Lâmpada
Parte 4–
Aula 9

Prof. Joel Brito
Edifício Basílio Jafet - Sala 102a
Tel. 3091-6925
jbrito@if.usp.br

http://www.fap.if.usp.br/~jbrito

Semana passada – Exp. 3

1. Circuitos de Corrente Contínua
2. Pilha e Lâmpada
3. Potência de uma lâmpada
   - Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?
4. Radiação emitida por uma lâmpada
   - Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

Semana passada – parte 1

Vamos medir $\mathbf{R_o}$. Mas como?

- Ohmímetro
  - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?

ria a resistência da lâmpada. Esse valor tampouco é compatível com o nominal, o que pode ser explicado novamente pelo aquecimento da lâmpada, afinal, o ohmímetro aplica uma tensão razoável na escala utilizada (200Ω), que é por volta de $2V$.

J06

Semana passada – parte 1

Vamos medir $\mathbf{R_o}$. Mas como?

- Ohmímetro
  - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
  - Limitar a corrente utilizando resistores elevados entre **5** e **10 kΩ**.
  - Qual a precisão desse método já que $\mathbf{V_{lâmpada}} \ll \mathbf{V_R}$?

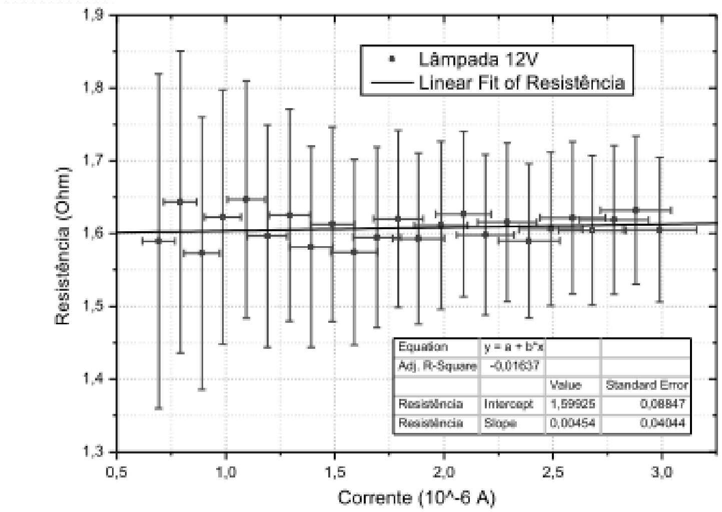


Gráfico 3: RxI para baixas correntes sem os pontos iniciais, com curva linear ajustada.

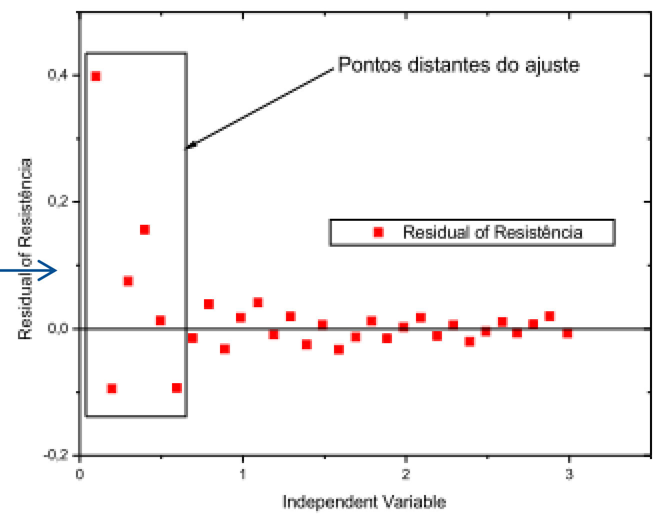


Gráfico 2: Resíduos relativos ao ajuste linear de RxI.

J09

Semana passada – parte 1

Vamos medir $\mathbf{R_o}$. Mas como?

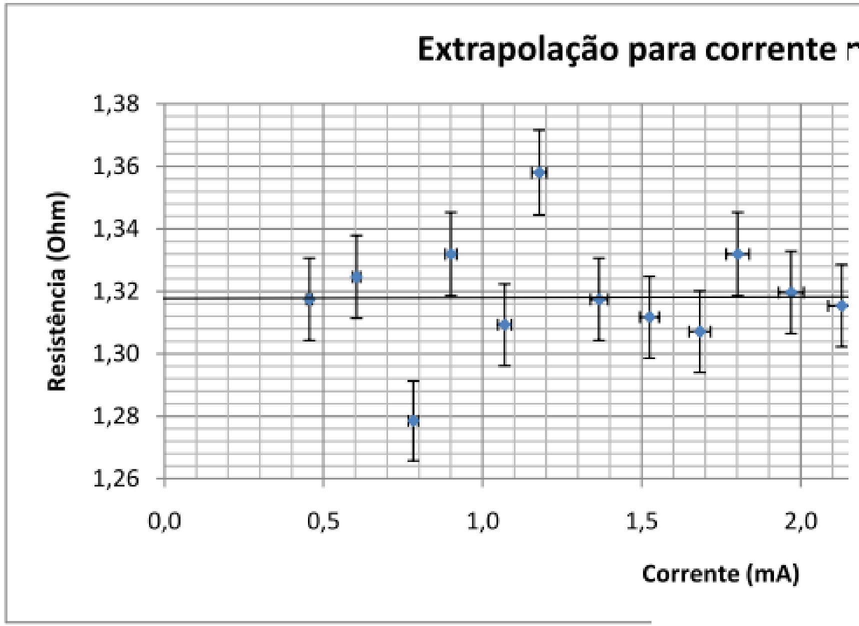
- Ohmímetro
  - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
  - Limitar a corrente utilizando resistores elevados entre **5** e **10 kΩ**.
  - Qual a precisão desse método já que $\mathbf{V_{lâmpada}} \ll \mathbf{V_R}$?
- Extrapolação da curva para correntes muito pequenas
  - Da curva característica pode-se obter **R x i** e extrapolar para **i = 0**.
  - Qual a precisão desse procedimento? Vocês já tem dados suficientes?

Semana passada – parte 1

Vamos medir $\mathbf{R_o}$. Mas como?

- Ohmímetro
  - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
  - Limitar a corrente utilizando resistores elevados entre **5** e **10 kΩ**.
  - Qual a precisão desse método já que $\mathbf{V_{lâmpada}} \ll \mathbf{V_R}$?
- Extrapolação da curva para correntes muito pequenas
  - Da curva característica pode-se obter **R x i** e extrapolar para **i = 0**.
  - Qual a precisão desse procedimento? Vocês já tem dados suficientes?

Semana passada – parte 1



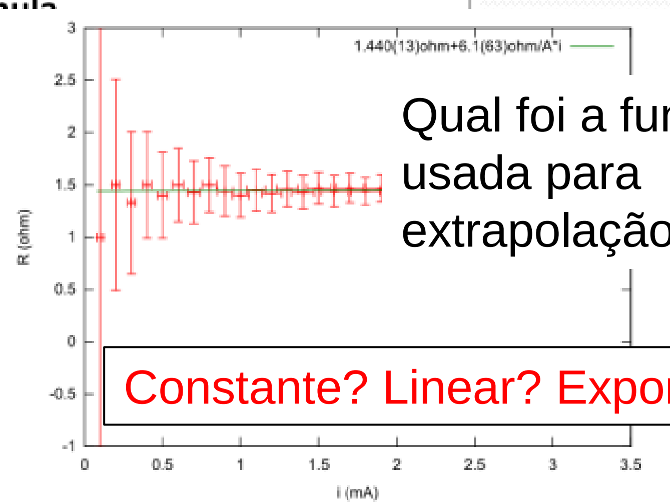
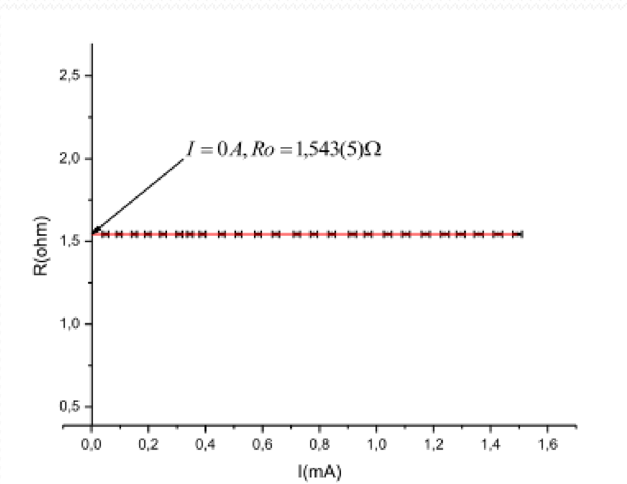
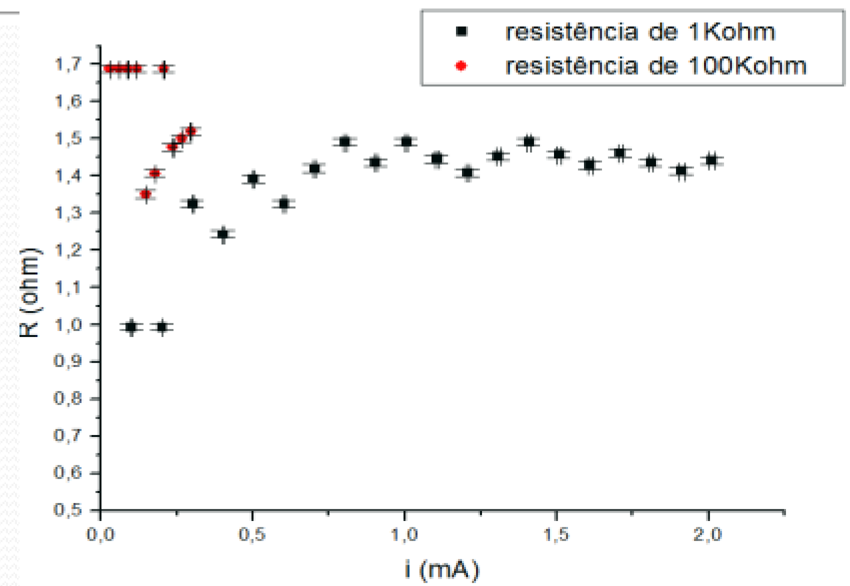


Figura 1: Gráfico Rxi.

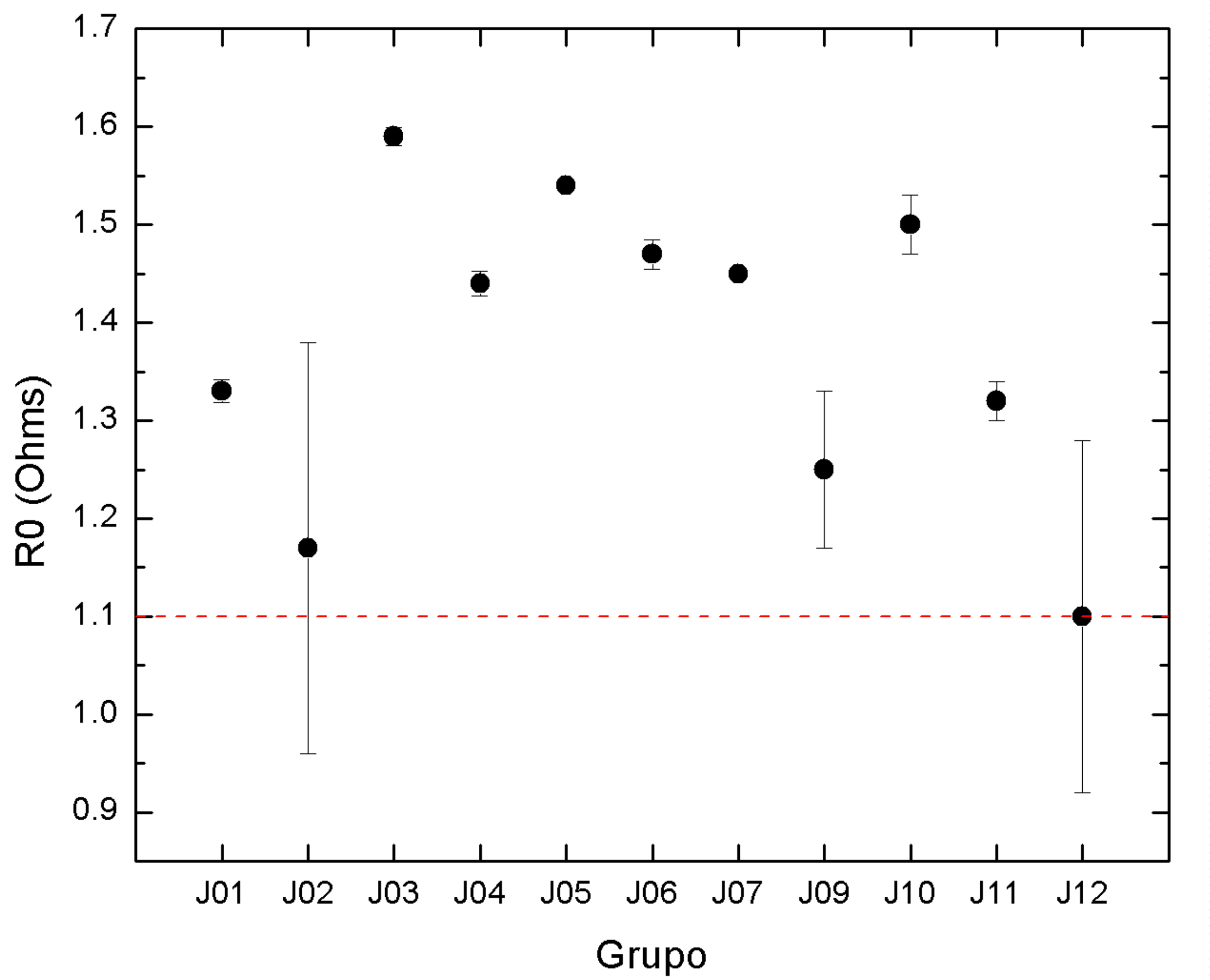
Qual foi a função usada para extrapolação?

Constante? Linear? Exponencial?





Semana passada – parte 1 – R0



$\overline{R0} = 1.34$

Semana passada – parte 2

- Usando os dados da semana passada e uma função apropriada, faça 2 gráficos: da potência (**V*i**) em função da temperatura, **T**, (calculada pelo $\mathbf{R_o}$) e outro da potência em função de $(\mathbf{T}\text{-}\mathbf{T_o})$

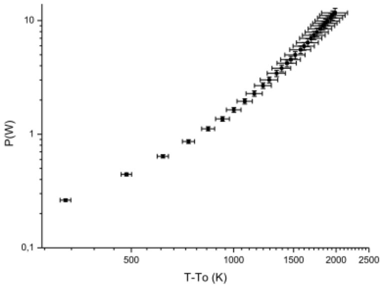


Figura 3: Gráfico dilog da potência pela diferença da temperatura no filamento e a temperatura ambiente.

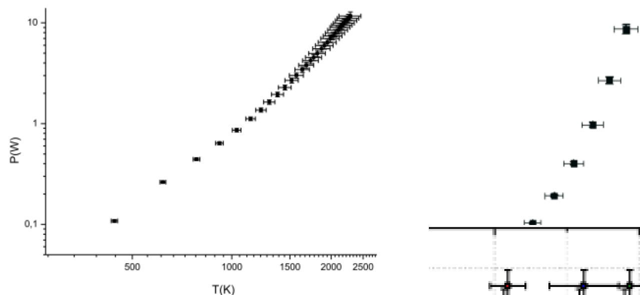
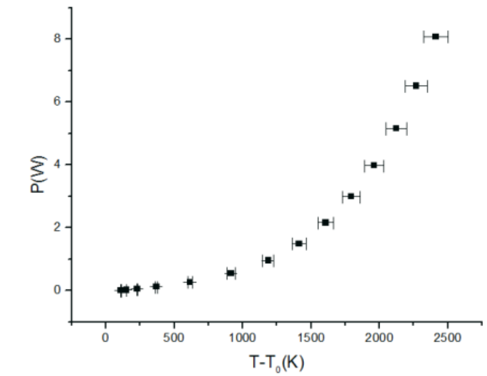


Figura 4: Gráfico dilog da potência pela temperatura no filamento.



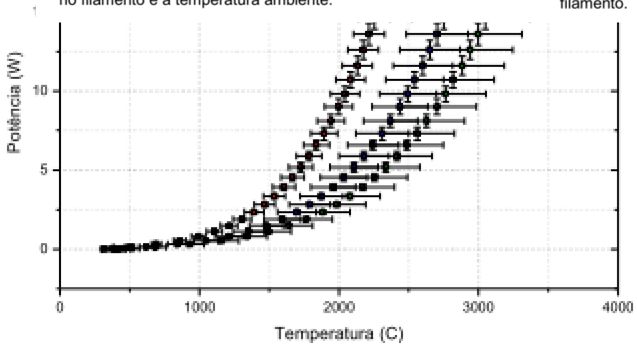


Gráfico 5: PxT para diversos R_0 considerados.

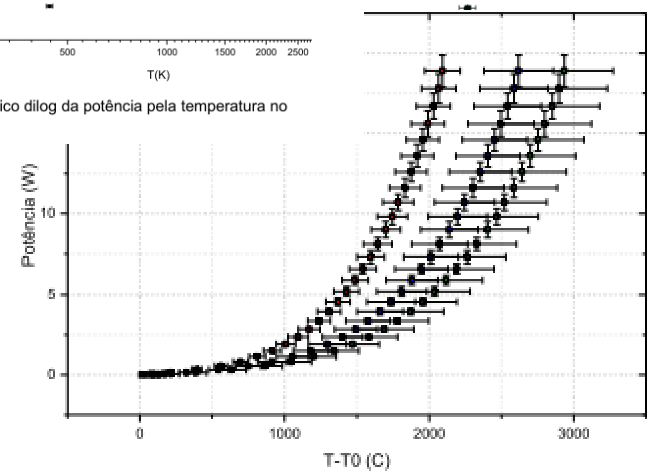
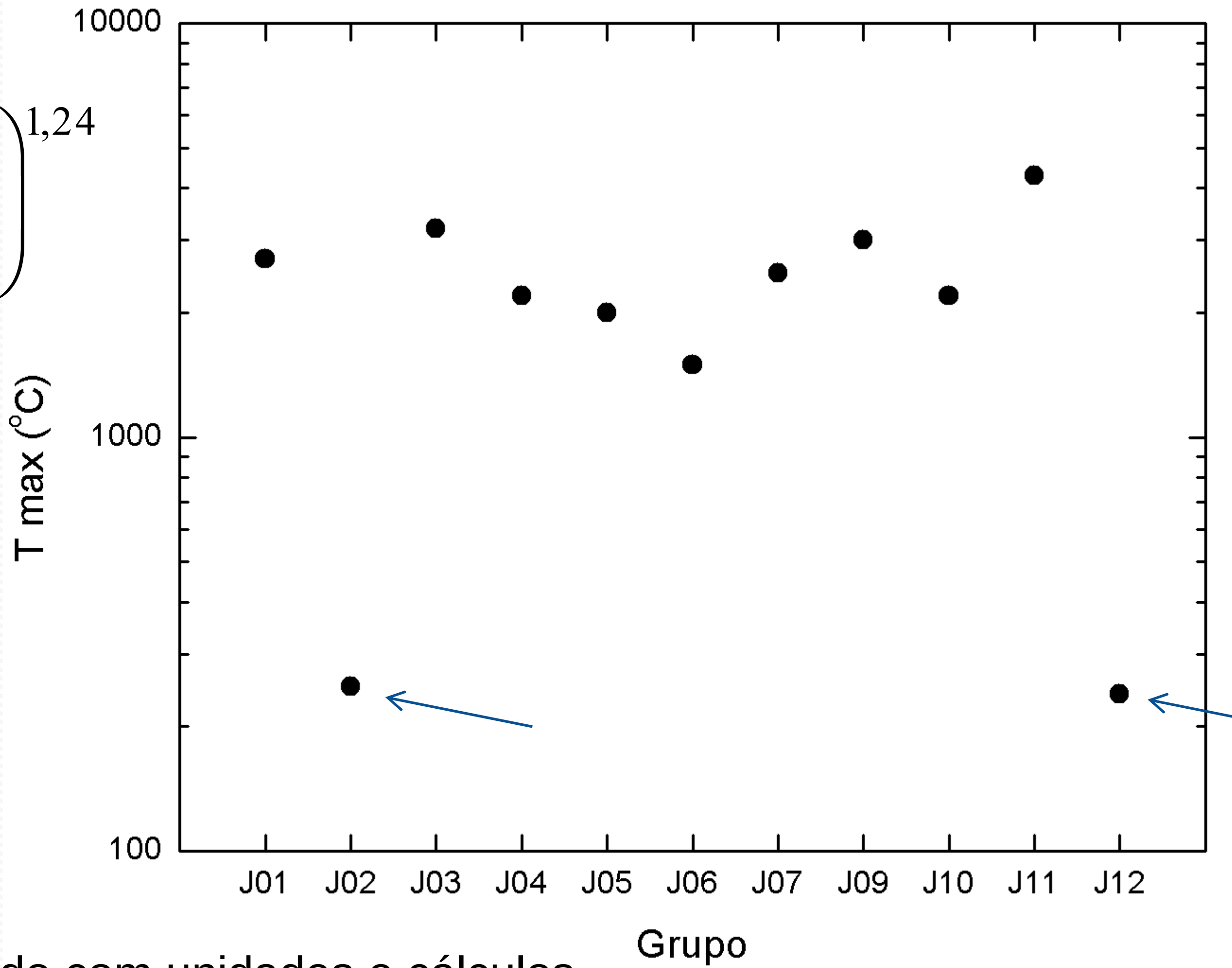


Gráfico 6: $Px(T\text{-}T_0)$ para diversos R_0 considerados.

Semana passada – parte 2

Cálculo de temperatura no filamento

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,24}$$



Muito cuidado com unidades e cálculos.

Semana passada – parte 2

- Usando os dados da semana passada e uma função apropriada, faça 2 gráficos: da potência (**V*i**) em função da temperatura, **T**, (calculada pelo $\mathbf{R_o}$) e outro da potência em função de $(\mathbf{T-T_o})$
- Analise as 2 curvas e veja se é possível identificar as regiões onde predomina a convecção e onde predomina a irradiação
  - Qual é o valor do coeficiente angular?
  - Lembre-se da conservação de energia e das diferentes maneiras da lâmpada dissipar a energia recebida

Semana passada – parte 2

- Usando os dados da semana passada e uma função apropriada, faça 2 gráficos: da potência (**V*i**) em função da temperatura, **T**, (calculada pelo $\mathbf{R_o}$) e outro da potência em função de ($\mathbf{T-T_o}$)
- Analise as 2 curvas e veja se é possível identificar as regiões onde predomina a convecção e onde predomina a irradiação
  - Qual é o valor do coeficiente angular?
  - Lembre-se da conservação de energia e das diferentes maneiras da lâmpada dissipar a energia recebida

Semana passada – parte 2

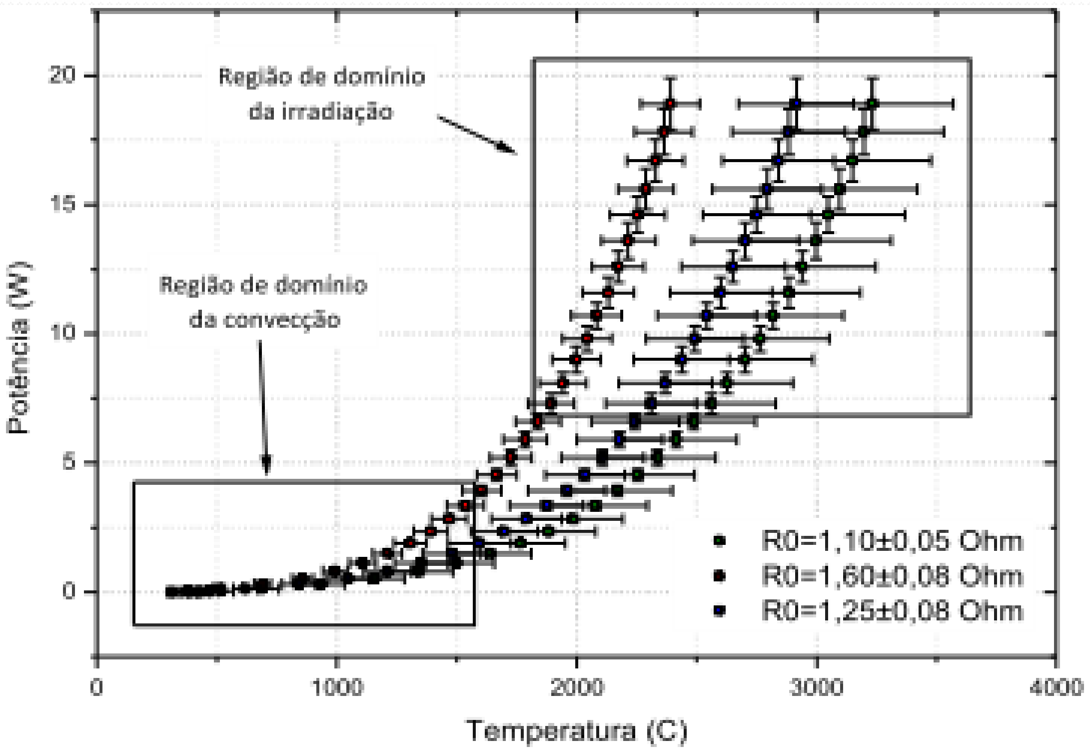


Gráfico 7: PxT e regiões de predomínio da convecção e irradiação.

J09

Checar pela variação da inclinação

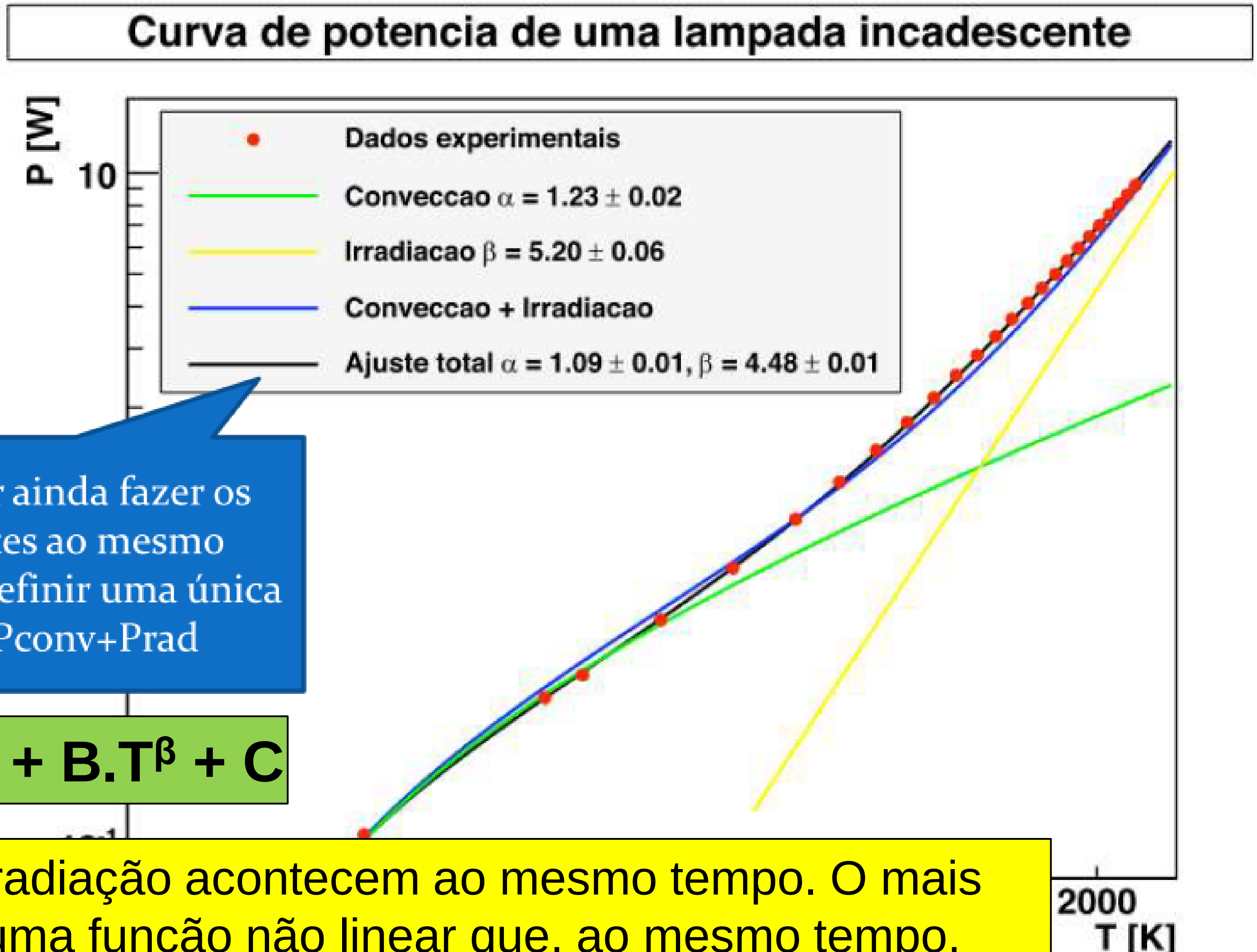
Semana passada – parte 3

- Usando os dados da medida de **P** e **T**, ajuste a função esperada:

$$\mathbf{P_{total} = A.\Delta T^{\alpha} + B.T^{\beta} + C}$$

- Compare o coeficiente **α** obtido com valores da literatura, como **1.38** medido por B.S.N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Compare o coeficiente **β** obtido com o valor teórico esperado pela lei de Stefan-Boltzmann.
- Comente os resultados, principalmente se os coeficientes não derem compatíveis com os valores esperados.
  - Esquecemos algo que pode influenciar o resultado?

Semana passada – parte 3



Era melhor ainda fazer os dois ajustes ao mesmo tempo, i.e, definir uma única função Pconv+Prad

$$P_{total} = A.\Delta T^{\alpha} + B.T^{\beta} + C$$

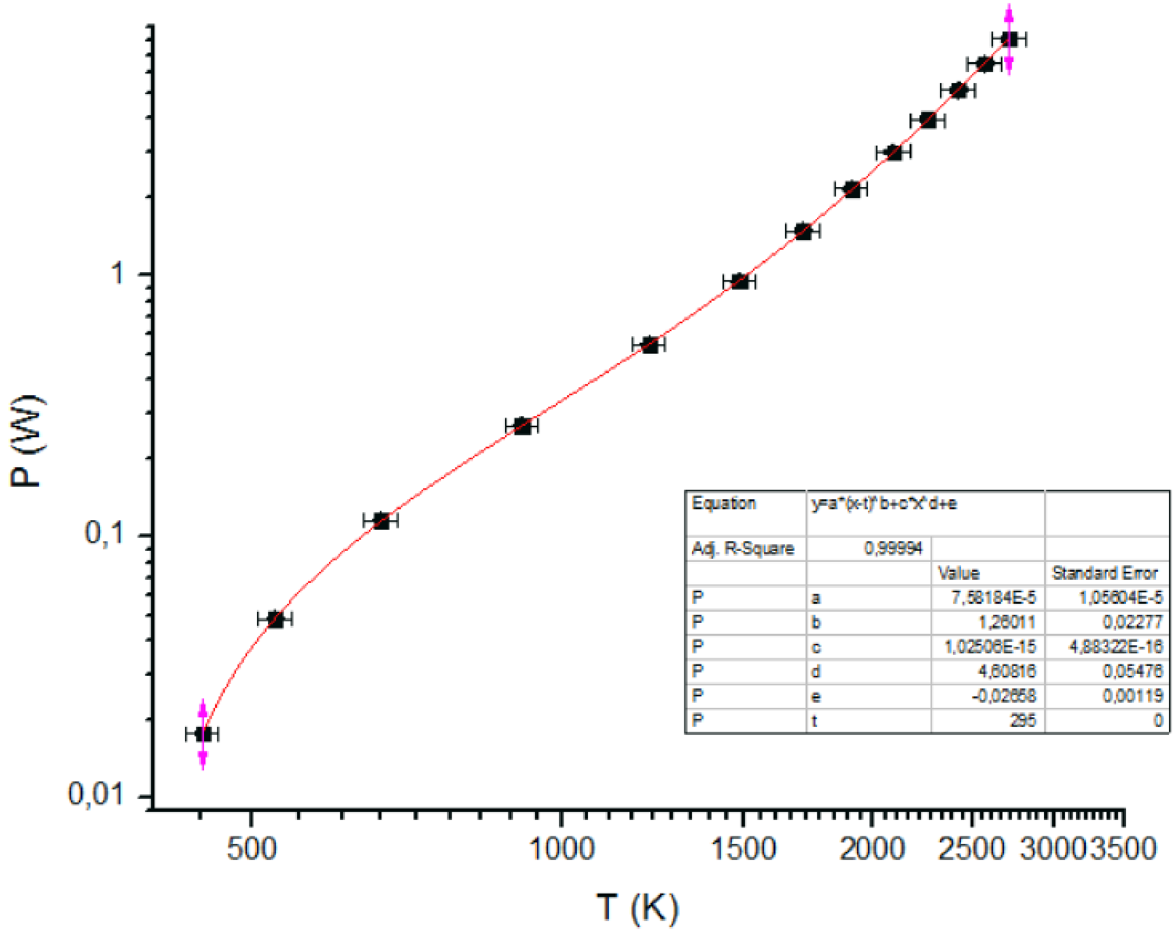
A convecção e a radiação acontecem ao mesmo tempo. O mais correto é ajustar uma função não linear que, ao mesmo tempo, represente os dois fenômenos.

Semana passada – parte 3

Desprezando os efeitos de convecção, podemos relacionar a temperatura do filamento com a potência da lâmpada através da relação:

$$P = A \cdot \Delta T^{\alpha} + B \cdot T^{\beta} + C$$

Podemos, então, tentar ajustar os dados obtidos (e indicados na figura 2(a)), à uma equção como a anterior, utilizando o origin. Fazendo isso obtemos:



Equation	y=a*(x-t)^b+c*X^d+e		
Adj. R-Square	0,99994		
		Value	Standard Error
P	a	7,58184E-5	1,05604E-5
P	b	1,28011	0,02277
P	c	1,02506E-15	4,88322E-16
P	d	4,60816	0,05476
P	e	-0,02658	0,00119
P	t	295	0

J07

Semana passada – parte 3

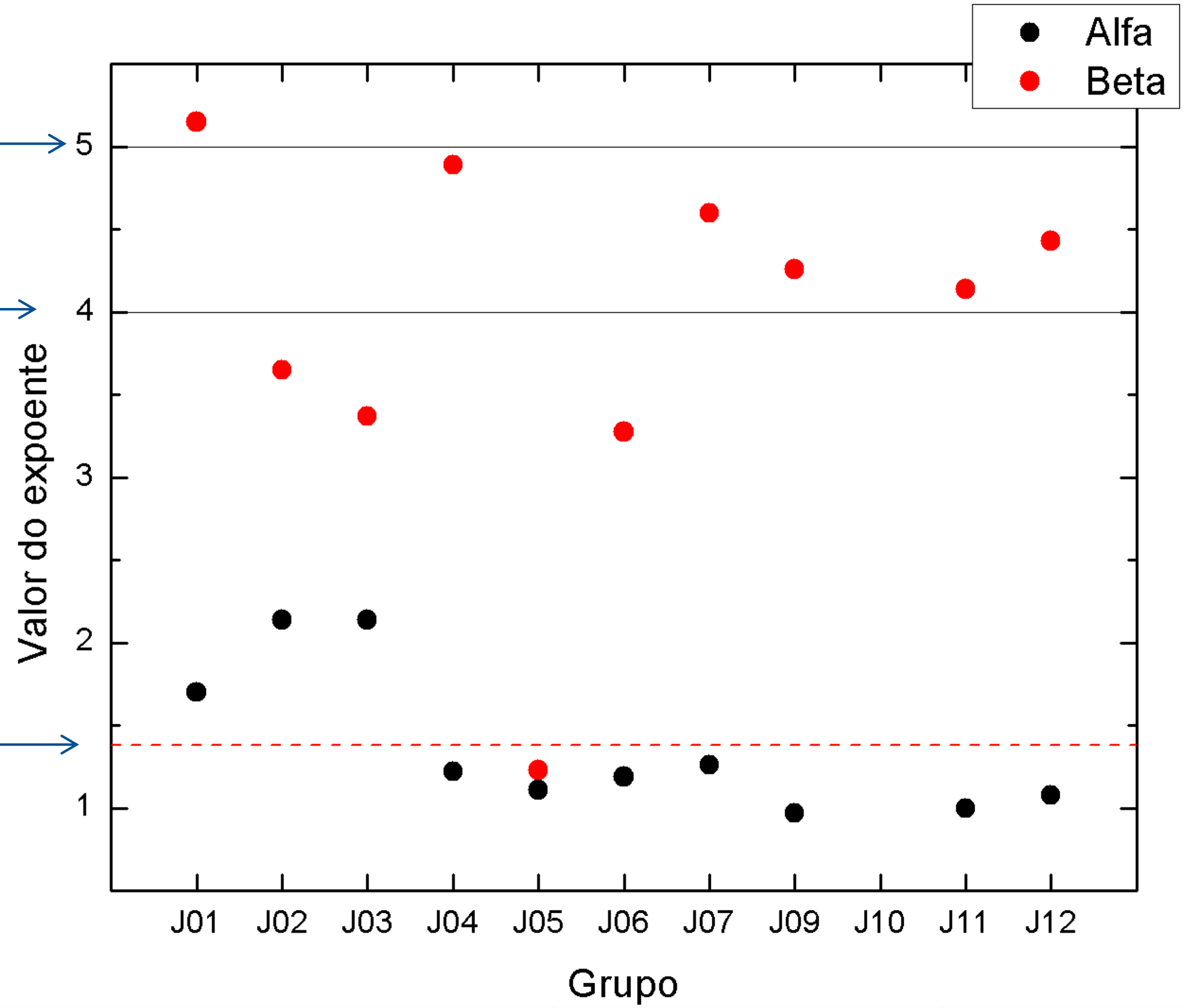
E beta = 5?

Discussão: o que significa beta = 4?

$$P_{rad}^{Emitida} = S\varepsilon\sigma T^4$$

$$P_{rad}^{Emitida} \propto T^{\beta}$$

Literatura



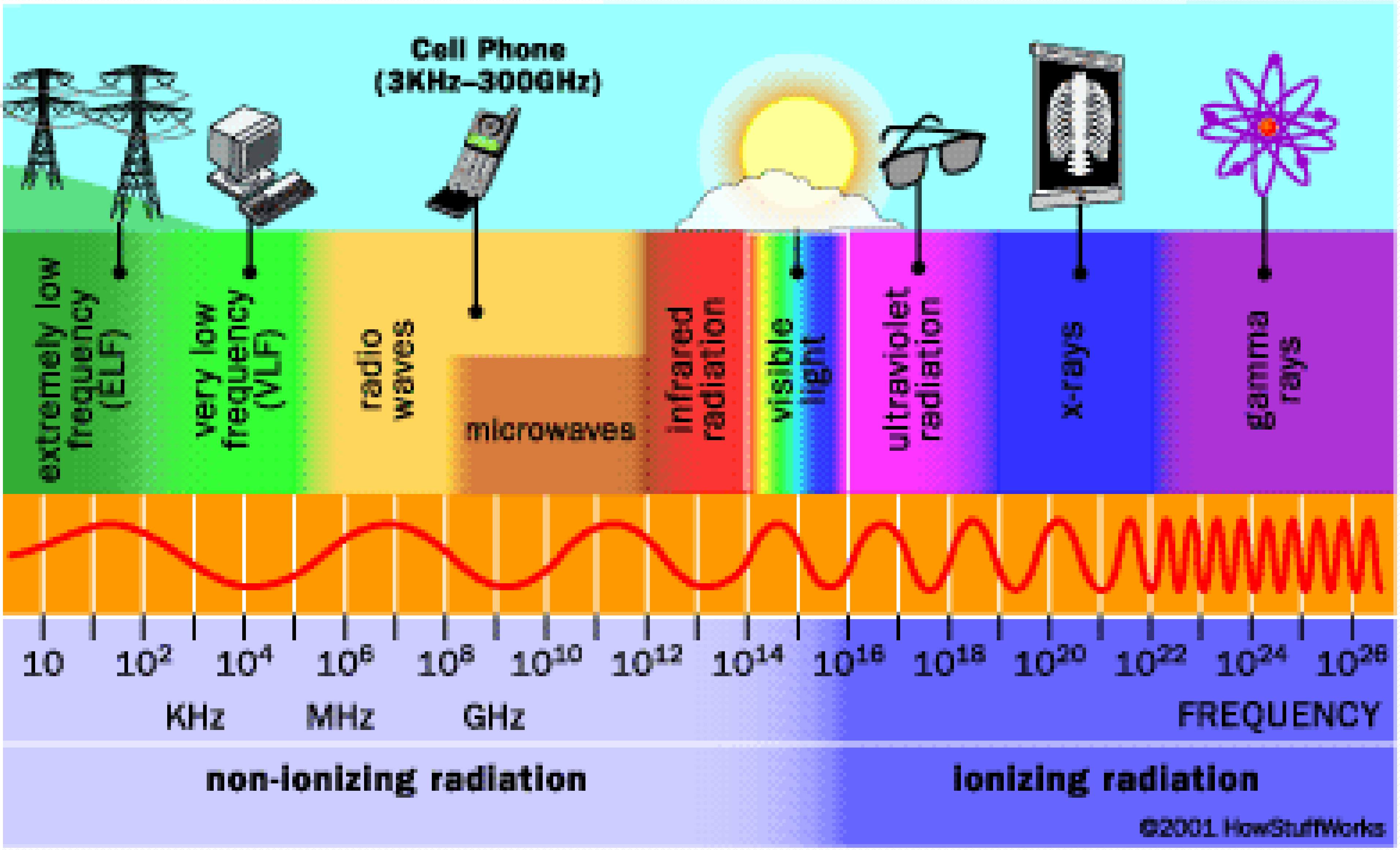
Experiência 2: Lâmpada

Queremos entender como uma lâmpada incandescente funciona. Para isso teremos 4 semanas:

1. Circuitos de Corrente Contínua
   - Como medir grandezas elétricas?
   - Os instrumentos de medida influenciam no resultado de uma medida? Como escolher o instrumento certo?
2. Pilha e Lâmpada
   - Como varia a tensão de uma pilha ou em uma lâmpada em função da corrente?
3. Potência de uma lâmpada
   - Como varia a potência da lâmpada em função da temperatura do filamento?
4. Radiação emitida por uma lâmpada
   - Como varia a radiação emitida pela lâmpada em função do comprimento de onda da luz?

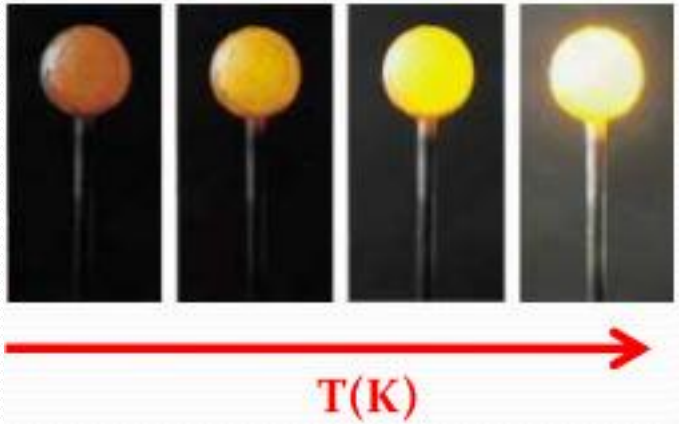
- Luz é uma parte do espectro eletromagnético a qual o nosso olho é sensível
- Os objetos são visíveis ao olho humano porque:
  - Refletem a luz incidente
  - Emitem luz
- Nas temperaturas em que vivemos a maioria dos objetos são visíveis pela luz que refletem
- Em temperaturas suficientemente altas eles passam a ter luz própria

Espectro Eletromagnético



Radiação Térmica

- O objeto aquecido a uma temperatura relativamente baixa: irradia calor (Infra Ver.) que não é visível para nós
- Aumentando a temperatura a quantidade de radiação emitida aumenta rapidamente e se nota que a cor da luz emitida também muda
- Na verdade um objeto aquecido emite e absorve radiação térmica de todas as freqüências, mas com o aumento da temperatura mais radiação é emitida e a freqüência da radiação mais intensa aumenta



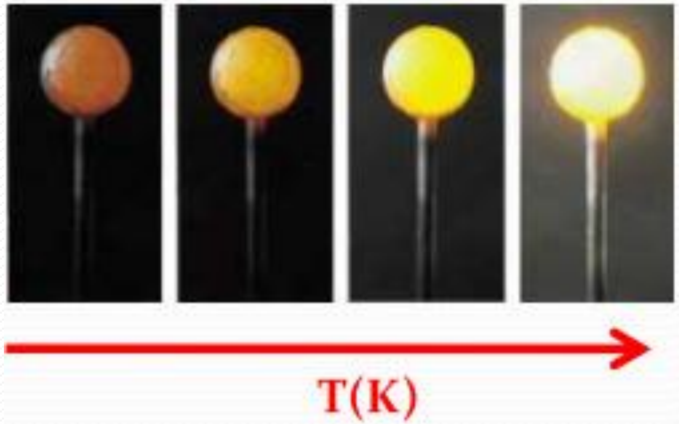
A lei de Stefan-Boltzman

- Em 1879 J. Stefan verificou empiricamente que a potência emitida na forma de radiação por um objeto era proporcional à quarta potência de sua temperatura:

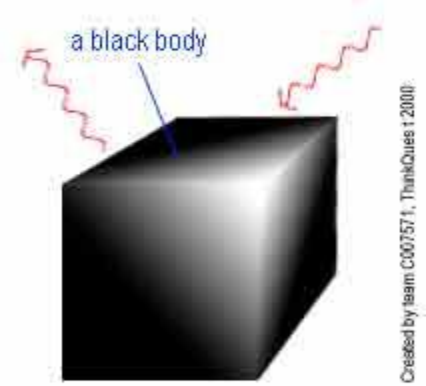
$$P_{rad} \propto T^4$$

  - **P_{rad}** é a energia emitida por unidade de tempo, por unidade de área de um corpo a uma temperatura **T**.
- Em 1884 Boltzmann demonstrou essa lei teoricamente para o caso de um corpo negro.
  - Constante de Stefan-Boltzmann:

    $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2 K^4



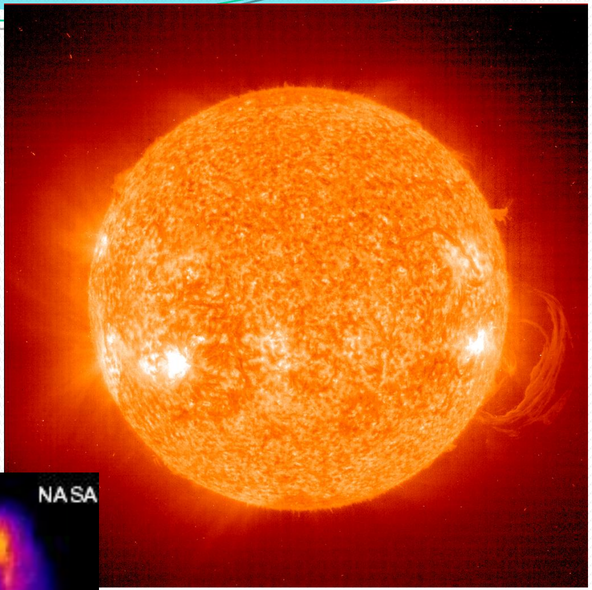
Corpo negro: definição



- Os corpos em equilíbrio emitem e recebem simultaneamente radiação do meio:
  - a radiação incidente pode ser refletida ou absorvida
  - a forma do espectro da radiação térmica emitida por um corpo depende de suas características físicas.
- Há um tipo de corpo quente que emite espectros de caráter universal: **o corpo negro ideal**.
- O corpo negro ideal não reflete radiação incidente: ele é um absorvedor perfeito.
  - Em equilíbrio as taxas de absorção e emissão são iguais, portanto ele é também um emissor perfeito.

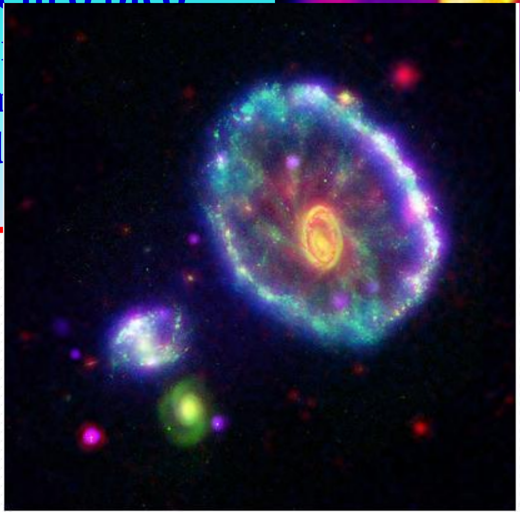
O corpo negro é uma idealização, mas uma idealização útil

Exemplos de “bons” corpos negros



- I

Humanos tem o pico
em 930n
emitem tb m
e ondas d



- Ultravioleta:

Corpo negro

- **Nenhum objeto real é um corpo negro perfeito!**
  - **carvão negro** tem uma absortividade (e emissividade) quase igual a 1, mas somente para algumas freqüências, que incluem a radiação visível → a absortividade (e emissividade) é muito mais baixa no infravermelho distante.
  - **nós próprios**, nos comportamos quase como corpos negros perfeitos para a radiação infravermelha, mas certamente não para o caso de freqüências mais altas.

- Será que a lâmpada se comporta como um corpo negro?
  - Para que faixa de freqüência?

Emissividade e Absortância

- Um corpo a temperatura **T** em um meio a temperatura $\mathbf{T_0}$.
  - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio!
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)

$$P_{rad}^{Emitida} = S\varepsilon\sigma T^4$$

  - **ε** é a emissividade do corpo e depende do material. **ε = 1** significa um corpo negro ideal. **S** é um fator geométrico.

$$P_{rad}^{Absorvida} = S\mu\sigma T_0{}^4$$

- Absorção de radiação do meio (Lei de S.B.)
  - **μ** é a absortância do corpo e depende do material. **μ = 1** significa um corpo negro ideal. **S** é um fator geométrico

Definição

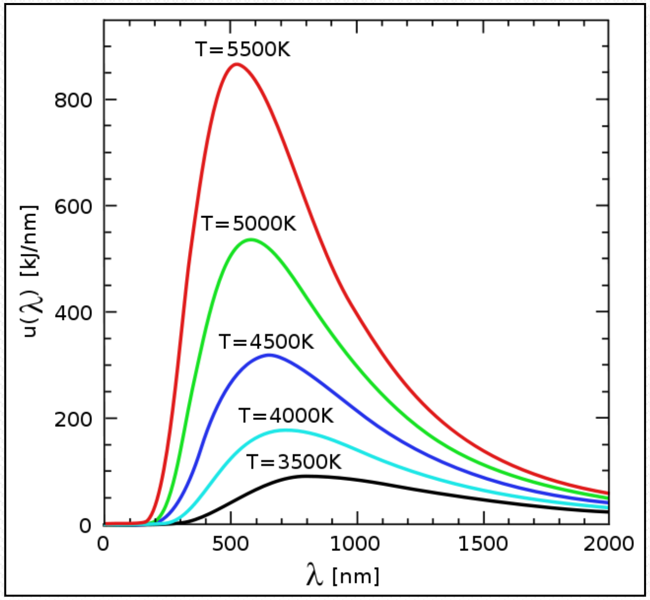
- A emissividade (**ε**):

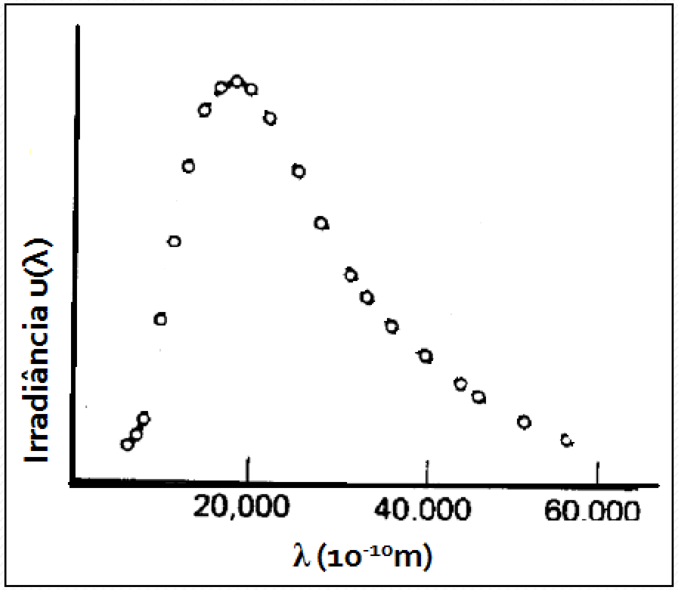
$$\varepsilon = \left(\frac{\text{quantidade de energia emitida por um corpo real}}{\text{quantidade de energia emitida por um corpo negro}} \right)_T$$

  - importante: a definição é válida para corpos na mesma temperatura **T**
  - **ε** é um coeficiente adimensional .
  - caracteriza a habilidade relativa da superfície de um corpo real (não negro) de emitir radiação.
  - Em geral, a emissividade (e absortividade) total dependem da temperatura, isto é, são diferentes para temperaturas $\mathbf{T_1}$ e $\mathbf{T_2}$ diferentes

Radiação de corpo negro

- Os corpos negros à mesma temperatura, independente de sua composição, emitem radiação com o mesmo espectro.
- A distribuição da radiação emitida em função da freqüência depende só da temperatura do corpo
- Mas a física clássica falhava nesta explicação!!!

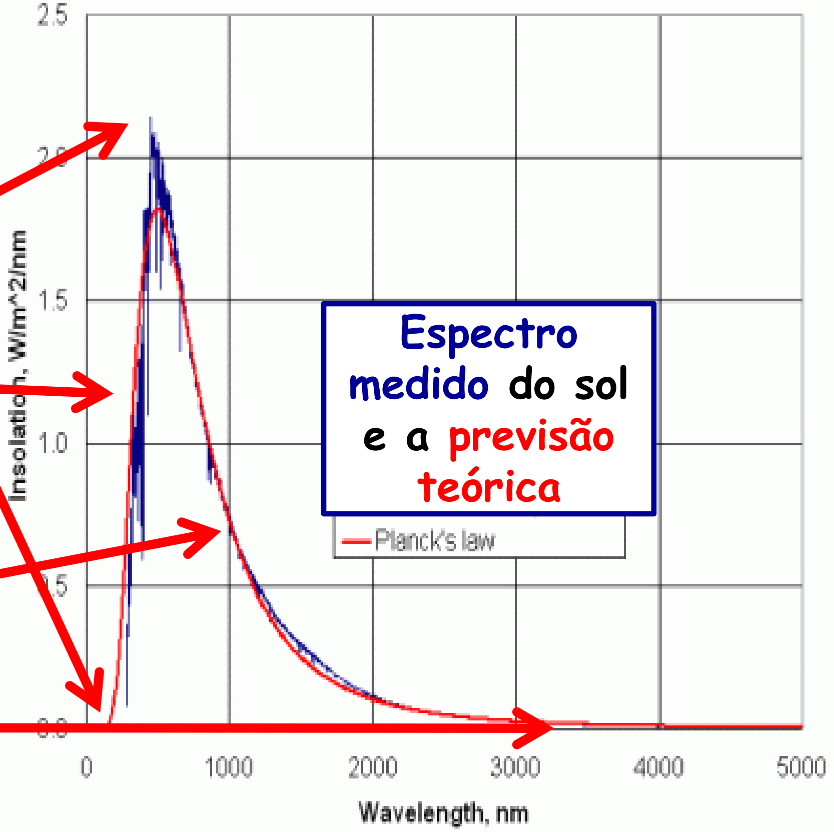




Radiação de corpo negro: a teoria

- Como é a potência irradiada por um corpo negro a uma determinada temperatura?

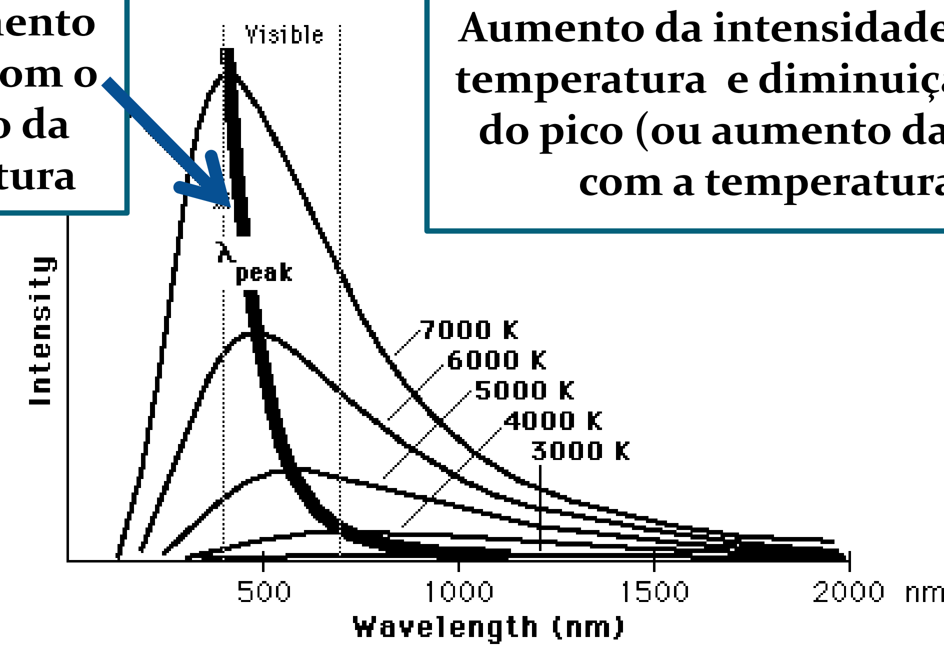
- A potência irradiada é nula para comprimentos de onda muito pequenos
- Ela cresce rapidamente com o aumento do comprimento de onda
- Atinge um valor máximo para uma determinado **λ**
- Depois decai mais lentamente à medida que o comprimento de onda cresce
- Aproxima-se de zero novamente quando **λ** se aproxima do infinito



A lei do deslocamento de Wien

- Em 1893 Wien deduziu usando termodinâmica para o corpo negro que o comprimento de onda (ou a freqüência) do pico obedecia uma relação linear com a temperatura:
- $\lambda T = 2.898 X 10^{-3}$ m K

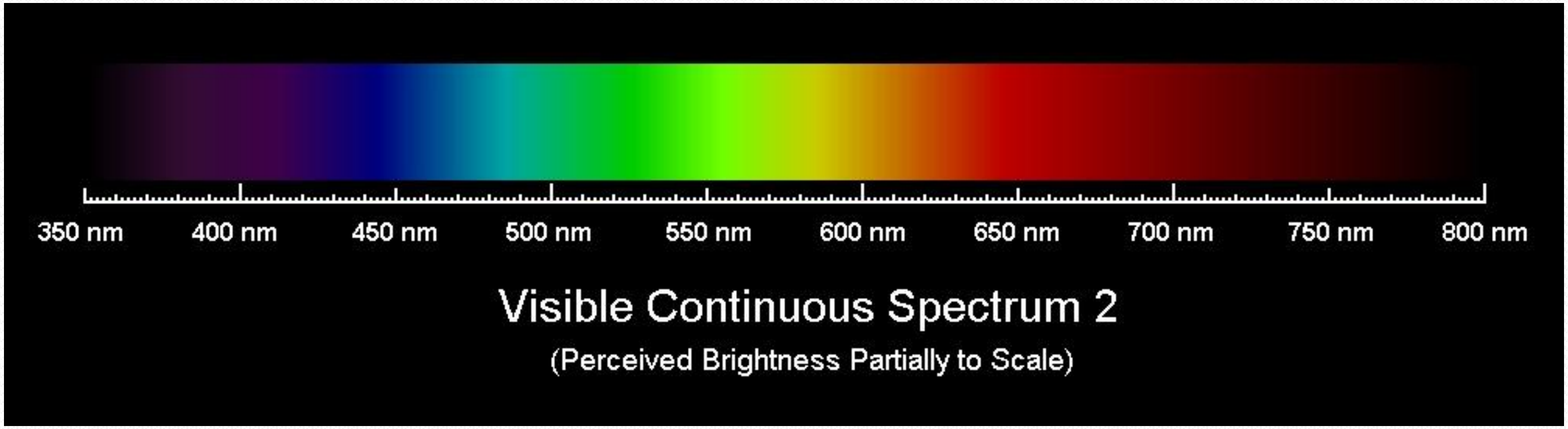
Diminuição de λ (ou aumento da freq) com o aumento da temperatura



Aumento da intensidade com a temperatura e diminuição do λ do pico (ou aumento da freq) com a temperatura

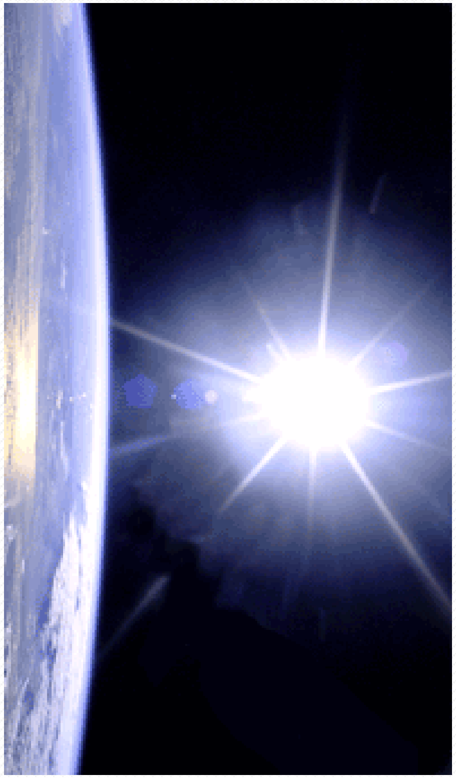
Temperatura de um corpo negro

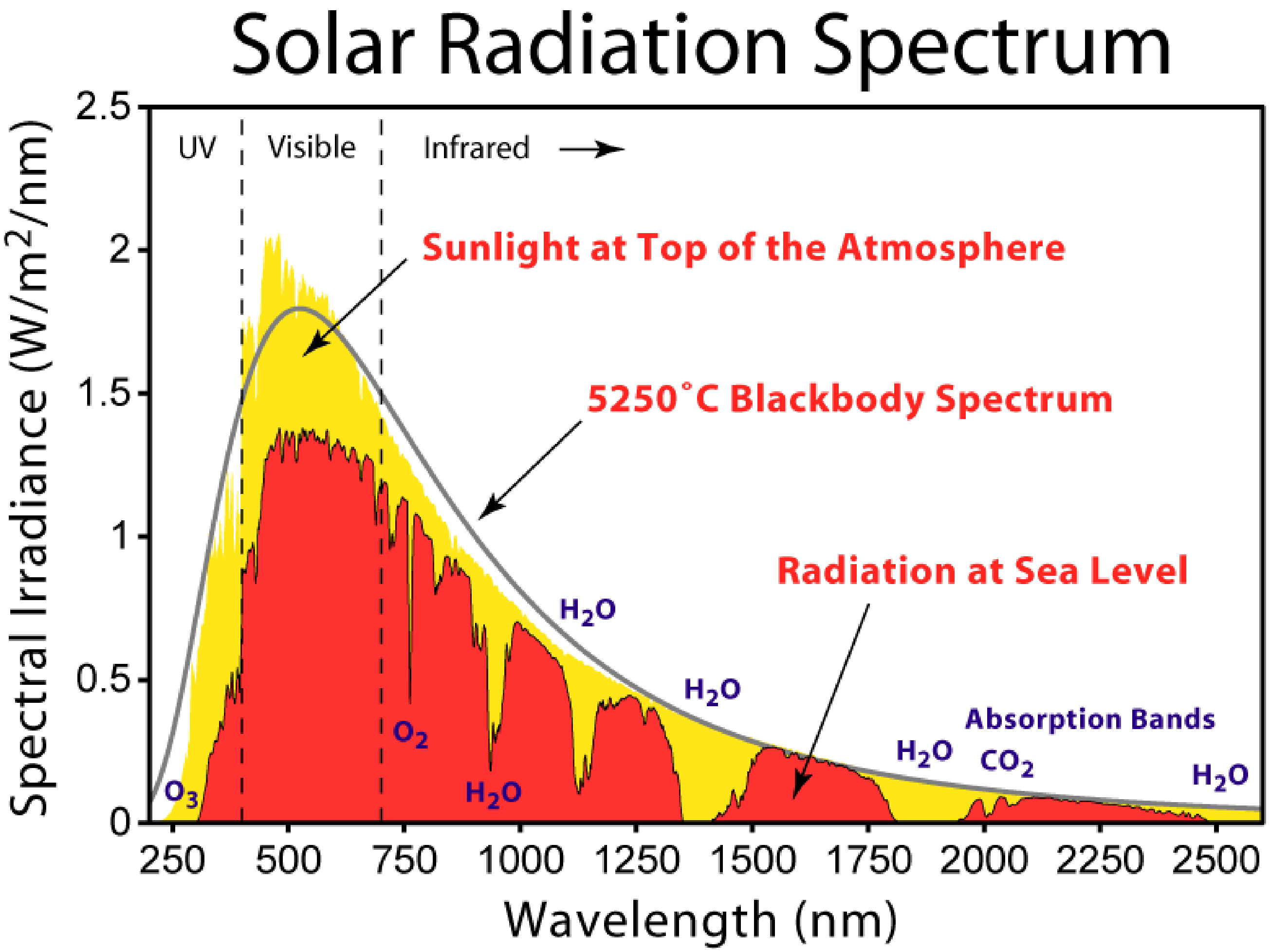
- Então, a lei do deslocamento de Wien permite encontrar a temperatura da superfície de um corpo negro:
  - Medindo a distribuição de radiância espectral, com o valor do comprimento de onda do pico, obtém-se a temperatura
- **Sol :** λ_{max} = 550nm (amarelo esverdeado) » T=5700K
- **Estrela Polar:** λ_{max} = 350nm (ultravioleta) » T=8300K



O Sol é um corpo negro quase perfeito

- λ_{max} = **510nm** (amarelo esverdeado) » **T=5620^{0}K**





Temperatura de um corpo negro

- **Estrela Polar:** λ_{max}=**350nm** (início do ultravioleta) » **T=8300ºK**

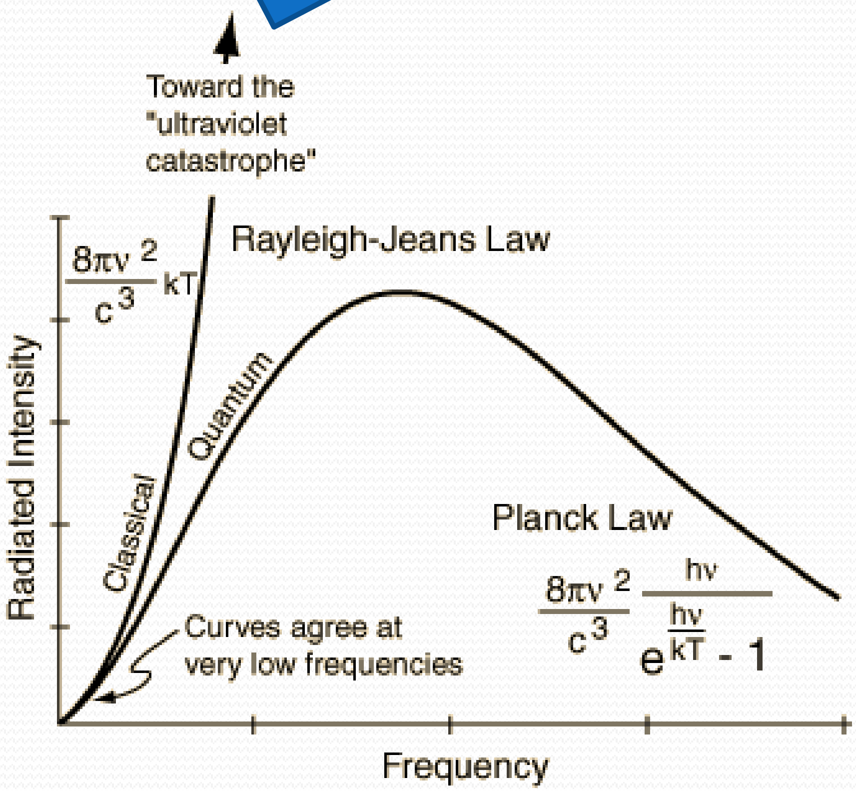
J. W. S. Rayleigh (UK, 1842 - 1919) and J. H. Jeans (UK, 1877 - 1946).

A distribuição de energia da radiação de corpo negro

- **No final do século XIX**, com as melhorias no aparato experimental (O. Lummer, E. Pringsheim, H. Rubens e F. Kurlbaum), foi possível medir a potência (ou a radiância espectral **Rν**) para um grande intervalo de freqüências.

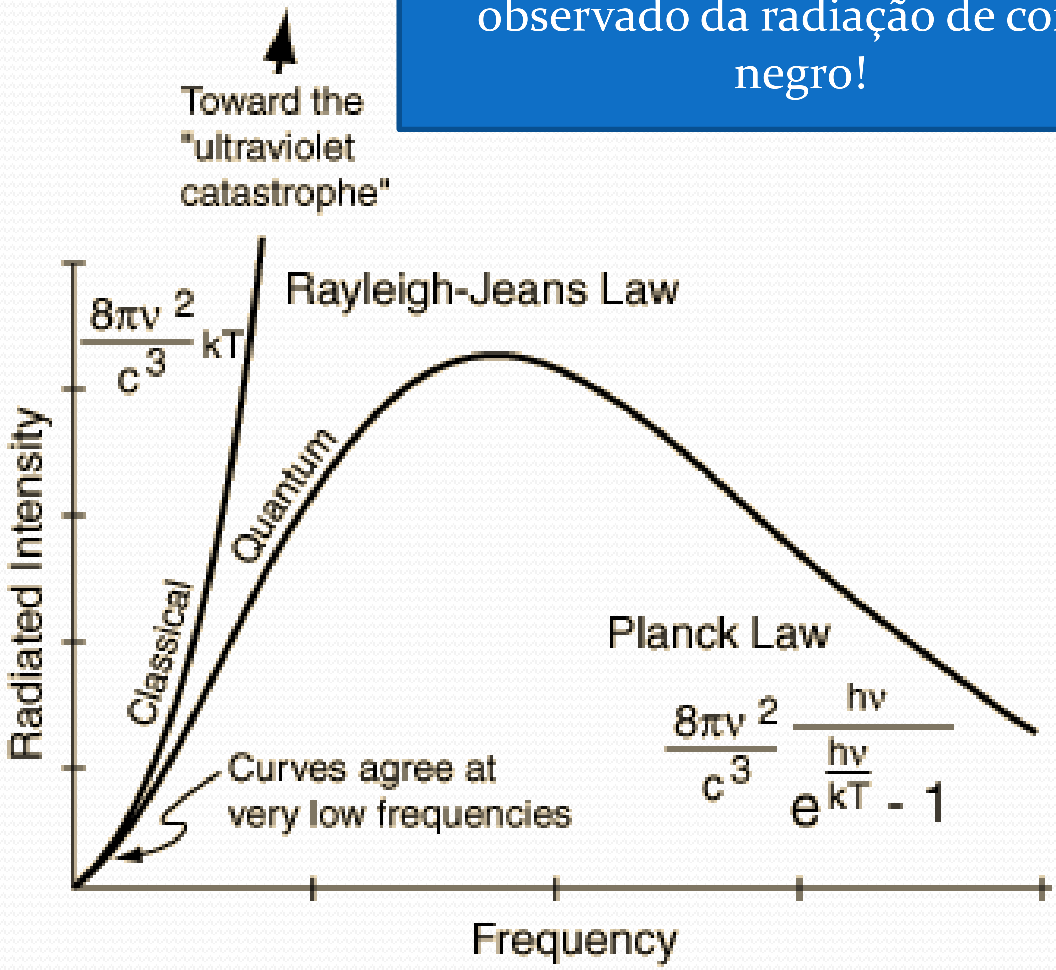
- Nessa época os físicos **J.W.S. Rayleigh** e **J.H. Jeans** fizeram o cálculo da distribuição de freqüências da radiação de corpo negro, baseado em hipóteses da física clássica.

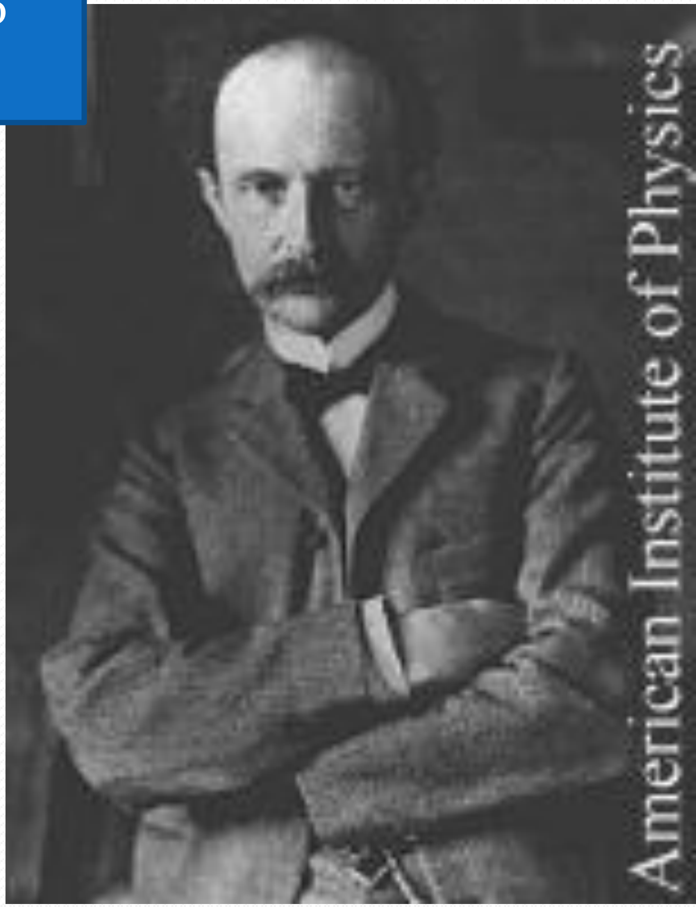
Totalmente discrepante da distribuição medida! Havia alguma concordância só para baixas freqüências



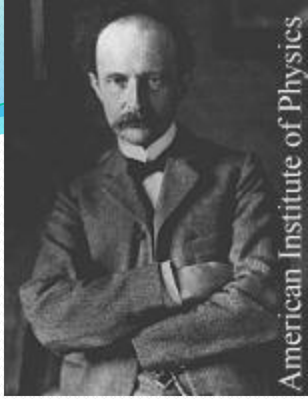
Início da física quântica

Planck introduziu a idéia do fóton para conseguir explicar o espectro observado da radiação de corpo negro!





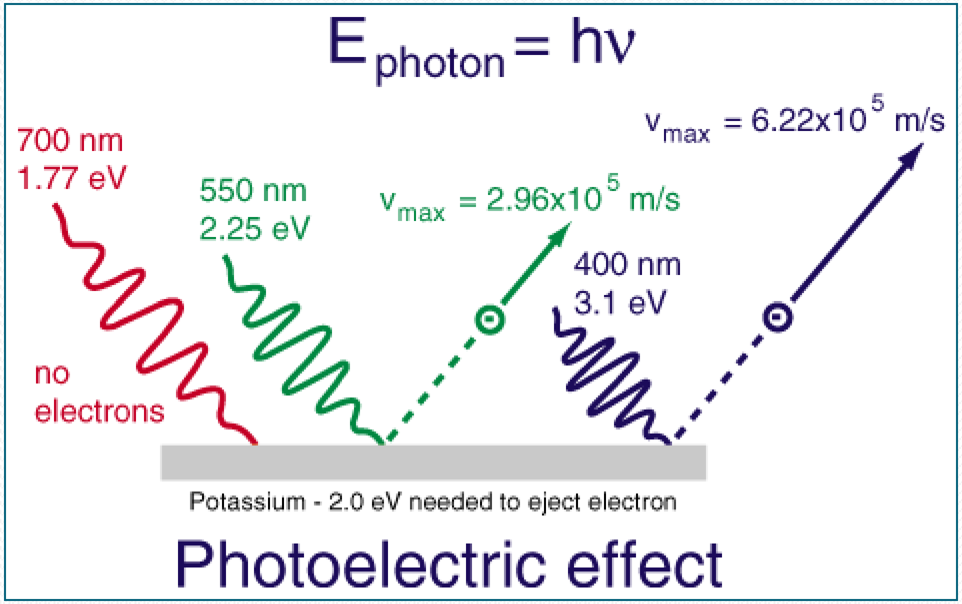
A hipótese de Planck

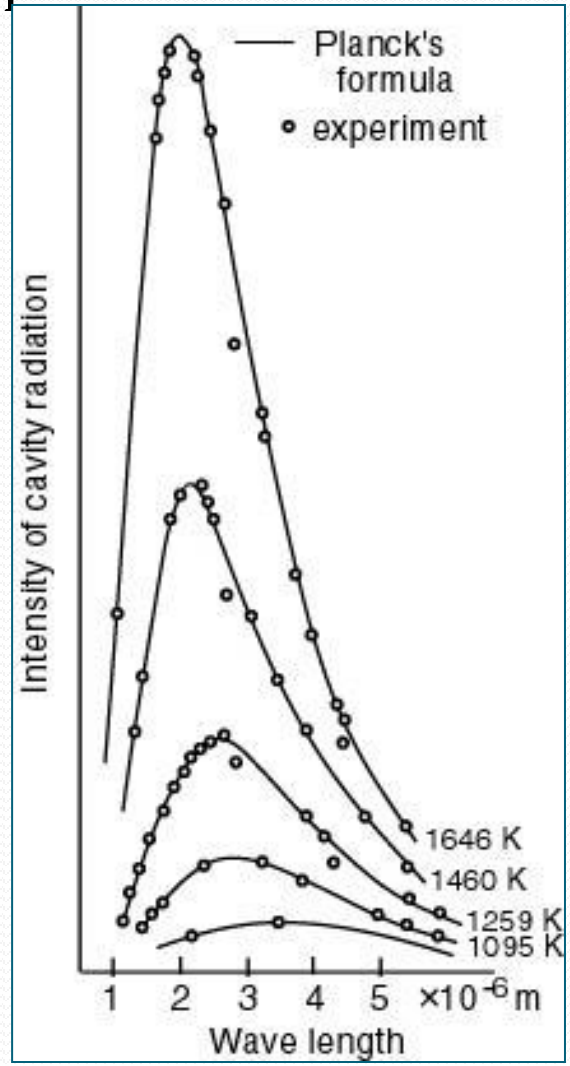


- Em **1900**, Max Planck conseguiu reproduzir a forma da curva experimental considerando que **a energia associada à radiação de corpo negro** não era contínua (física clássica), mas **discreta**:
  - A energia radiante é emitida em pequenos “pacotes”, ou quanta (1 pacote= 1 quantum)
  - Cada quantum tem uma energia proporcional à freqüência da radiação: **E=hν = hc/λ**

A fórmula de Planck

- A idéia da quantização da energia era tão revolucionária que o próprio Planck, na época em que a postulou não estava certo se ela era apenas um artifício matemático ou a descrição correta do fenômeno natural.
- A hipótese da quantização da energia não foi aceita até **1905** quando Einstein a usou para explicar o efeito fotoelétrico.





A fórmula de Planck

- A fórmula (ou Lei) de Planck descreve a intensidade de radiação (irradiância) emitida por unidade de área da superfície emissora, por unidade de ângulo sólido, por unidade de freqüência de um corpo negro ideal a uma temperatura **T**:

$$I(\gamma, T) = \frac{2h\gamma^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\gamma}{kT}} - 1} \quad \text{ou} \quad I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

- A lei de Stephan ($P_{irr} \alpha\ T^4$) é obtida integrando-se a lei de Planck sobre todo o espectro de comprimentos de onda.
- A lei de Wien ($\lambda_{max} T = 2.898 \times 10^{-3}$ **m K**) é obtida calculando-se o máximo da equação de Planck: derivando-se a fórmula de Planck em função de **λ**:

$$\frac{dI(\lambda)}{d\lambda} = 0$$

Esta Semana:
medida do espectro de emissão da lâmpada

Vamos medir o espectro de emissão da lâmpada

- O espectro de emissão da lâmpada = irradiância em função do comprimento de onda para cada temperatura, pode ajudar na compreensão do que, de fato, o filamento emite:
  - o espectro pode ser medido no laboratório com um instrumento chamado de espectrofotômetro.

- Vamos medir o espectro de emissão da lâmpada como função do comprimento de onda (ou freqüência) e comparar com a previsão de Planck.

Resultados da Semana Passada

- O que já foi medido até agora:
  - os gráficos: **PXT** e **PX(T-T0)**
  - Ajustaram

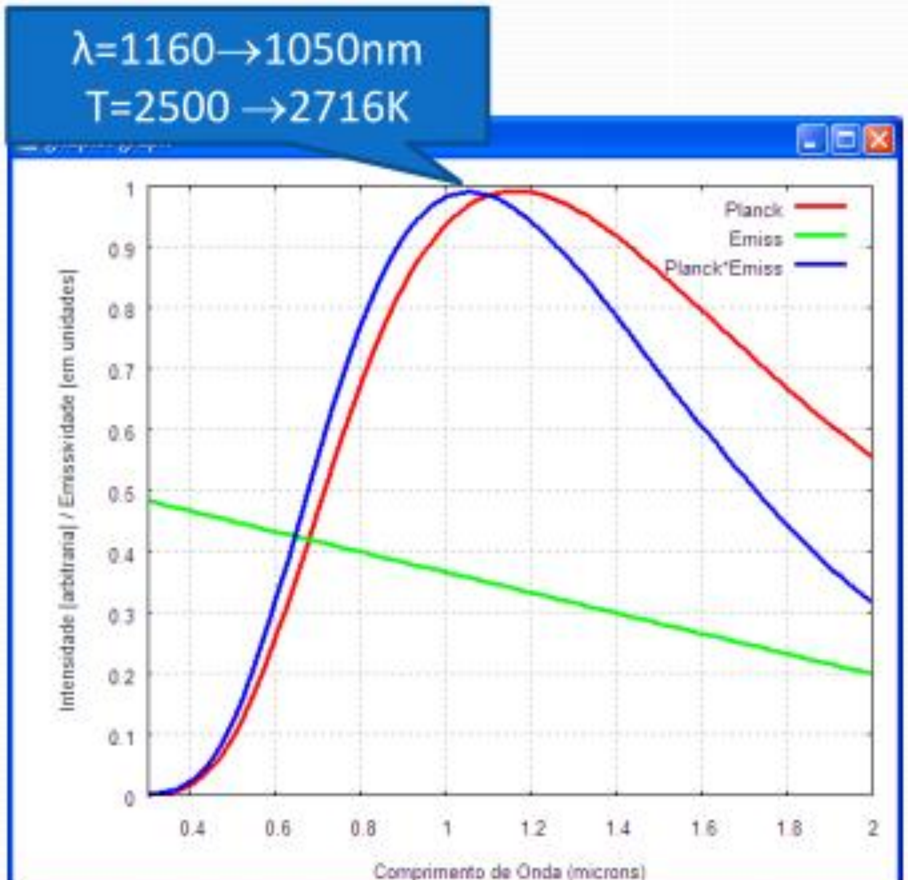
$$P_{total} = A.\Delta T^{\alpha} + B.T^{\beta} + C$$

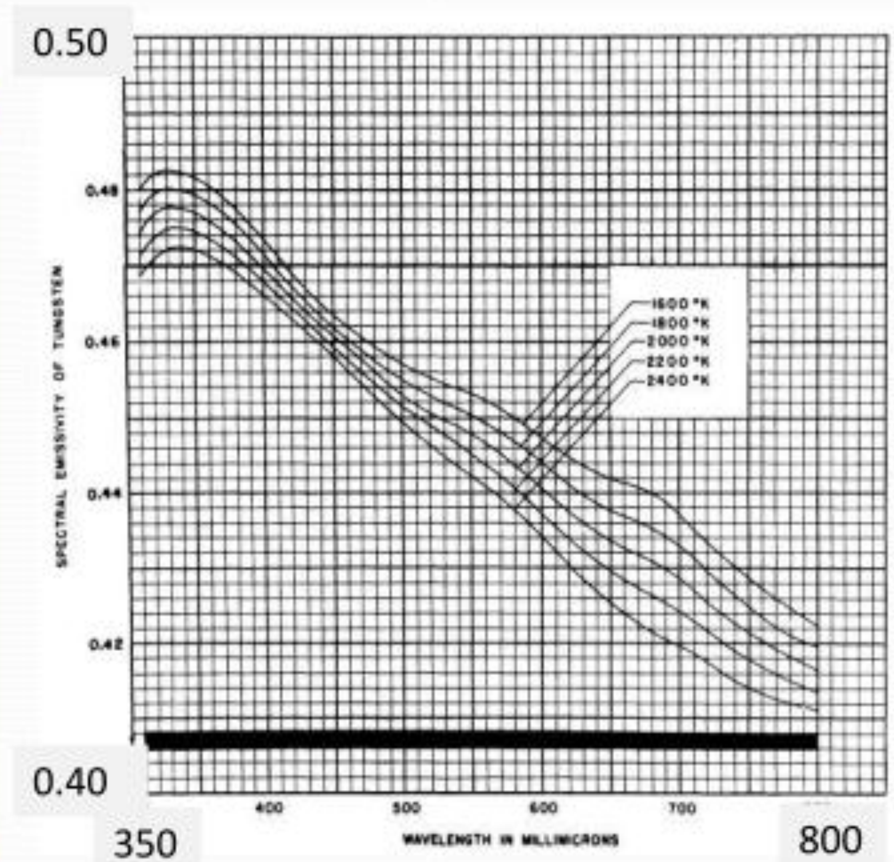
  - e não obtiveram a dependência com T^4

- Isso significa que:
  - Ou a hipótese $P = cteT^4$, não é verdadeira.
  - Ou esquecemos de considerar alguma coisa

Emissividade do Tungstênio

- Neste trabalho do MIT de 1957 foi medido a emissividade do tungstênio. Eles encontraram que ela diminuía com o comprimento de onda e com a temperatura!





Emissividade: pode ser medida

- A temperatura do filamento , neste caso, foi medida independentemente do comportamento da emissividade através do Espectro-pirômetro F.A.R.:
  - tendo **T** e o espectro

emissão, se obtém a curva da emissividade como função de **λ**.

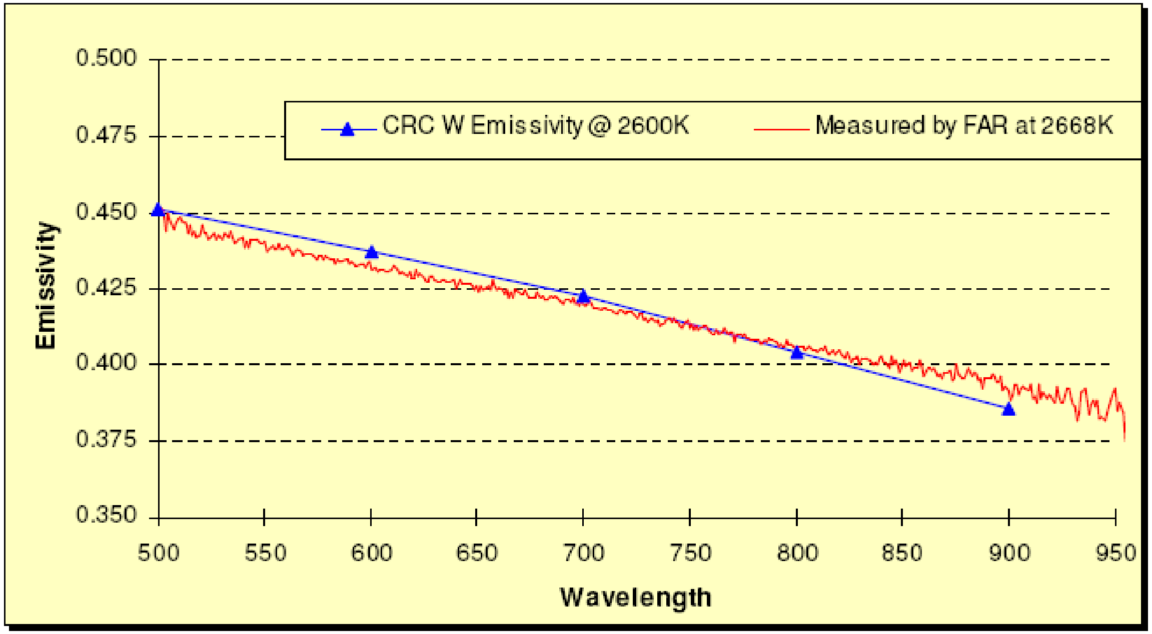


Figure 3. Emissivity as measured by a FAR SpectroPyrometer on a new Type A tungsten halogen projection lamp graphed on the same axes with one of the traces of Figure 2. FAR data normalized to CRC data at 750 nm.

www.pyrometry.com/farassociates

Emissividade: medida

- Como é praticamente impossível se prever a emissividade de um filamento de tungstênio como função de λ, (ela além de depender de T, também depende de características geométricas e de fabricação do filamento) o que fizemos foi adotar um trabalho que mediu a temperatura e o espectro de emissão para um filamento semelhante ao nosso:
  - Veja que ela depende de λ, mas não tem uma dependência acentuada da temperatura.

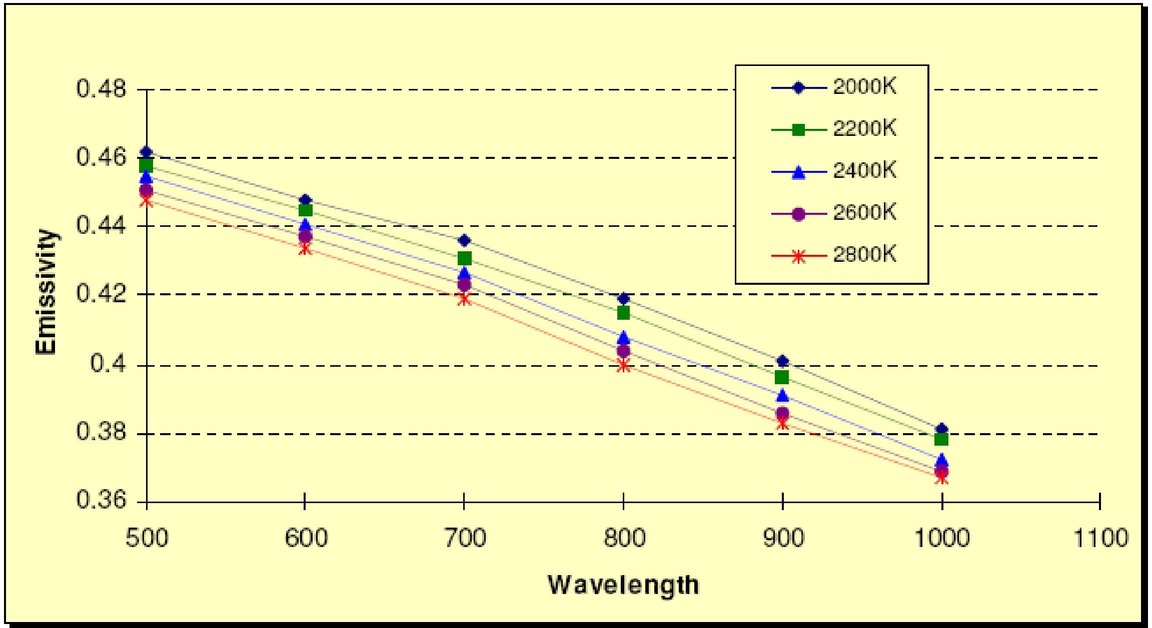


Figure 2. Data taken from CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Ed., pp. E-381

Entender a lâmpada

- Como testar se a emissividade depende da frequência?
- Qual é sua dependência?
  - Vamos medir o espectro de emissão da lâmpada como função do comprimento de onda (ou freqüência) e comparar com a previsão de Planck.
- Como medir o espectro de emissão da lâmpada?
  - Com um **espectrofotômetro**.
  - O espectrofotômetro mede a energia irradiada em função do comprimento de onda (ou freqüência)

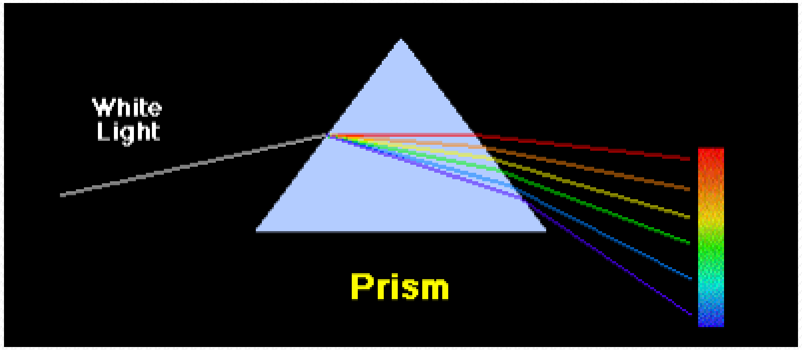
O que faz um espectrofotômetro?

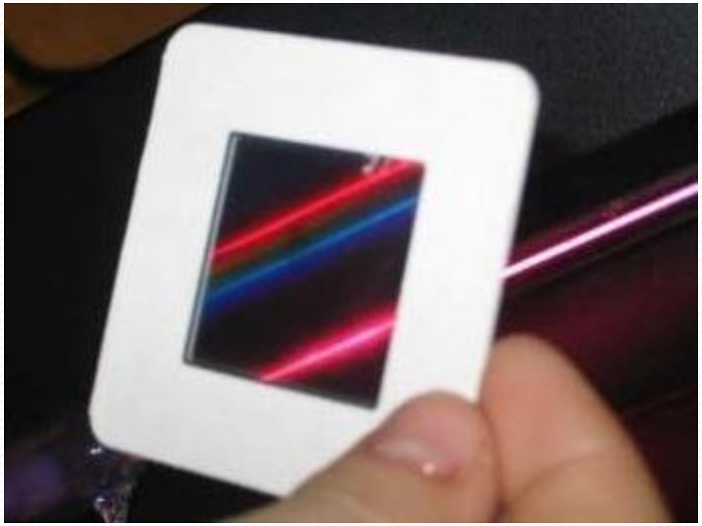
- Os **espectrofotômetros**, além de fornecer a posição angular de cada componente, mede também a intensidade de cada linha.
  - O espectrômetro com o qual vamos realizar as medidas, utiliza um foto sensor que se acopla a um micro-computador através de uma interface, permitindo que os dados sejam armazenados no computador.
- Sistemas de análise espectral baseados em dispersão angular têm como característica mais importante a <u>relação entre a posição angular e o respectivo comprimento de onda, ou seja, **θ** e λ</u>, que deve ser conhecida.
  - Em geral, a função **$\theta(\lambda)$** é determinada por meio de calibração utilizando um espectro conhecido.

O espectrofotômetro

- No caso desta experiência o elemento dispersor utilizado para o espectrofotômetro é uma rede de difração de transmissão.

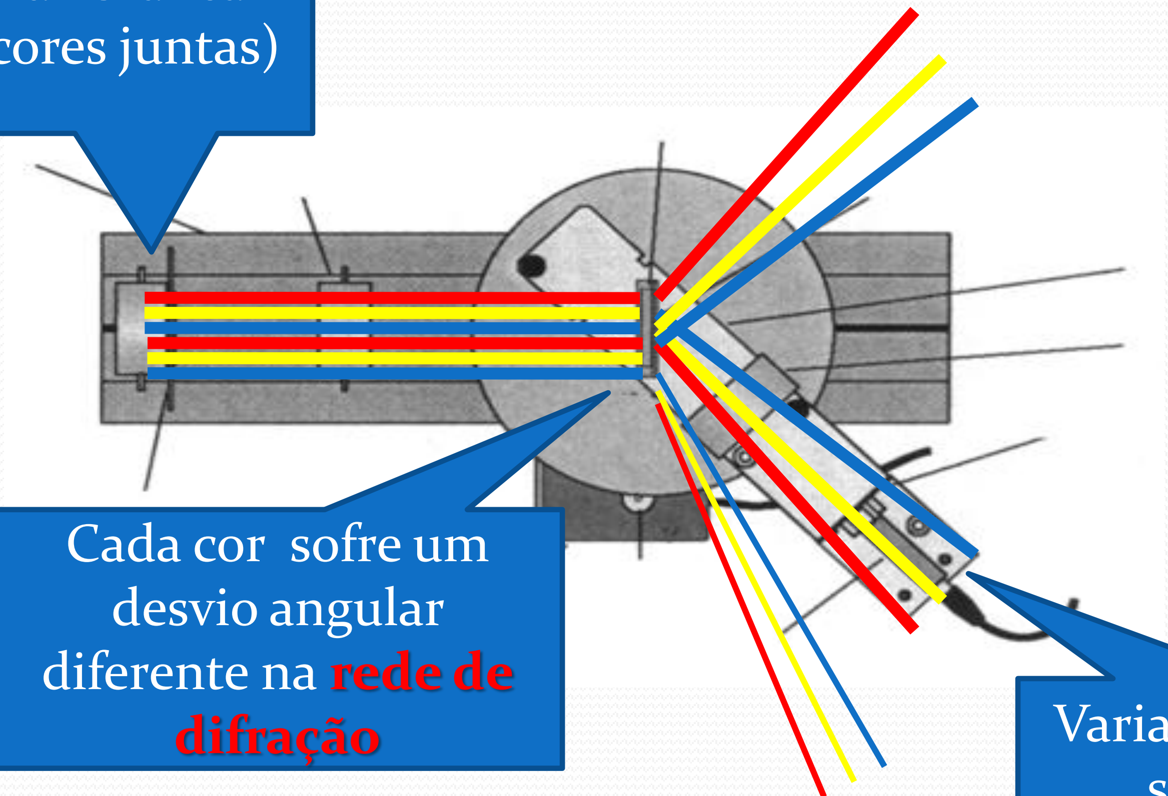
- A irradiância, **I**, é definida, em termos físicos, como a energia radiante média por unidade de área e por unidade de tempo.





O espectrofotômetro: esquema

Feixe de luz branca
(todas as cores juntas)



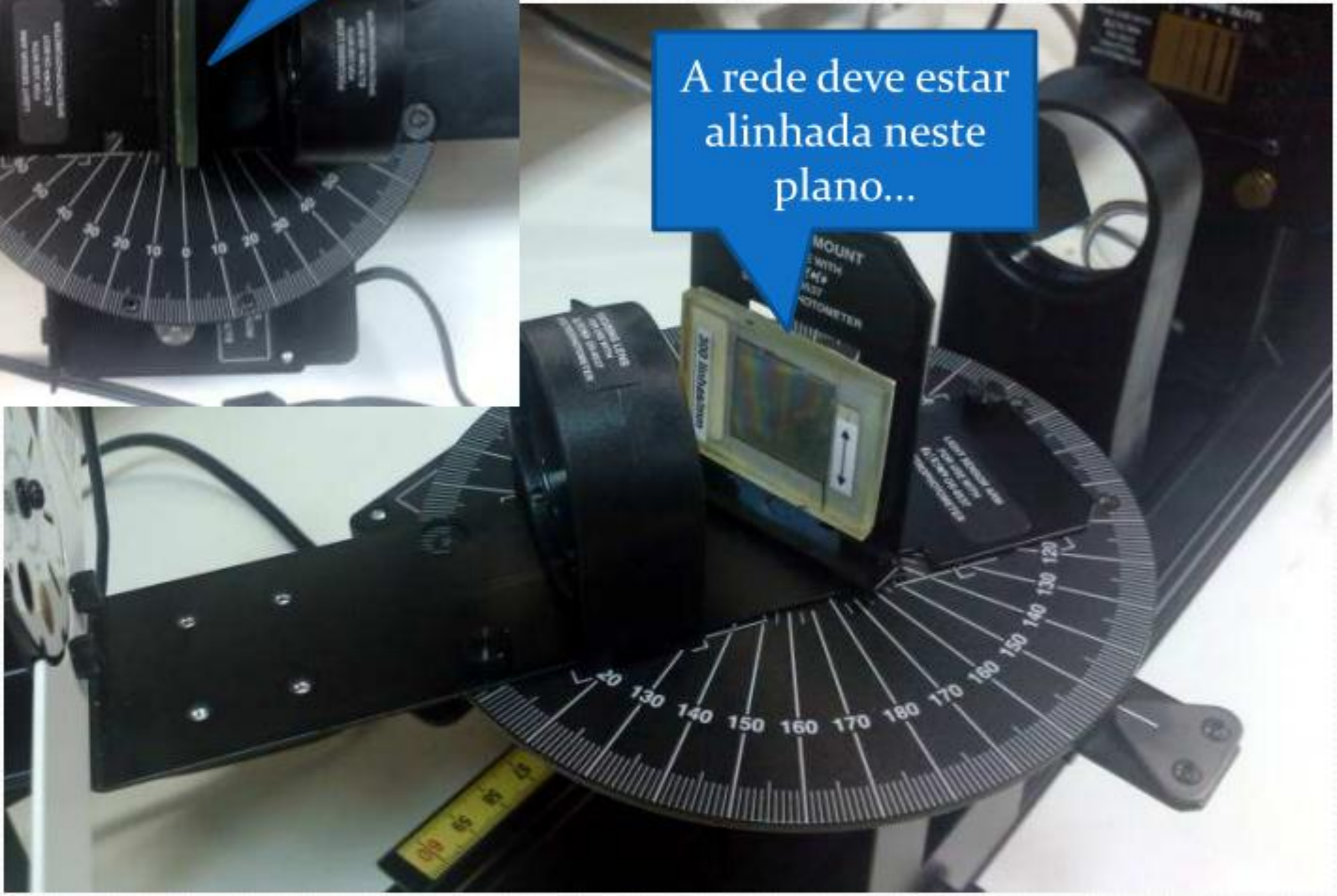
Cada cor sofre um desvio angular diferente na **rede de difração**

Variando a posição do sensor de luz, medimos a intensidade de cada cor separadamente

Visão Geral do Espectrofotômetro

Fenda de Entrada

Rede de difração



Fenda de Saída

Circuito da Lâmpada

Alinhando o Espectrofotômetro

- Para alinhar o instrumento: a imagem da fenda de entrada (luz branca) deve estar centrada na fenda de saída.
- A mesa que suporta a lâmpada deve estar em cima do trilho do instrumento.
- As fendas utilizadas são as maiores tanto na entrada quanto na saída.
- A lâmpada deve estar e 2 ou 3 cm da fenda de entrada.
- A rede de difração deve estar com a face virada para a lâmpada exatamente na linha) $0^o \rightarrow 180^o$ ou os ângulos medidos terão um erro sistemático.

Preparando a aquisição de dados

- Esse instrumento funciona com uma interface Pasco e o programa de aquisição **DataStudio**:
  - Ligue o **light sensor** no **canal A** da interface
  - Ligue o **rotary motion sensor** (ele vai automaticamente quando clica).
- Clique no **rotary motion** e abre-se a janela do **set up**:
  - ajuste a resolução do sensor de posição para **1440 divisão/grau**
  - ajuste a freqüência de amostragem para **50Hz**.
- Com a função **calculate** definir o ângulo correto:
  - O instrumento dá o ângulo do pino, enquanto o disco calibrado dá uma volta, o pino gira **60** voltas, portanto o ângulo correto é a leitura do instrumento(ângulo do pino) dividido por **60**.
  - No **calculate** definir **ângulo=x/60**.
- Comece as medidas movimentando o braço do espectrofotômetro, onde está o **light sensor**, de forma contínua e pausada.

No site há um arquivo do DataStudio com estas configurações prontas!

As medidas

- Medir o espectro da lâmpada para **no mínimo** 3 temperaturas diferentes (por exemplo: 1800, 2400 e 3000K)
  - Para cada temperatura determinar a potência que deve ser aplicada à lâmpada através do gráfico de potência em função da temperatura obtido previamente.
  - Conhecido o valor da potência necessária, determinar o valor de tensão e corrente que deve ser aplicado à lâmpada para obter a temperatura desejada
- Ou então faça ao contrário: escolha 3 brilhos da lâmpada no "olhômetro" e use as medidas de V x i para encontrar o resto (usando as medidas das semanas anteriores)

Atividades da Semana – Parte 1

<u>Wien:</u>

- Dos espectros medidos, determine λ_{max} (como?)
- De **R**/**R**$_o$ determine a temperatura
- Verifique se a lei de Wien $T = 2.898 \times 10^{-3}$ m K / λ_{max} é válida.
  - Será que 3 pontos são suficientes? Lembre-se de comparar a curva teórica com os dados experimentais!
- Compare e discuta
- É preciso considerar a emissividade? Como modificar a lei de Wien neste caso?

Atividades da Semana – Parte 2

Espectro

- Faça o gráfico dos espectros medidos e compare (no mesmo gráfico) com a expectativa teórica
  - Use a fórmula de Planck da aula e lembre-se de normalizar as duas curvas pelo valor do máximo (a medida de intensidade do DataStudio não é absoluta e não temos os fatores geométricos da lâmpada)
- Faça um ajuste não linear entre seus dados experimentais e o produto da função de planck pela emissividade.
  - Como estamos usando um sensor infra-vermelho, cuja resposta só é linear acima de 700nm, exclua a região visível do ajuste
- Assim serão 3 “curvas” para cada temperatura: dados, planck, ajuste de planck*emissividade

Atividades da Semana – Parte 3

- Compare, comente e discuta, por exemplo:
  - Qual a diferença entre as posições dos máximos?
  - Como é a concordância para **λ's** altos?
  - E para **λ's** baixos?
- A dependência da emissividade com o comprimento de onda explica a discrepância observada para os $\boldsymbol{\lambda_{máx}}$ obtidos com a fórmula de Wien ?
- O filamento da lâmpada se comporta como um corpo negro?
  - é ideal ou mais ou menos? Quantifique o mais ou menos se for o caso.

Atividades da Semana – Parte 4

- Estime a porcentagem de radiação emitida pela lâmpada
  - que está na região visível do espectro visível
  - e a que está na região do infravermelho do espectro.
  - DICA: Se a função ajustada representa bem os dados, você pode integrá-la, ao invés de integrar os dados!

- **A lâmpada é um bom iluminador?**
  - **Sim? Ou não?Porque? Esse porque**
  - **deve ser justificado quantitativamente!!**

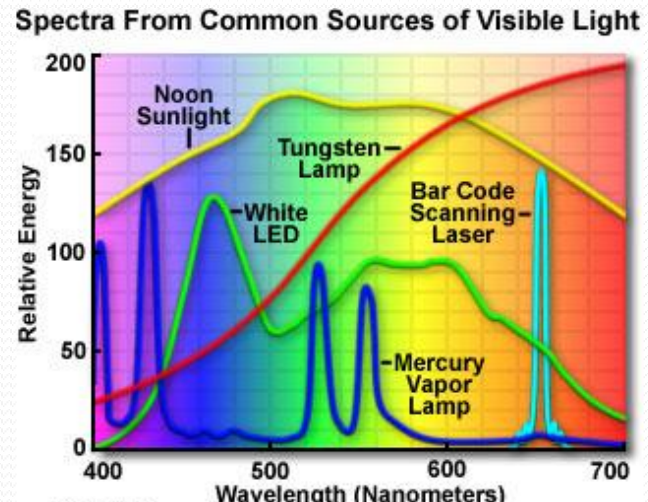


Figure 3

Como estimar o erro na integral do espectro? E na estimativa da fração de luz no visível???

Para facilitar:

- No desktop existe um arquivo chamado **Funções de corpo negro**, que contém uma planilha do Origin com os dados de emissividade (para **2400K**) como função de λ, a equação de Planck (para as **3** temperaturas medidas) e o produto da emissividade pela equação de Planck para os **3** casos:
- No site do labflex (e nos computadores do laboratório) há um arquivo do DataStudio preparado para aquisição com o espectro fotômetro.
- Lembrem-se, Origin permite ajuste de curvas de (quase) qualquer tipo.