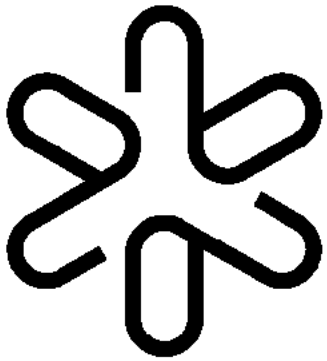


Universidade de São Paulo
Instituto de Física

Física Aplicada
Aula 08

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

1° Semestre de 2019

Física Clássica x Moderna

Evidências experimentais que sugeriram a divisibilidade do átomo - existência de uma subestrutura (no entanto só compreendido no século XX)



1857 — Tubos de raios catódicos. Descargas elétricas em gases produzidos entre eletrodos metálicos

1887 — Hertz descobre o efeito fotoelétrico

1895 — W. Röntgen Descoberta dos raios X

1897 — Thomson descobriu o elétron Madame Curie medidas quantitativas - descobre o Tório (Th) - Radioatividade

1899 — Rutherford caracteriza dois tipos de partículas alfa (α) e beta (β).

1900 — Villard encontrou uma terceira componente (radiação γ) - poder de penetração muito maior

1900 — Planck explica a distribuição espectral da radiação emitida pelo corpo negro



1902 — Pierre e Madame Curie mostraram que os raios β são elétrons

1905 — Einsten e Teoria da Relatividade

1908 — Rutherford mostra que a radiação α é equivalente ao elemento He.

1909 — Medidas de Carga Elétrica do Elétron – R. A. Millikan

1910 — Experiência de espalhamento de Rutherford

1913 — Modelo atômico de Bohr

1923 — Explicação do espalhamento Compton

1924 — Ondas de De Broglie

1926 — Equação Schrödinger

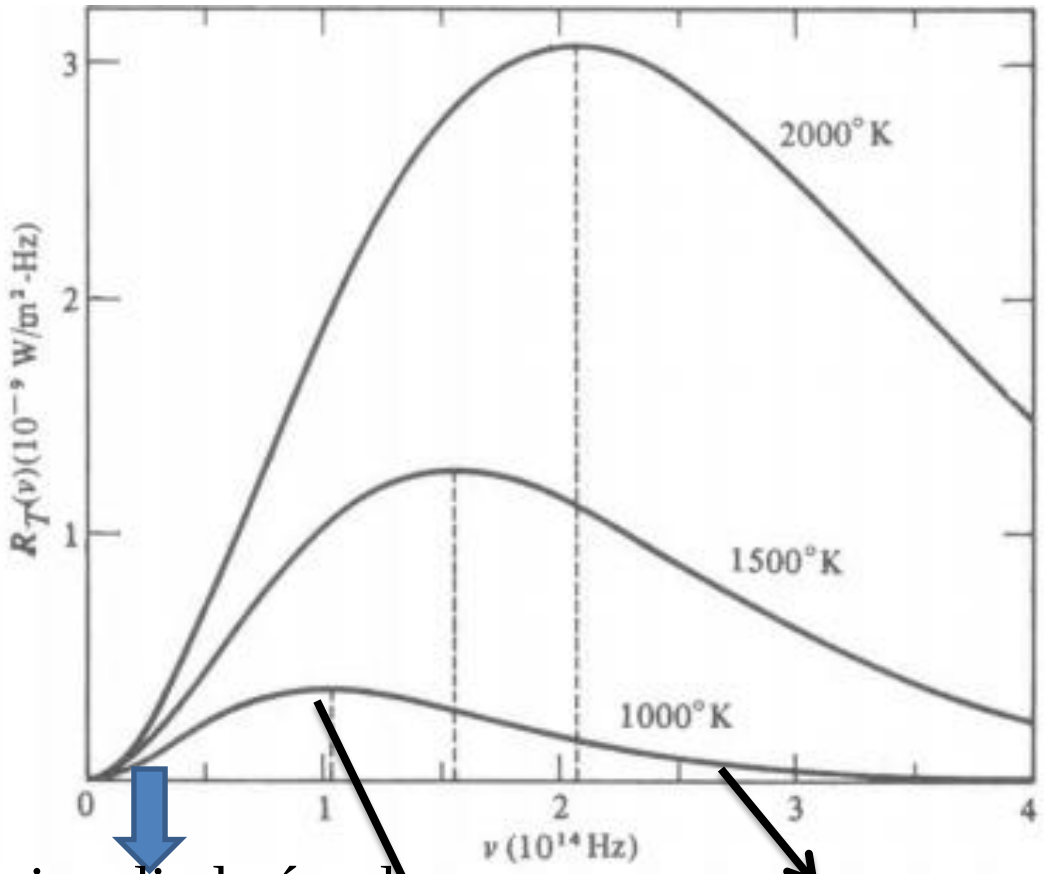
1900

Radiância Espectral

- A Radiância espectral: $R_T(\nu)$ de um corpo em função da frequência da radiação.

A frequência em que a radiância é máxima varia linearmente com a temperatura.

Potência total emitida por metro quadrado (área sob a curva) aumenta rapidamente com a temperatura



Potência irradiada é nula

Potência irradiada é máxima em $\nu = 1{,}1 \times 10^{14}$Hz

Potência irradiada cai

1900

- O crescimento rápido de R_T com a temperatura é chamada de Lei de Stefan anunciada em 1879

$$R_T = \sigma T^4$$

A intensidade da radiação emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potencia de sua temperatura

σ= 5,67x10^{-8} W/m^2K^4 (constante de Stefan-Boltzman) medida experimental.

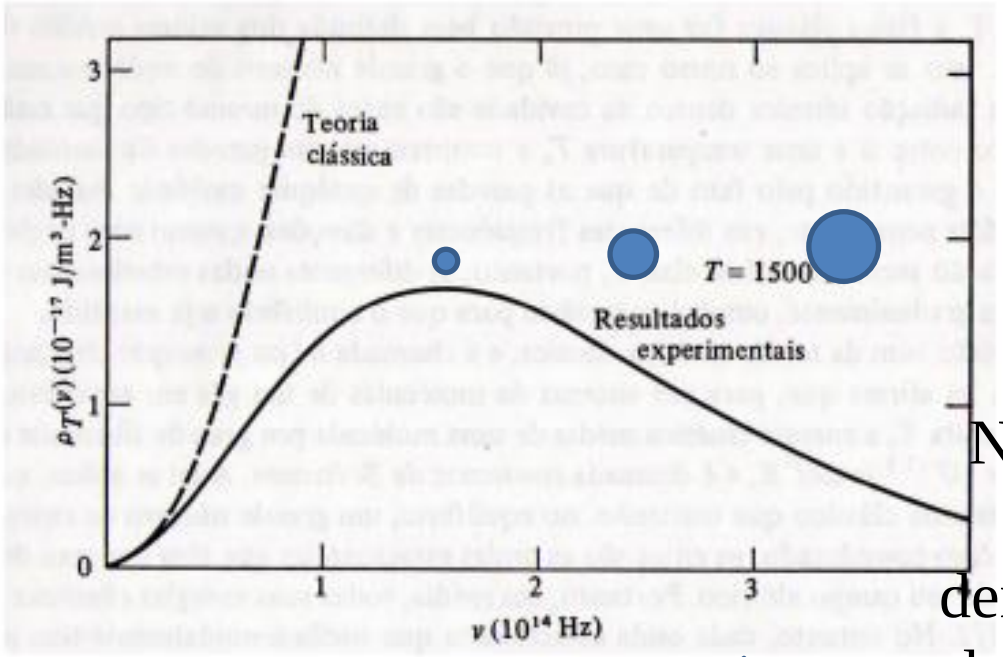
- O espectro se desloca para valores maiores de frequências à medida que T aumenta

Resultado-Lei de deslocamento de Wien (1893)

$$\nu_{\max} \approx T$$

1900

Dúvidas sobre o espectro de $R_T(\lambda)$:



Classicamente conseguimos explicar pequenos valores de ν

No início do século Ralyleigh-Jeans fizeram cálculo da densidade de energia da radiação da cavidade (ou do corpo negro) mas mostrou uma série de divergência entre a física clássica e os resultados experimentais

Calculo da densidade de energia usando ondas estacionárias

$$\rho_T(\nu) \propto R_T(\nu)$$

$$\lambda \to \infty, \rho(\lambda) \to 0$$

$$\lambda \to 0, \rho(\lambda) \to \infty$$

catástrofe do ultravioleta

1900

Teoria de Planck da radiação da cavidade

- Discrepância entre teoria e dados experimentais, como solucionar???
- Baixas frequências o modelo é satisfatório

$$\bar{\varepsilon}_{\nu\to 0} \to kT$$

Energia total media tende a kT para baixas frequências ou altos comprimentos de onda

•Porem para altas frequências ou pequenos comprimentos de onda o modelo falha, gostaríamos de ter $\bar{\varepsilon}_{\nu\to\infty} \to 0$

•**Nova proposta**: tratar a energia como uma variável discreta e não mais contínua (sempre considerado na física clássica). A parede aquecida do corpo negro (cavidade), possui ressoadores vibrando com várias frequências diferentes cada um emitindo luz com mesma frequência que a frequência de vibração

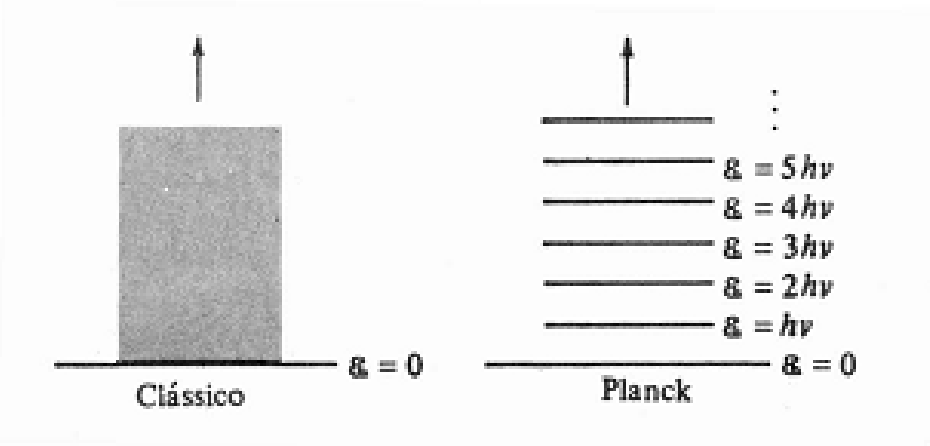
$$\varepsilon_0 = 0, \varepsilon_1 = \Delta\varepsilon, \varepsilon_2 = 2.\Delta\varepsilon, ...$$

1900

Implicações do resultado de Planck

- Qual o significado físico da hipótese de Planck?
- Ela impõem que os pequenos osciladores que constituem as paredes da cavidade e estão em equilíbrio com a radiação, só podem assumir certos valores discretos de energia:

$$E = nh\nu$$



1905

Teoria Quântica

- A quantização de energia é postulado por Einstein teoria corpuscular da luz



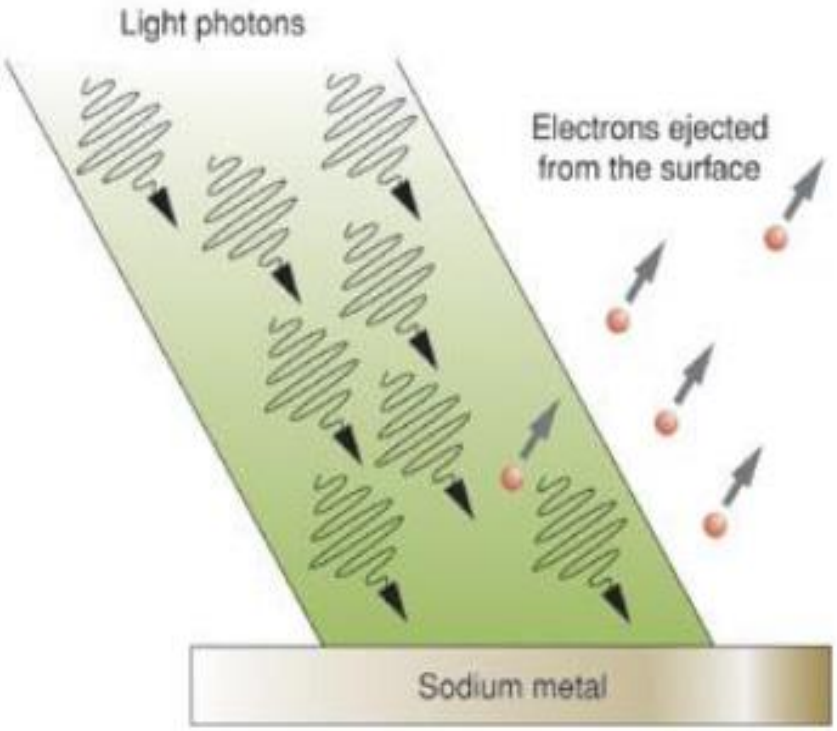
- Propôs que a radiação eletromagnética é composto de "pacotes" de energia ou "fótons". A energia E de cada fóton é proporcional a freqüência ν da radiação:

$$E_f = h\nu$$

- onde h é a constante de Planck usada originalmente para explicar a radiação de corpo negro

Física Moderna

1905



- ✓ Partícula de luz = fóton
- ✓ Propriedades:
  - não tem massa: m = 0;
  - não tem carga: q = 0;
  - se move com c = 3 .10^8 m/s;
- ✓ Cada fóton tem energia:

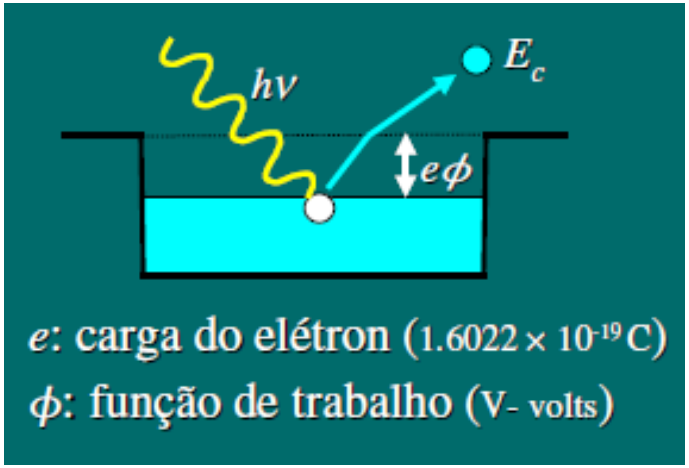
$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

h = constante de Planck = $6{,}63 \cdot 10^{-34} J \cdot s = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV $\cdot\ s$

Física Moderna

1905

- A energia do fóton ao incidir sobre uma superfície metálica, é totalmente absorvida por um elétron, o qual pode ser ejetado da superfície com energia cinética de:



$$E_c^{máx} = h\nu - e\phi$$

- Isto explica por que a energia máxima dos elétrons independe da intensidade da fonte, pois aumentar a intensidade da fonte significa aumentar o número de fótons que vai aumentar o número de elétrons (corrente foto-elétrica), mas a energia máxima de cada elétron é a mesma

- No entanto se a freqüência da radiação (hν) for menor que eϕ, isto é: nenhum elétron terá energia para escapar do metal

$$h\nu < e\phi$$

freqüência de corte

$$\nu_0 = \frac{e\phi}{h}$$

- Não há atrasos na emissão dos fotoelétrons, mesmo baixa I (há fótons incidente) ejetando elétrons, o elétron não fica acumulando energia para depois escapar.

1) ✓
2) ✓
3) ✓

Física Moderna

1905

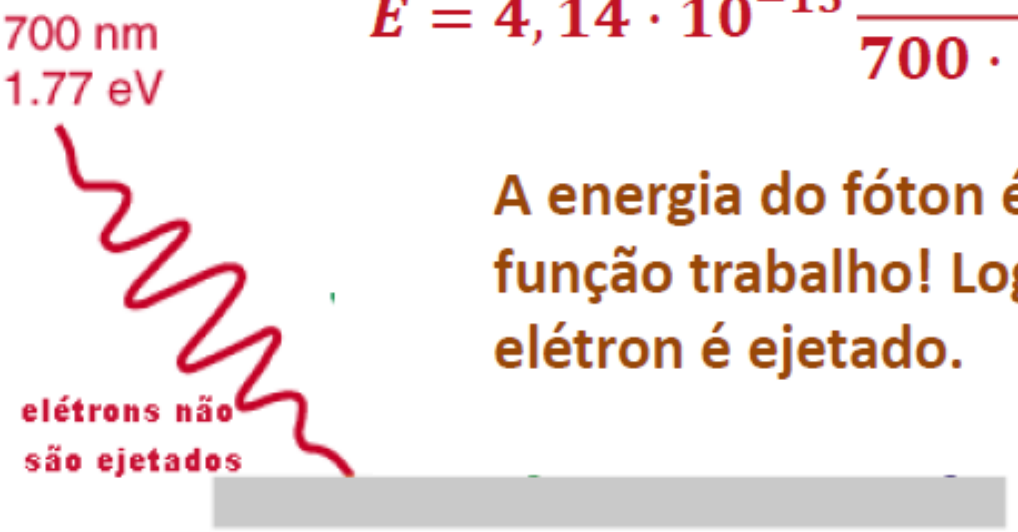
Tabela 38.1 Função trabalho de diversos elementos.

Elemento	Função trabalho (eV)
Alumínio	4,3
Carbono	5,0
Cobre	4,7
Níquel	5,1
Ouro	5,1
Prata	4,3
Silício	4,8
Sódio	2,7

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$$E = 4,14 \cdot 10^{-15} \frac{3 \cdot 10^{8}}{700 \cdot 10^{-9}} = 1,77\ eV$$



A energia do fóton é menor que a função trabalho! Logo nenhum elétron é ejetado.

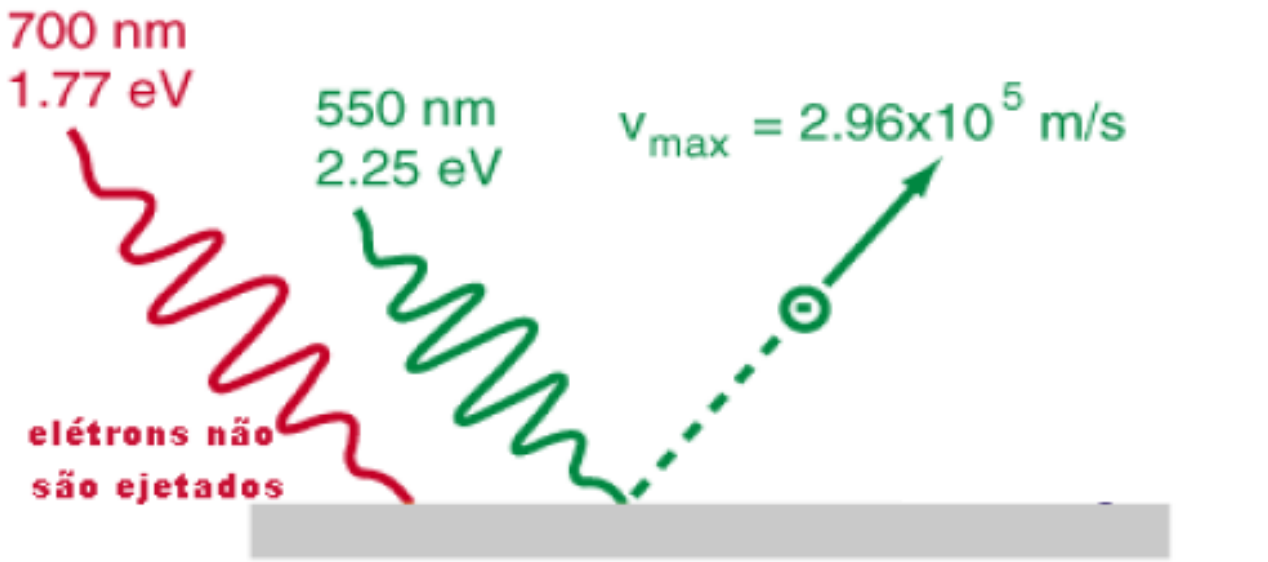
Potássio: 2,0 eV são necessários para ejetar elétron

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod1.html

1905

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz

$$E = h\frac{c}{\lambda} = 4,14 \cdot 10^{-15}\,\frac{3 \cdot 10^{8}}{550 \cdot 10^{-9}} = 2,25\ eV$$



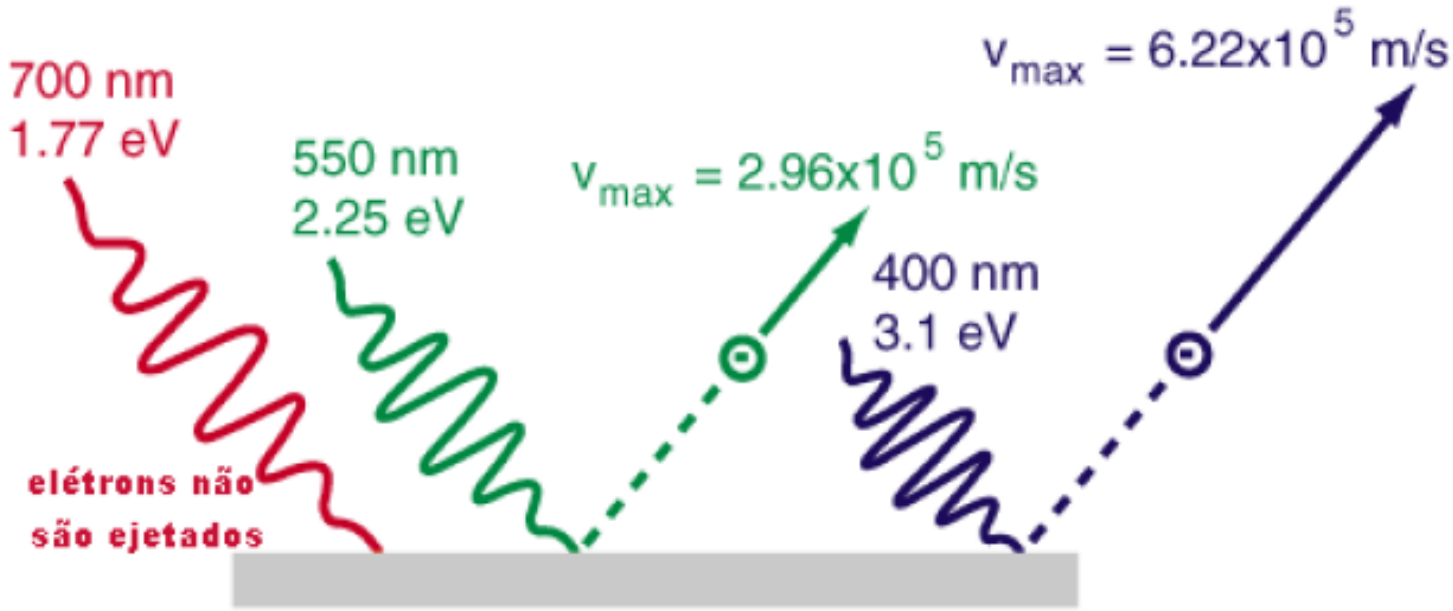
Potássio: 2,0 eV são necessários para ejetar elétron

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod1.html

1905

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz

$$E = h\frac{c}{\lambda} = 4,14 \cdot 10^{-15}\,\frac{3 \cdot 10^{8}}{400 \cdot 10^{-9}} = 3,1\ eV$$



Potássio: 2,0 eV são necessários para ejetar elétron

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod1.html

Aplicação:



- ✓ Como o painel solar converte energia solar em corrente elétrica?

⇩

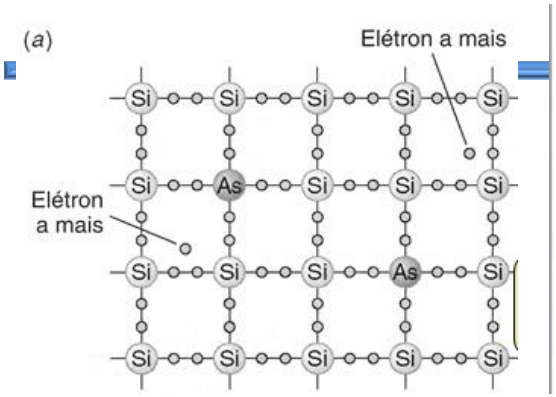
EFEITO FOTOELÉTRICO



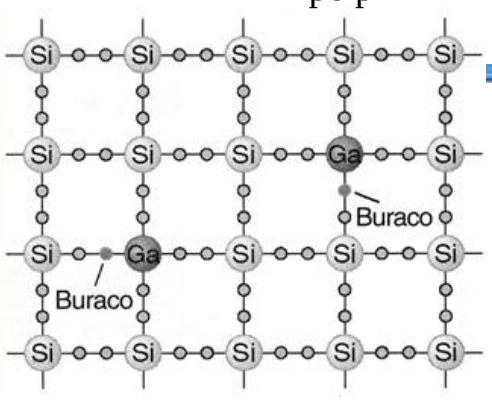
- ✓ Por que sua eficiência é tão baixa?
- ✓ Por que é tão caro?

Aplicação: Células Solares

Tipo n

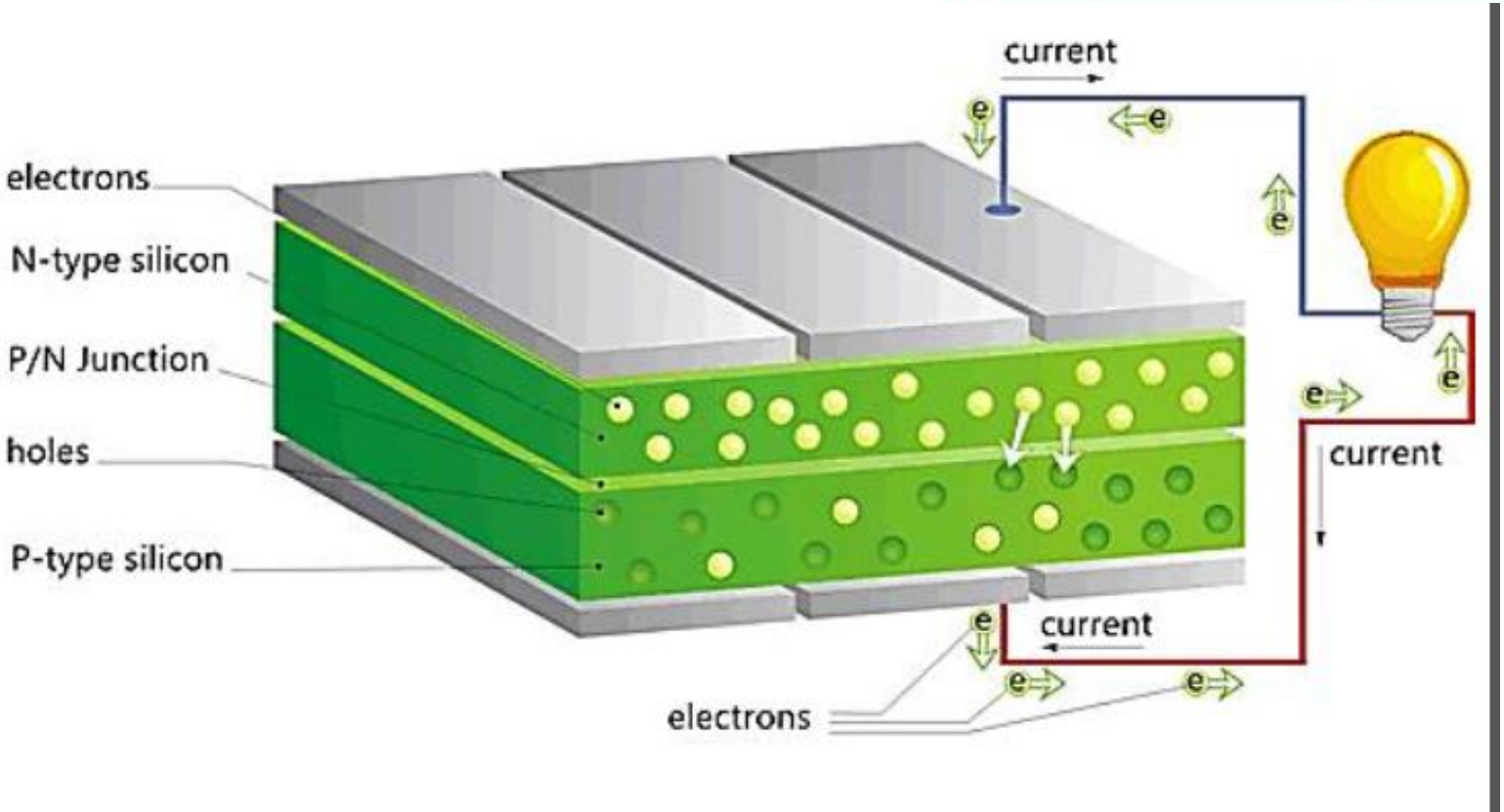


Tipo p



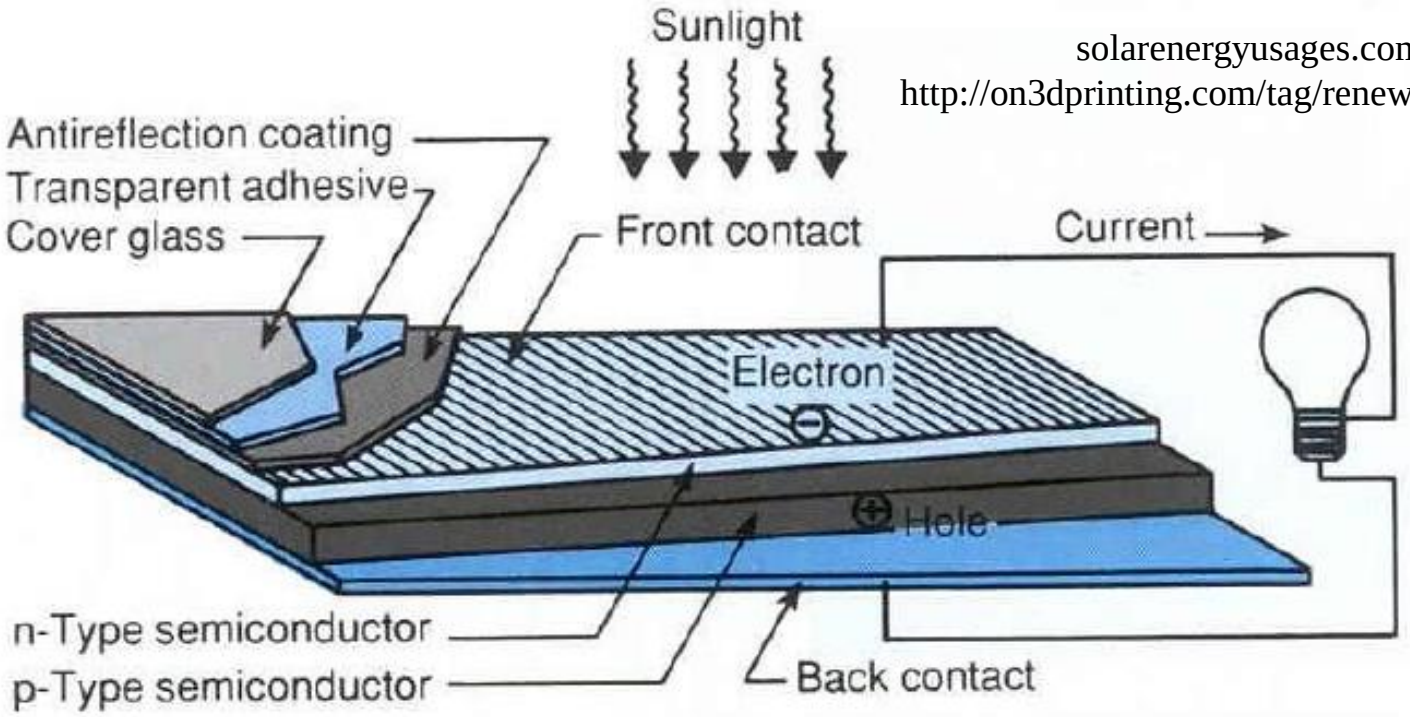


Quando um semicondutor tipo n entra em contato com um tipo p, há uma concentração desigual de elétrons e buracos e isto promove a difusão de elétrons para o tipo p e de buracos para o lado n, até o equilíbrio. Dá origem uma ddp V entre o lado n e o lado p (potencial de contato).



Aplicação: Células Solares

solarenergyusages.com
http://on3dprinting.com/tag/renewable-energy/



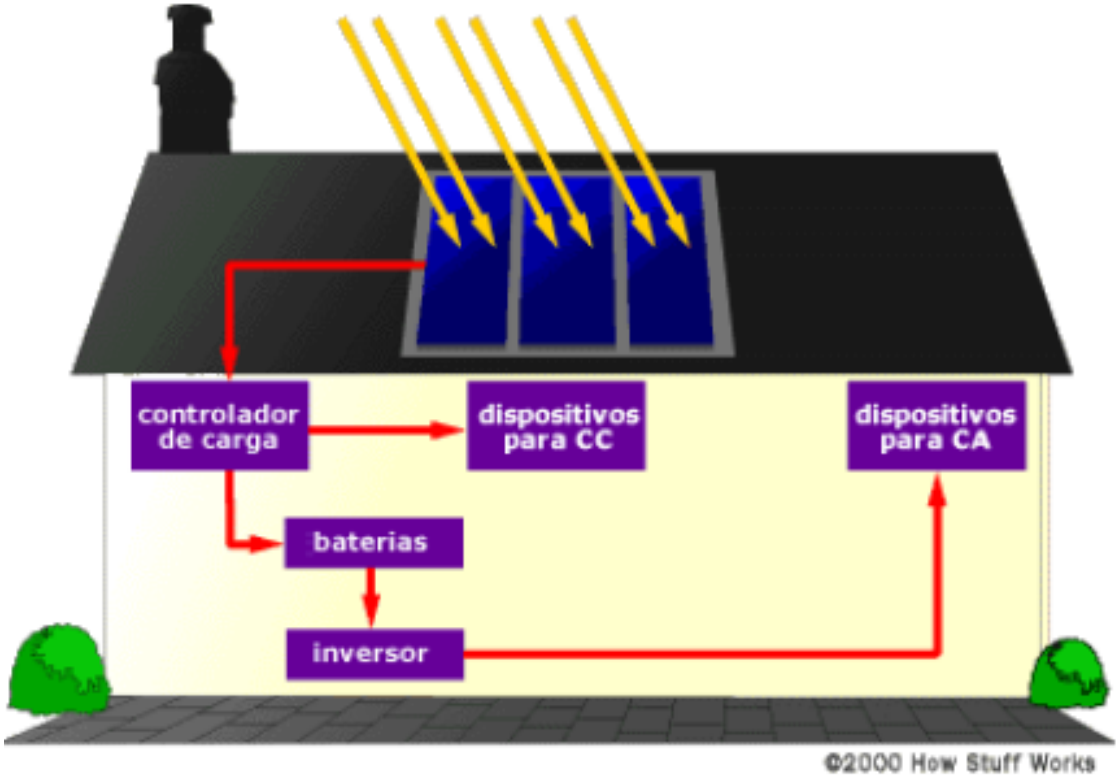
Na etapa final de fabricação a célula solar é coberta uma placa de vidro que a protege dos fenômenos atmosféricos. Os módulos são feitos pela conexão de várias células em série e em paralelo para atingir níveis úteis de voltagem e corrente.

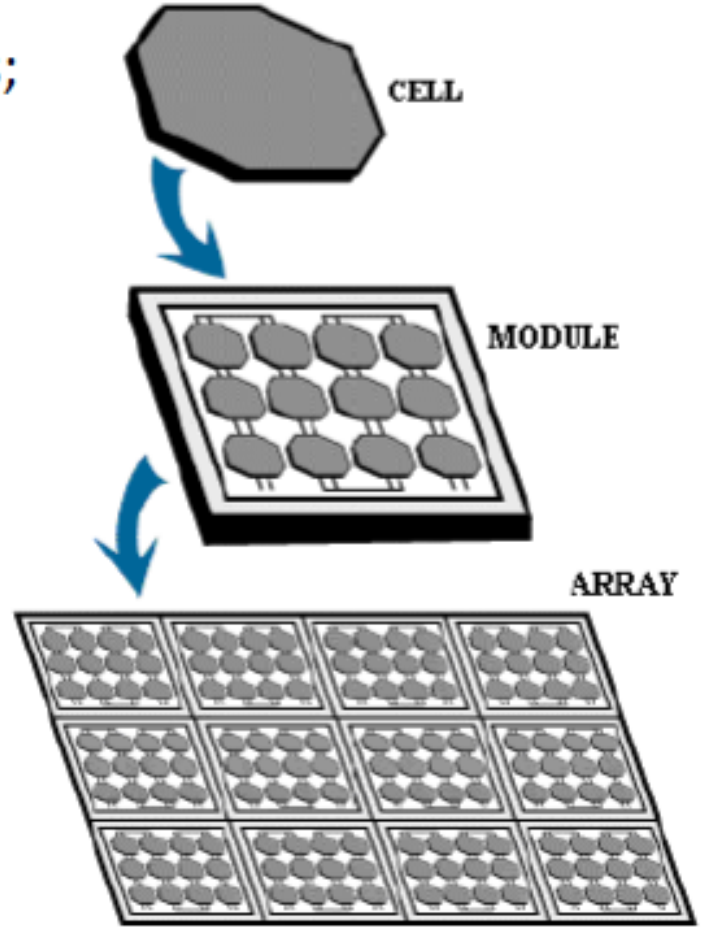
100%	Irradiação Solar Total
-3,0%	Reflexão e sombreamento dos contatos frontais
-23,0%	Fótons com energia insuficiente na Irradiância de ondas compridas
-32,0%	Fótons com energia excedente na Irradiância de ondas curtas
-8,5%	Recombinação de elétrons
-20,0%	Gradiente elétrica, especialmente na região do campo elétrico
-0,5%	Resistência em série (perdas térmicas na condução elétrica)
= 13,0%	**Energia elétrica utilizável.**

http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/

Aplicação: Células Solares

- ✓ Cada célula individual produz 1 a 2 watts;
- ✓ Célula → módulo → conjunto;





solarenergyusages.com
http://on3dprinting.com/tag/renewable-energy/

Aplicação: Células Solares

Células feitas de silício têm maior eficiência, mas são mais caras

1ª GERAÇÃO

Célula solar convencional



Com elevado custo de produção, as células de primeira geração são feitas de material rígido

MATERIAL Silício cristalino

FOTOCONVERSÃO MÁXIMA 24,7%

PARTICIPAÇÃO NO MERCADO 90%

2ª GERAÇÃO

Célula de filmes finos inorgânicos



Embora menos eficientes do que as células tradicionais, são mais baratas de produzir

MATERIAL Silício amorfo, silício policristalino ou microcristalino e seleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)

FOTOCONVERSÃO MÁXIMA 18,8%

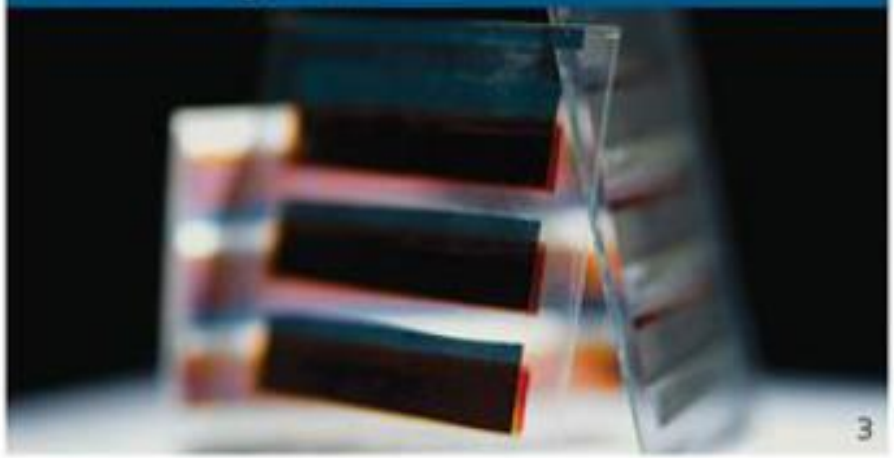
PARTICIPAÇÃO NO MERCADO 10%

http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/05/072-075_CelulasOrganicas_207-1.jpg

Aplicação: Células Solares

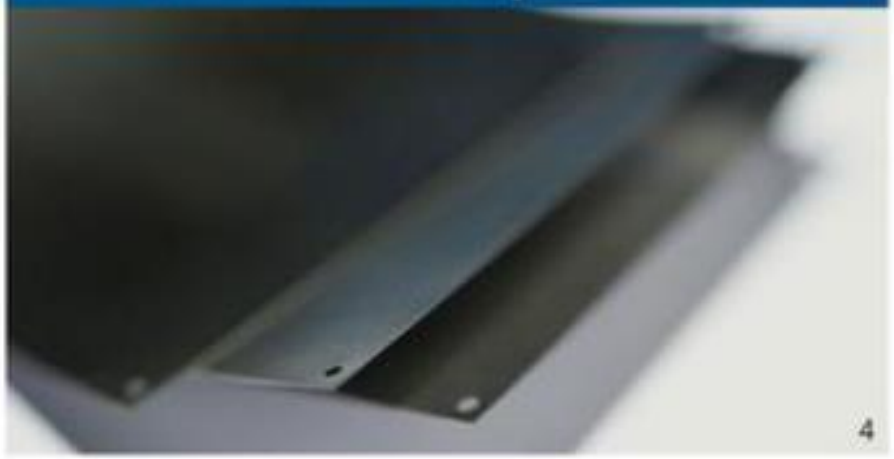
3ª GERAÇÃO

Célula orgânica



Leves e flexíveis, essas células fazem o aproveitamento de fótons via nanotecnologia
MATERIAL Semicondutor à base de carbono
FOTOCONVERSÃO MÁXIMA 12%
PARTICIPAÇÃO NO MERCADO não é comercializada

Célula sensibilizada por corantes



Também chamadas de híbridas, as células DSSC usam materiais orgânicos e inorgânicos
MATERIAL Corantes e eletrólito
FOTOCONVERSÃO MÁXIMA 11,4%
PARTICIPAÇÃO NO MERCADO não é comercializada

http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/05/072-075_CelulasOrganicas_207-1.jpg

REFERÊNCIAS UTILIZADAS NESTA AULA

- **Halliday, Resnick e Walker - Fundamentos de Física –Vol. III e IV – 9ª ed.**
- **Sears e Zemansky - Fundamentos de Física Vol. III e IV – 12ª ed.**
- **H. Moysés Nussenzveig - Curso de Física Básica – Vol. 3 e 4**
- **R. Eisberg e R. Resnick, 4a edição, Ed. Campus Ltda., RJ, Brasil, 1986. *Física Quântica,***
- **- F. Caruso e V. Oguri, Ed. Campus, RJ, 2006. *Física Moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos,***
- **P. A. Tipler e R. A. Llewellyn, 3a edição, LTC editora, RJ, Brasil, 2001. *Física Moderna,***
- **Serway, Moses and Moyern -Modern Physics**
- **S.T. Thornton e A. Rex, Thomson Brooks/Cole, USA, Third Edition. *Modern Physics***
- ***http://hyperphysics.phy.astr.gsu.edu/hbase/mod1.html***
- http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico
- solarenergyusages.com - http://on3dprinting.com/tag/renewable-energy/
- http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/05/072-075_CelulasOrganicas_207-1.jpg

Física Moderna: Modelo atômico

PERGUNTA: COMO É O ÁTOMO?
QUAL O MELHOR MODELO QUE O DESCREVE ?

- Para entendê-lo necessitamos olhar os espectros atômicos.
- Sabemos que a radiação térmica emitida pelos corpos aquecidos (radiação de corpos negro) **É CONTÍNUA**



- O espectro de emissão de átomos é discreta



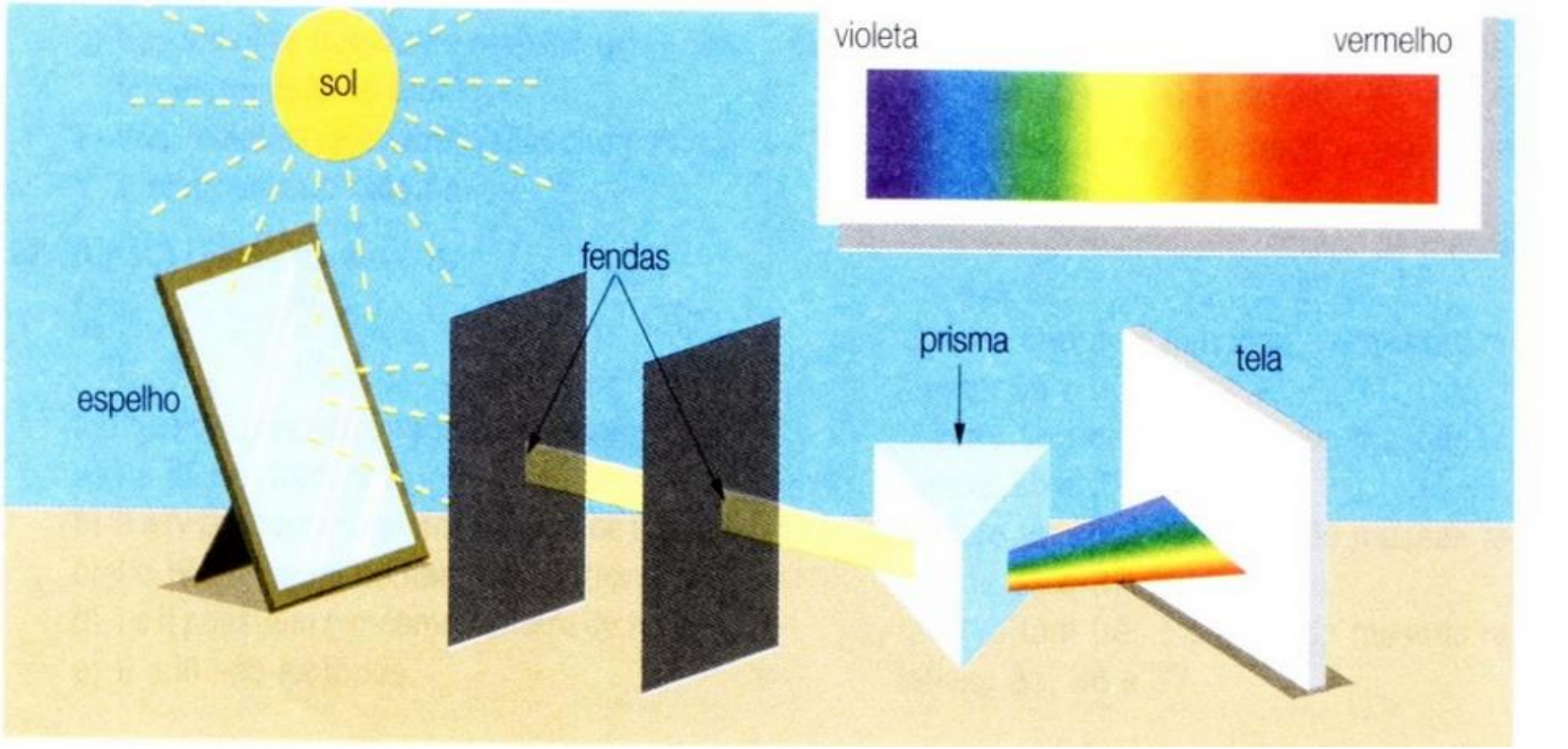
- Apenas alguns comprimentos de onda estão presentes



Onde vejo isto?

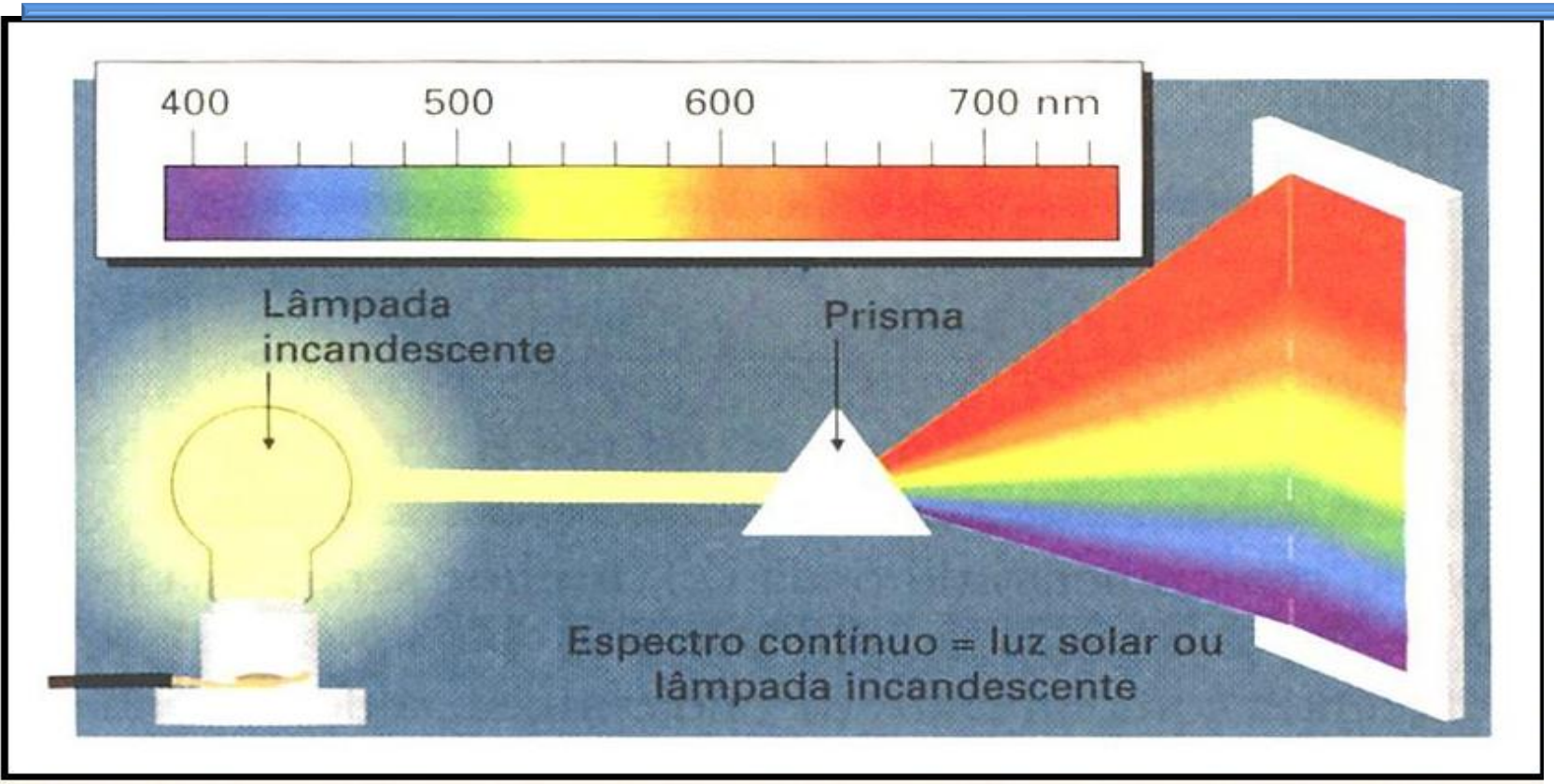
Espectros Contínuos

- Século XVII - **Isaac Newton** - quando a luz solar atravessa um prisma, ocorre a dispersão dos componentes da luz - **espectro contínuo**.



http://pt.slideshare.net/joanannepo/modelo-de-bohr-25973331

Espectros Contínuos



http://slideplayer.com.br/slide/1772561/

- Os espectros de emissão dos elementos e compostos químicos podem ser divididos em três categorias:
  - Espectros contínuos
  - Espectros de Bandas
  - Espectros de Linhas

Espectros Discretos

Em 1855: Bunsen descobriu que um composto quando submetido à ação de uma chama, **emite luz com cores características para cada elemento químico.**



http://pt.slideshare.net/joanannepo/modelo-de-bohr-25973331