

Oceanografia por Satélites

Introdução ao uso de Satélites Oceanográficos

Paulo S. Polito, Ph.D.

polito@usp.br

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
<http://los.io.usp.br>
Laboratório de Oceanografia por Satélites

1 Radiação Eletromagnética

- Cronologia
- Ondas Eletromagnéticas
- Fótons

2 O Espectro Eletromagnético

- O Tamanho Relativo das Bandas
- Espiando pela Janela

3 Conceitos Específicos

- Unidades Radiométricas
- Medidas

Roteiro

1 Radiação Eletromagnética

- Cronologia
- Ondas Eletromagnéticas
- Fótons

2 O Espectro Eletromagnético

- O Tamanho Relativo das Bandas
- Espiando pela Janela

3 Conceitos Específicos

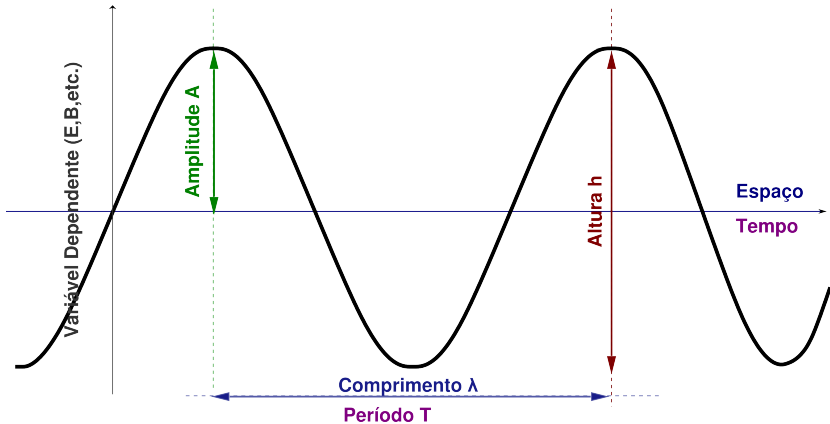
- Unidades Radiométricas
- Medidas

Um Pouco de História

- Newton 1704 - Luz é formada por um fluxo de partículas.
- Maxwell 1860 - Luz é uma onda eletromagnética.
- Einstein 1905 - Luz é composta de fótons, quanta de luz.
- Planck & Bohr 1924 - Linhas espectrais são associadas a saltos quânticos dos elétrons.

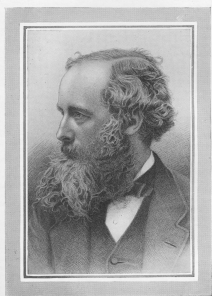
Em suma, a radiação eletromagnética pode ser descrita tanto como partículas discretas (fótons) ou como ondas. Esta é a idéia da dualidade partícula-onda.

Ondas



- Sendo λ o comprimento de onda, c a velocidade da luz e ν a frequência, $c = \lambda \nu$.
- Há portanto uma relação inversa entre λ e ν .

James Clerk Maxwell, 1860



John Clerk Maxwell

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \left(J + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

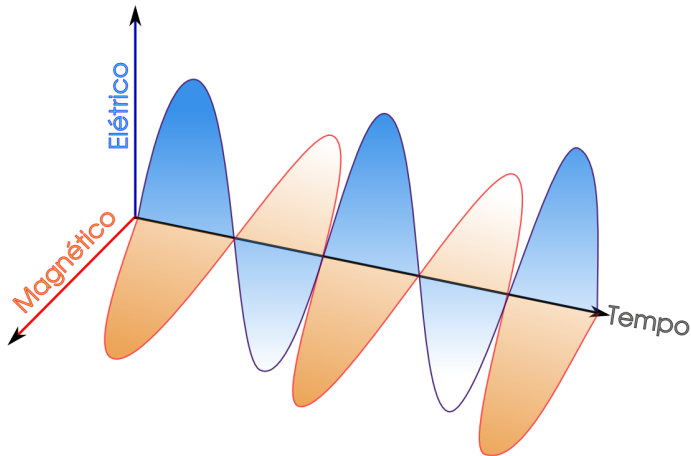
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$\vec{E}, \vec{B}$ campos elétrico (V.m^{-1}) e magnético ($\text{N.m}^{-1}.\text{A}^{-1}$);
 ϵ_0, μ_0 permissividade elétrica (F.m^{-1}) e permeabilidade magnética (N.A^{-2}) do vácuo;
 ρ, J densidade de carga (C.m^{-3}) e densidade de corrente (A.m^{-2}).

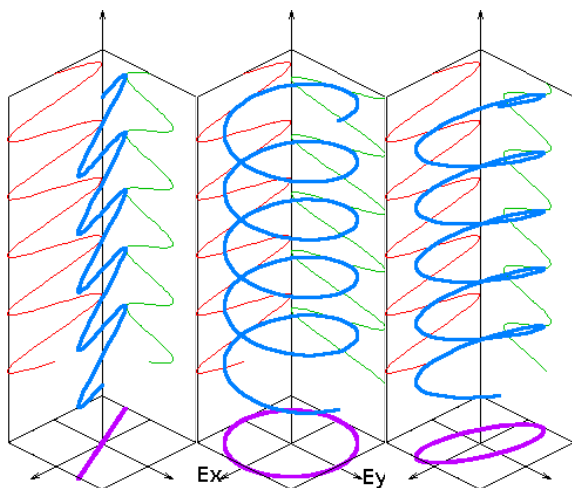
- Elas admitem uma solução ondulatória para $\vec{E}$ e $\vec{B}$.

Ondas Eletromagnéticas



- A onda eletromagnética pode ser visualizada oscilando em dois planos **ortogonais**, o elétrico e o magnético.

Polarização: Vetor Campo Elétrico em 2D



- Relação de fase $\rightarrow$ polarização: linear, circular e elíptica.
- $\neq$ polarizações são usadas nos sensores orbitais ativos.
- O campo magnético não foi desenhado.

Polarização: Vetor Campo Elétrico em 2D

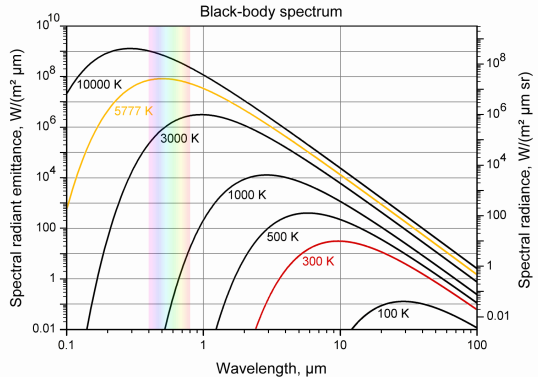
- Relação de fase $\rightarrow$ polarização: linear, circular e elíptica.
- $\neq$ polarizações são usadas nos sensores orbitais ativos.
- O campo magnético não foi desenhado.

Max Planck (1900)

Lei de Planck

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1}$$

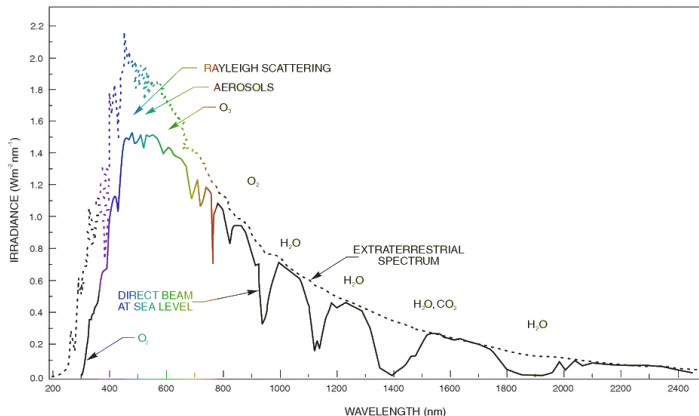
- O brilho B_{λ} de um corpo negro é função do comprimento de onda λ e da temperatura T :



- Quando integrada em todos os comprimentos de onda (ou frequências), e em todos os ângulos, o resultado é a lei de Stefan-Boltzmann.

Jozef Stefan & Ludwig Boltzmann (1879/84)

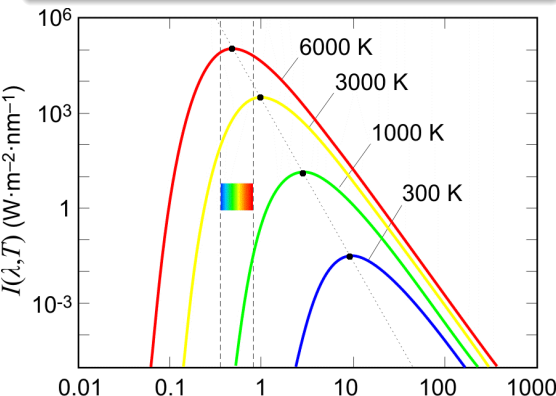
- Lei de Stefan–Boltzmann: A radiação total emitida por um **corpo negro ideal** é dada por $M_\lambda = \sigma T^4$, onde $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ é constante e T é a temperatura absoluta.



Willhelm Wien (1896)

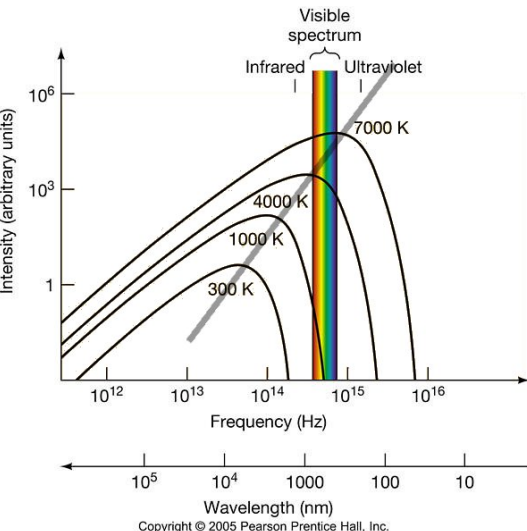
Lei do Deslocamento de Wien

$$\lambda_{max} = \frac{k}{T} \text{ onde } k = 2898 \mu\text{m.K.}$$



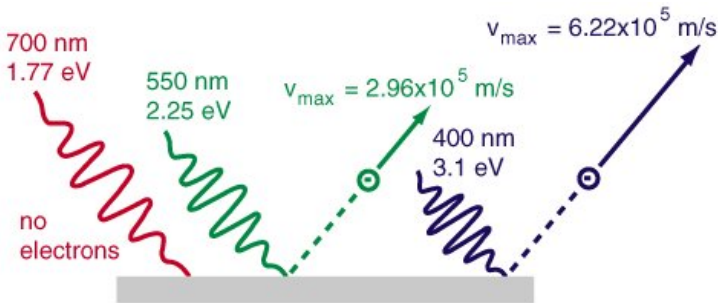
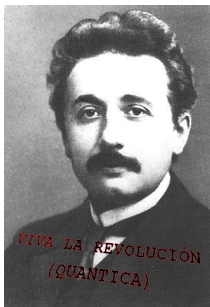
- λ_{max} é associado à Temperatura .
- Num gráfico log-log uma reta une os λ_{max} .
- Obtemos λ_{max} medindo B_λ com sensores para vários λ .
- Tendo λ_{max} podemos calcular T .

Emissão da Terra e do Sol



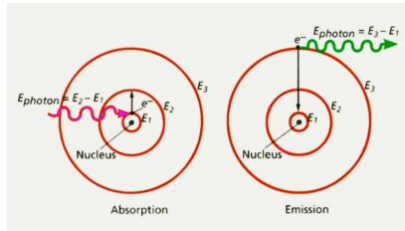
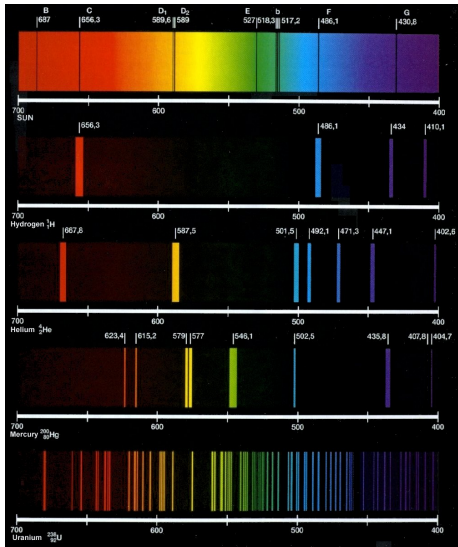
- O sol está a aproximadamente 5800K.
- O pico da emissão solar é no espectro visível.
- A Terra está em média a 300K.
- O pico de emissão da Terra é no infra-vermelho.
- O Sol emite mais energia que a Terra para todo λ .

Einstein (1905) e o Efeito Fotoelétrico



- Sendo $h=6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ a constante de Planck e ν a frequência (?!) da onda, a energia do fóton é dada por $Q = h\nu$.
- Em termos de λ e de c podemos dizer que $Q = \frac{hc}{\lambda}$.
- Quanto **mais alta a frequência mais alta a energia** do fóton.
- Quanto **menor o comprimento mais alta a energia** do fóton.

Quântica: Emissão e Absorção de Fótons



- Absorção: elétron passa para estado mais excitado.
- Emissão: elétron passa para estado menos excitado.
- Saltos quânticos $\rightsquigarrow$ linhas.
- Identificação remota de emissores.

Roteiro

1 Radiação Eletromagnética

- Cronologia
- Ondas Eletromagnéticas
- Fótons

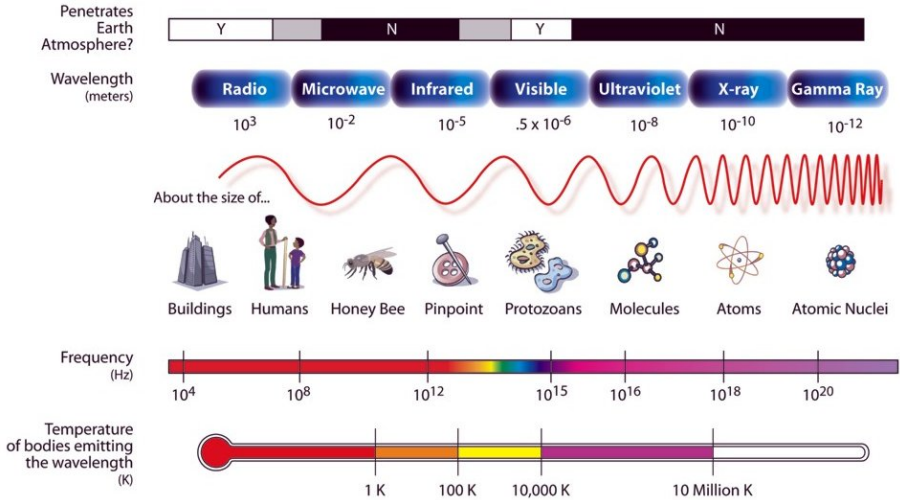
2 O Espectro Eletromagnético

- O Tamanho Relativo das Bandas
- Espiando pela Janela

3 Conceitos Específicos

- Unidades Radiométricas
- Medidas

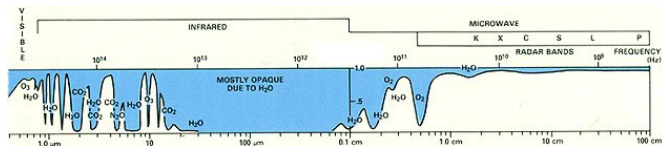
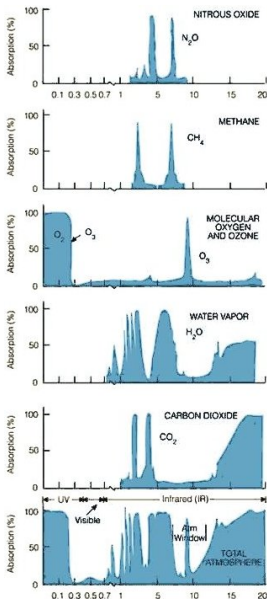
Espectro Eletromagnético



A Influência dos Gases no Espectro

- Ultra-violeta causa foto-ionização;
- Luz visível eleva o nível orbital dos elétrons;
- Infra-vermelho induz vibração nas moléculas;
- Infra-vermelho e radio (microondas) induzem rotação e vibração nas moléculas.
- Alargamento de banda.

Janelas Atmosféricas



- A combinação dos espectros de absorção da atmosfera torna a atmosfera opaca a alguns comprimentos de onda e transparente a outros.
- Os principais componentes são N₂O, CH₄, O₂, O₃, CO₂ e H₂O.
- A diferença entre a absorção na banda do visível (do Sol) e do infra-vermelho (da Terra) cria o efeito estufa.

Roteiro

1 Radiação Eletromagnética

- Cronologia
- Ondas Eletromagnéticas
- Fótons

2 O Espectro Eletromagnético

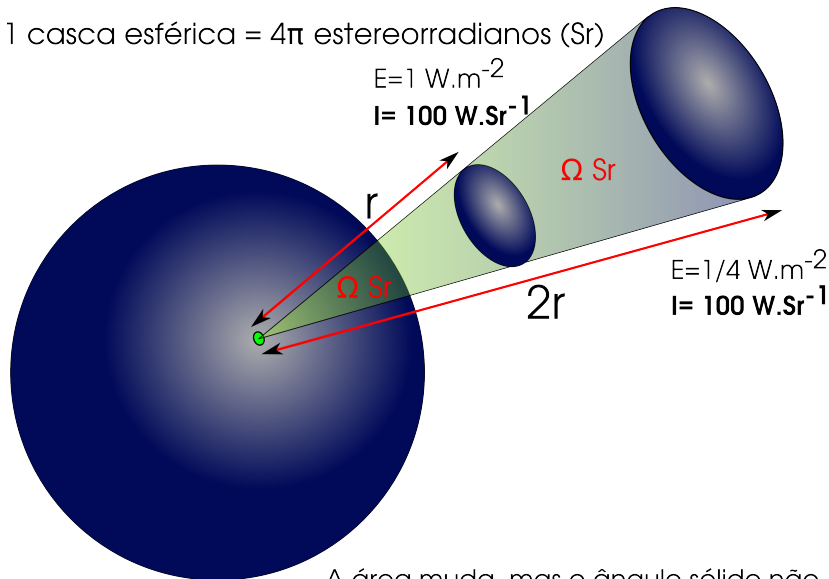
- O Tamanho Relativo das Bandas
- Espiando pela Janela

3 Conceitos Específicos

- Unidades Radiométricas
- Medidas

Ângulo Sólido

1 casca esférica = 4π estereorradianos (Sr)

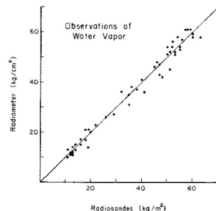
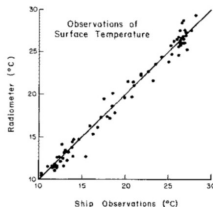
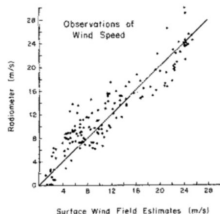


A área muda, mas o ângulo sólido não.

Entidades, Símbolos, Unidades e Definições

Energia Radiante	Q	J	Capacidade da radiação realizar trabalho
Fluxo Radiante	Φ	W	Q por unidade de tempo
Irradiância	E	Wm^{-2}	Φ incidente por unidade de área do alvo
Exitância	M	Wm^{-2}	Φ emitido por unidade de área do emissor
Intensidade Radiante	I	WSr^{-1}	Φ emitido por uma pequena fonte numa direção
Radiância ou Brilho	B, L	$Wm^{-2}Sr^{-1}$	I por unidade de área da fonte, projetada numa direção
Reflectância	ρ	-	Φ refletido/total
Transmitância	τ	-	Φ transmitido/total
Absorbância	α	-	Φ absorvido/total

Medidas Radiométricas e Geofísicas



- A associação de medidas radiométricas a geofísicas é empírica.
- **Temperatura de brilho** é a que um corpo negro deveria estar para atingir o brilho observado numa dada frequência.
- As temperaturas de brilho em vários canais são combinadas e correlacionadas a medidas *in-situ*:
- Estabelece-se assim uma **equação de calibração**.
- Este conceito aplica-se a quase todos os sensores.

Muito Obrigado!