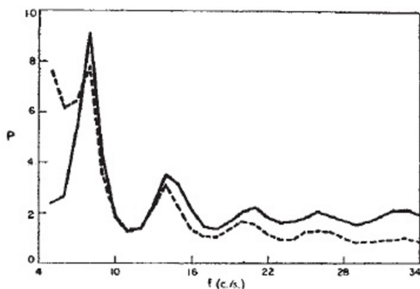


Figura esquerda: linha cheia, registro durante o dia. Linha tracejada, registro durante a noite. Figura direita: espectro composto de 10 registros diferentes de 12 minutos obtidos de diferentes partes do dia (Balser 1960).

- 1 Introdução e Objetivo
- 2 A Cavityde Ressonante Terra-Ionosfera
- 3 Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

Uma das aplicações mais surpreendente e relevante das RS é o estudo do aquecimento global.

- A variabilidade da temperatura global, baseada em séculos de registros da temperatura do ar atmosférico, equivale a vários décimos de 1°C .
- Relatórios sobre o aquecimento global reporta apenas uns poucos centésimos de 1% da temperatura absoluta.
- É valioso identificar parâmetros físicos mensuráveis que dependem não linearmente com as flutuações na temperatura atmosférica.
- Atualmente se tem evidências bem convincentes que um desses parâmetros é a ressonância de Schumann.

Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

- Williams em seu artigo de 1992, analisou dados da magnitude do campo magnético RS (8 Hz) no decorrer de cinco anos (1969-1974).
- Os dados foram obtidos em Kingston, Rhode Island (71°O,41°N).
- Williams comparou os dados de RS com as flutuações médias mensais de temperatura ΔT da massa de ar tropical.

Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global

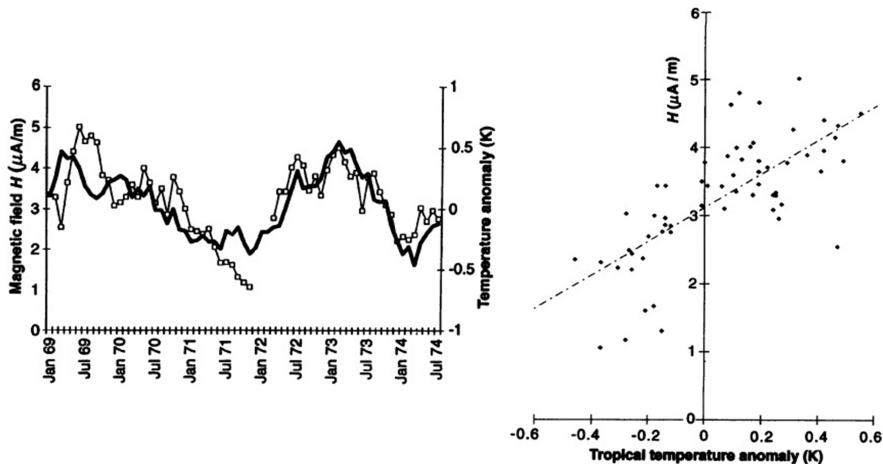


Figura esquerda: Séries temporais mensais da anomalia de temperatura da massa de ar tropical (linha cheia) e o campo magnético médio mensal para o modo fundamental (8 Hz) de RS em Kingston, Rhode Island (linha fina). Figura direita: Correlação entre a amplitude RS mensal e a anomalia de temperatura tropical mensal. Foram utilizados os mesmos dados nesses gráficos (*Williams 1992*).

Ressonâncias de Schumann e a Temperatura Global






- O coeficiente angular do ajuste linear dos dados no gráfico de correlação fornece a sensibilidade do termômetro global.
- A amplitude do campo magnético quase dobra para um aumento de 1°C na temperatura.
- As atividades globais de relâmpagos é proporcional a densidade de energia na cavidade ressonante ($\sim H^2$).
- Se espera que as atividades globais de relâmpagos quadruplicuem a cada 1°C.
- Williams também realizou medidas locais das atividades de relâmpagos em estações tropicais.
- As medidas foram consistentes com a quadruplicação das atividades de relâmpagos a cada 1°C.
- É mais uma indicação da relação entre RS e temperatura; e como consequência também mostra a conexão entre um fenômeno local e um global.

Conclusão





- O modelo de Schumann é capaz de prever as RS.
- As ressonâncias de Schumann fornecem uma integração natural das atividades globais de relâmpagos.
- As observações mostram que RS aumenta com a temperatura em uma escala tropical global.
- A associação entre RS e temperatura fornece um “termômetro” sensível tropical global.

Obrigado :)

Referências

-  Besser, B. P. “Synopsis of the historical development of Schumann resonances.” *Radio Science* 42.2 (2007).
-  Nickolaenko, Alexander, and Masashi Hayakawa. “Schumann Resonance for Tyros: Essentials of Global Electromagnetic Resonance in the Earth-Ionospheric Cavity.” *Springer Japan*. DOI 10 (2014): 978-4.
-  Williams, Earle R. “The Schumann resonance: A global tropical thermometer.” *Science* 256.5060 (1992): 1184-1187.
-  Colgate, S. A. “Space Plasma Physics: The Study of Solar-System Plasmas.” *Space Science Board (AGW Cameron, Chairman), National Academy of Sciences, Washington, DC Google Scholar* (1978).
-  Budden, Kenneth George. “The wave-guide mode theory of wave propagation.” *Logos Press* (1961).

Referências

-  Balser, M., and C. A. Wagner. “Observations of Earth-ionosphere cavity resonances.” *Nature* 188.4751 (1960): 638-641.
-  Balser, M., and C. A. Wagner. “Diurnal power variations of the Earth–ionosphere cavity modes and their relationship to worldwide thunderstorm activity.” *Journal of Geophysical Research* 67.2 (1962): 619-625.
-  “Special issue of the ‘Sanguine’ project.” *IEEE Trans Com-22*, No.4 (1974).
-  Dolezalek, Hans, Reinhold Reiter, and Helmut E. Landsberg. “Electrical processes in atmospheres.” *Proceedings of the Fifth International Conference on Atmospheric Electricity held at Garmisch-Partenkirchen (Germany)* Vol. 2. (1974).

Dados do campo H usado por Williams

- Os dados é do programa *Air Force Magnetic Test Facility*. Seu observatório é localizado em Weston, Massachusetts. Suas coordenadas geográficas são: 42° N de latitude, 71° O de longitude. Suas coordenadas magnéticas são: 53° N de latitude, 357° de longitude. A elevação é 58 metros acima do nível do mar.
- Os valores do campo magnético foram obtidos por um magnetômetro à vapor (Rubídio, césio, depende do ano).
- Os dados do programa consistem de valores médios no intervalo de 1 hora, média de 5 leituras por hora. Também é disponibilizado a média mensal (usado por Williams).



C. Polk, *Geophysics and Space Data Bulletin* [Space Physics Laboratory, Air Force Cambridge Research Laboratories, Hanscom Air Force Base, MA (1967-1974)].

Apêndice: Medidas de Relâmpagos por Williams

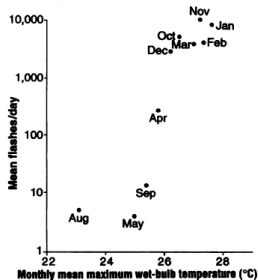


Fig. 2. Monthly lightning counts (7) for Darwin, Australia (12°S), versus monthly mean maximum wet-bulb temperature for 1988.

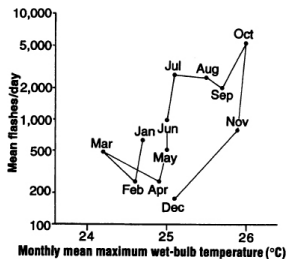


Fig. 3. Monthly lightning counts (9) for Kourou, French Guiana (5°N), versus monthly mean maximum wet-bulb temperature for 1989.

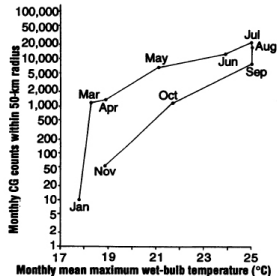


Fig. 4. Monthly lightning counts (13) for Orlando, Florida (28°N), versus monthly mean maximum wet-bulb temperature for 1989.

(Williams 1992)

Apêndice: Oscilação El Niño-Sul

- El Niño-Sul é uma variação periódica e irregular do vento e da temperatura da superfície oceânica do Oceano Pacífico oriental tropical.
- Ele afeta o clima de muitos trópicos e subtropicais.
- O fenômeno de oscilação ocorre devida as duas fases associadas com o fluxo de ar na baixa atmosfera (troposfera).
- Esse fluxo de ar é conhecido por *circulação de Walker*.

Artigo/Notas de Aula de Steven Errede