

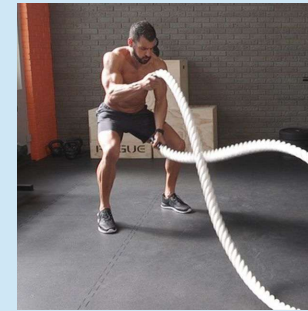
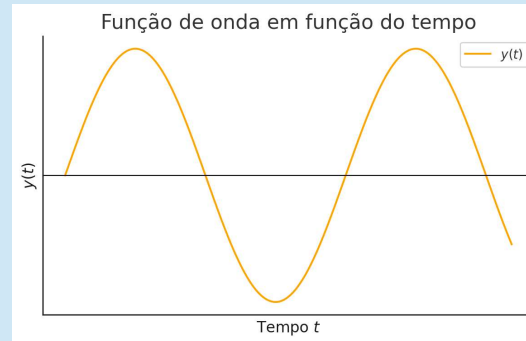
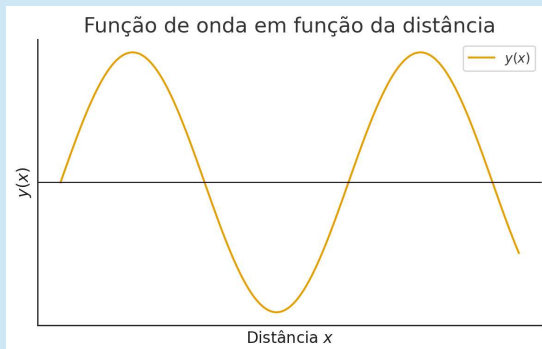
Química

Primórdios da Mecânica Quântica

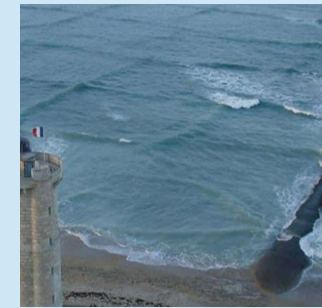
Prof. Diego J. Raposo
UPE – Poli
2025.2

Ondas

- Para entender melhor a natureza do átomo e como suas partículas estão organizadas é necessário entender os conceitos de onda e de luz.
- **Ondas** são oscilações em uma grandeza y periódicas no espaço (x) e no tempo (t);
- y é representada por funções trigonométricas, sendo $y(x,t)$ chamada de **função de onda**.



1D



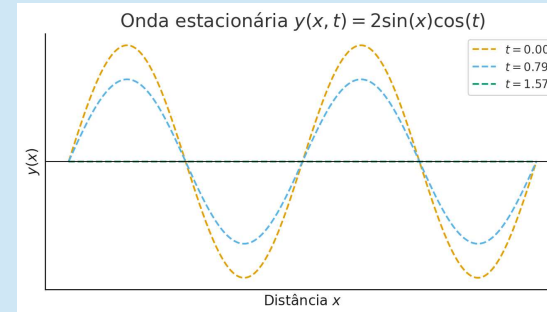
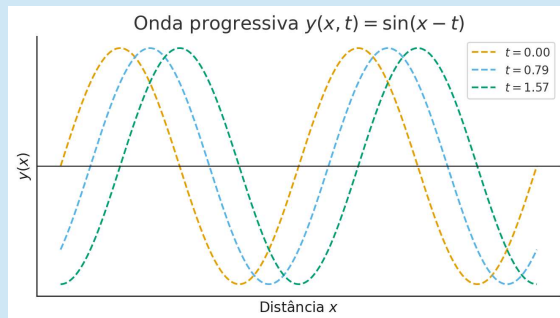
2D



3D

Ondas

- Existem **ondas progressivas** (se propagam com velocidade v ao longo de um eixo) e **estacionárias** (confinadas numa região do espaço);



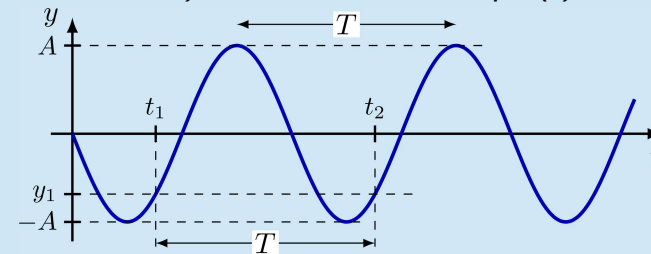
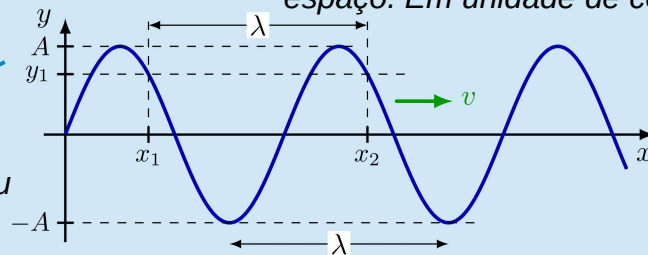
- A periodicidade no espaço e no tempo é caracterizada pelos parâmetros λ (**comprimento de onda**) e T (**período**), respectivamente;

Comprimento de onda: distância a partir da qual há uma repetição na função no espaço. Em unidade de comprimento (m)

Período da onda: tempo que leva para voltar para posição inicial (para andar 1 comprimento de onda). Em unidade de tempo (s)

Amplitude:

diferença entre $y = 0$ e o máximo ou o mínimo



Ondas

- Em ondas progressivas T e λ estão relacionados a v :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \xrightarrow{\text{Em um ciclo}} v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T}$$

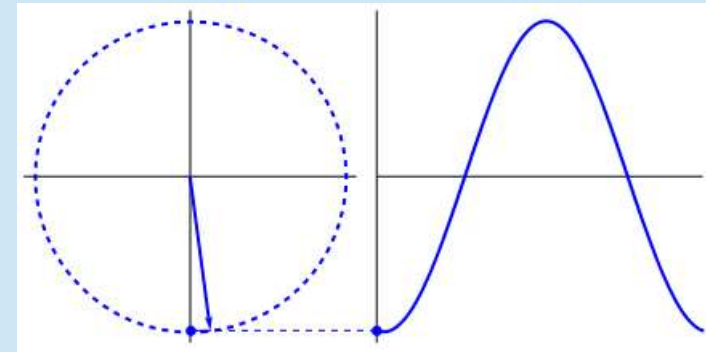
- Define-se a frequência f como:

$$f = \frac{1}{T}$$

Em unidades de $(\text{tempo})^{-1}$. Se tempo = s, define-se a unidade $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$;

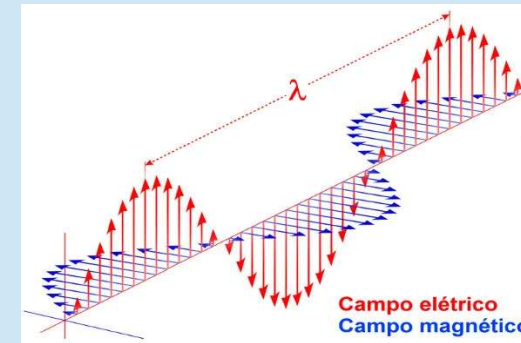
- A frequência mede a quantidade de ciclos por unidade de tempo;
- Juntando essas informações, vemos que para ondas progressivas:

$$v = \lambda f$$

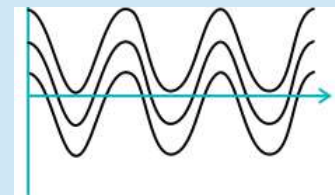


Radiação eletromagnética

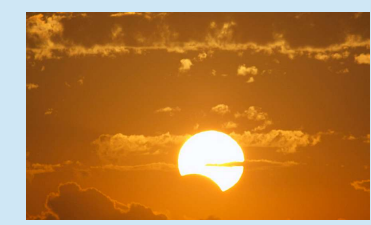
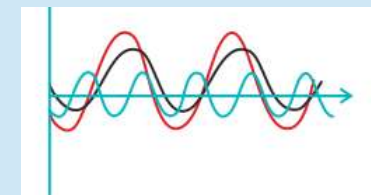
- A luz é uma onda que se propaga em diferentes meios, inclusive no vácuo, com velocidade constante $c = 3 \cdot 10^8$ m/s:
- Como é onda: $c = \lambda f$
- Ela é resultado da oscilação de campos elétricos e magnéticos, por isso é chamada de **radiação eletromagnética**;
- A radiação eletromagnética pode ser **monocromática** (um comprimento de onda) ou **policromática** (vários comprimentos de onda).



monocromática

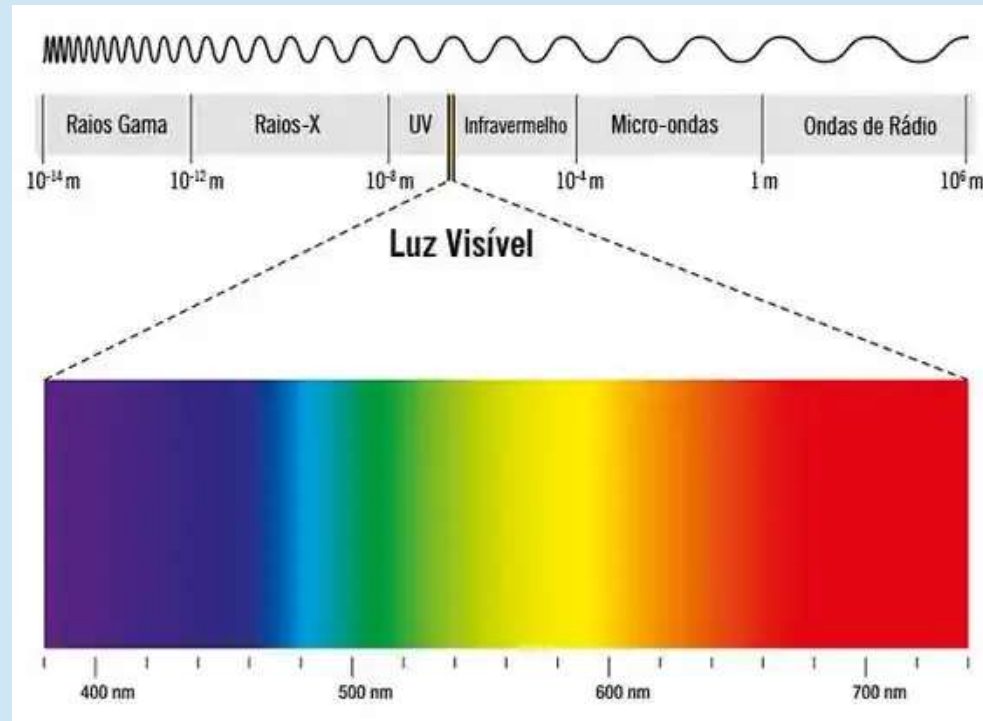


policromática



Radiação eletromagnética

- A faixa de todos os possíveis comprimentos de onda é chamada de espectro eletromagnético.



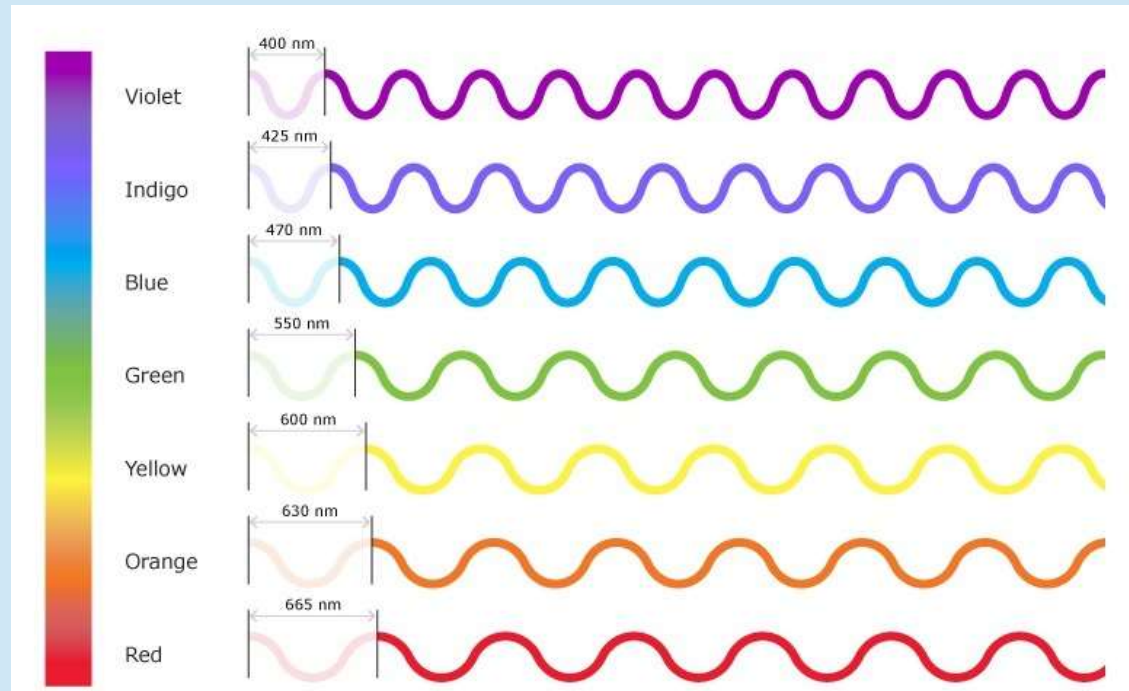
Radiação eletromagnética

- Quando λ aumenta, f diminui, e vice-versa, para manter a velocidade c constante.

$$c = \lambda f$$

λ diminui
 f aumenta

λ aumenta
 f diminui



Exercícios

- 1) Calcule a frequência da luz vermelha (750 nm) em Hz.
- 2) Calcule o comprimento de onda da luz com 10^{16} Hz em Å.
- 3) Qual laser possui maior comprimento de onda, o verde ou o vermelho? Qual possui maior frequência?

Fenômenos anômalos

- A mecânica quântica surgiu para explicar fenômenos que a física clássica (leis de Newton e equações de Maxwell) não conseguiam descrever corretamente. São sobretudo:



Radiação do
corpo negro



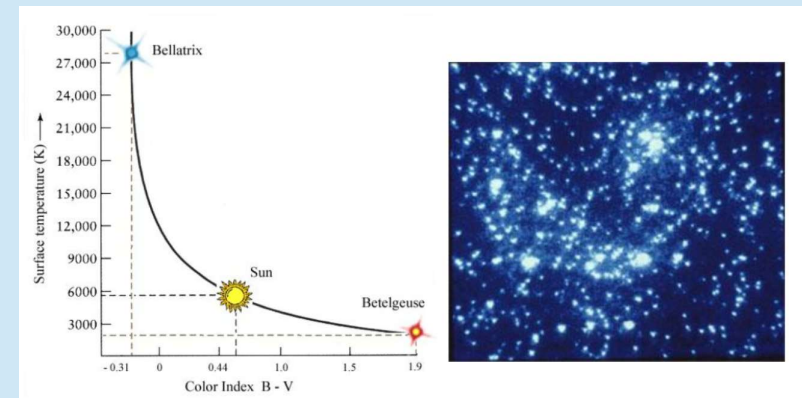
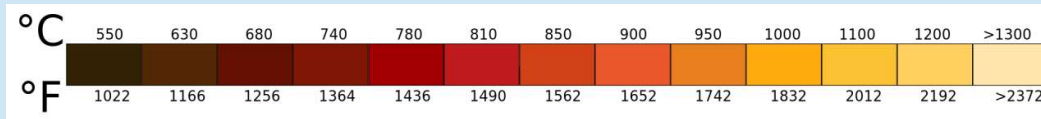
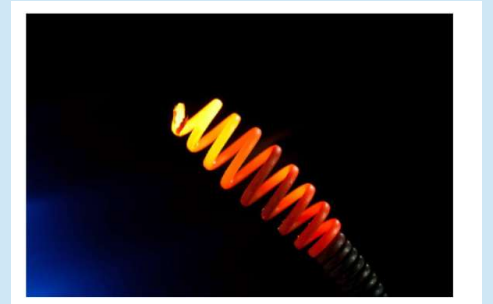
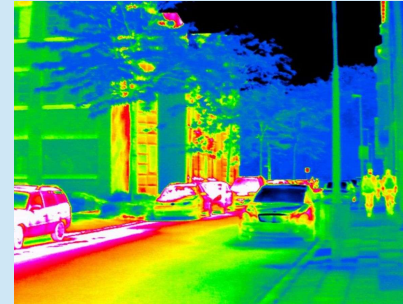
Efeito fotoelétrico



Linhas espectrais

Radiação do corpo negro

- Corpos aquecidos emitem luz;
- Corpos negros ideais não refletem ou emitem outro tipo de luz, por isso é chamada de **radiação do corpo negro**;
- Observou-se que quanto maior a temperatura maior a frequência da luz emitida, do infravermelho (moderadas) até uma pequena parte do ultravioleta (altas);
- Pode-se usar tal fenômeno para estimar temperatura pela cor.



Radiação do corpo negro

- Para explicar tal fenômeno Max Planck assumiu que as ondas eletromagnéticas eram formadas pela **vibração dos átomos no sólido aquecido**. Sobre essas vibrações ele propôs duas hipóteses revolucionárias:

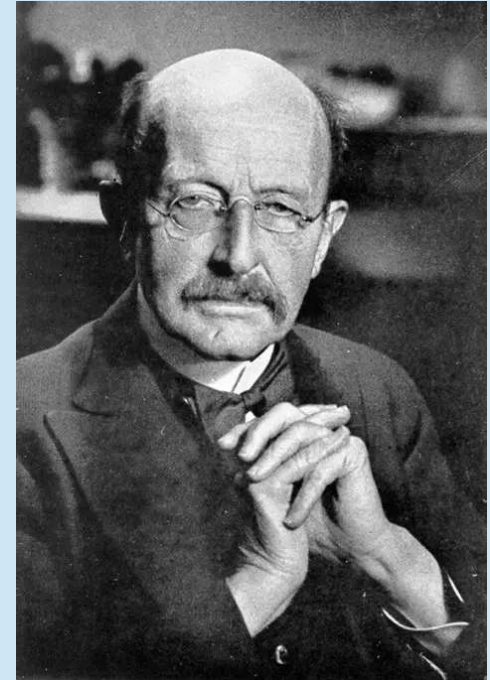
- 1) **Hipótese quântica**: a energia das vibrações não é contínua (pode variar arbitrariamente) e sim discreta, em que a energia total é a soma de um número inteiro (n) de pacotes ("*quantum*") de energia. Essa energia, portanto, é um múltiplo inteiro de uma energia mínima diferente de zero:

$$E_{\text{vib}} = nE_{\text{min}}$$

- 2) **Relação com a frequência**: a energia das vibrações é proporcional a frequência de vibração dos átomos:

$$E_{\text{vib}} = hf_{\text{vib}}$$

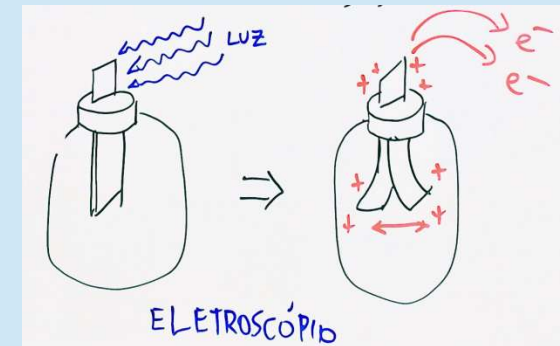
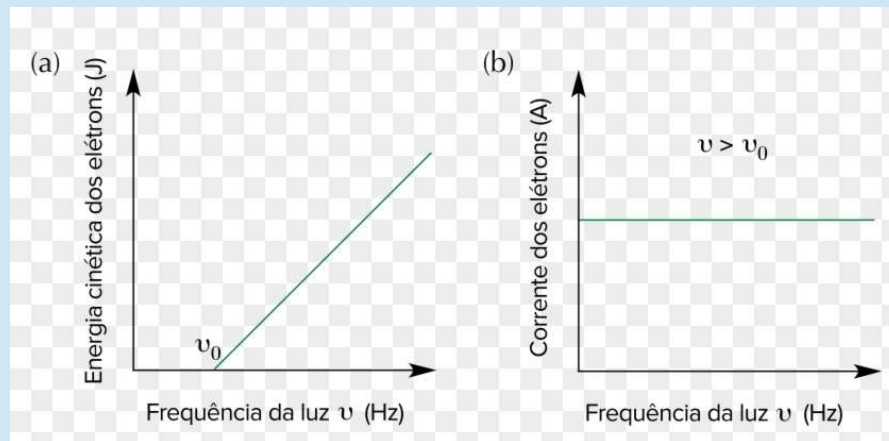
- Onde h é chamada de **constante de Planck**, $6,63 \cdot 10^{-34}$ J s.



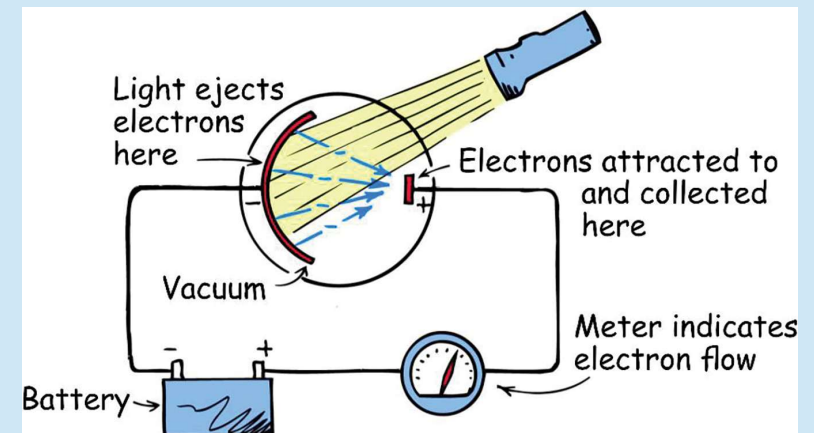
Efeito fotoelétrico

ver vídeo

- É possível arrancar elétrons de metais pela incidência de luz;
- Observa-se que **abaixo de certa frequência** (que depende do tipo de metal) **isso não ocorre**;
- **A partir dela**, elétrons são removidos, e quanto maior a frequência da luz **maior a energia cinética** (velocidade) desses elétrons;



(vídeo faz contrário)



(medindo energia cinética dos elétrons)

Efeito fotoelétrico

- Einstein pôde explicar esse comportamento seguindo as mesmas hipóteses propostas por Planck, mas aplicadas à oscilações da luz ao invés de átomos em um sólido:
- 1) Hipótese quântica:** A energia da radiação eletromagnética é discreta, sendo a soma de um número inteiro de uma energia mínima:

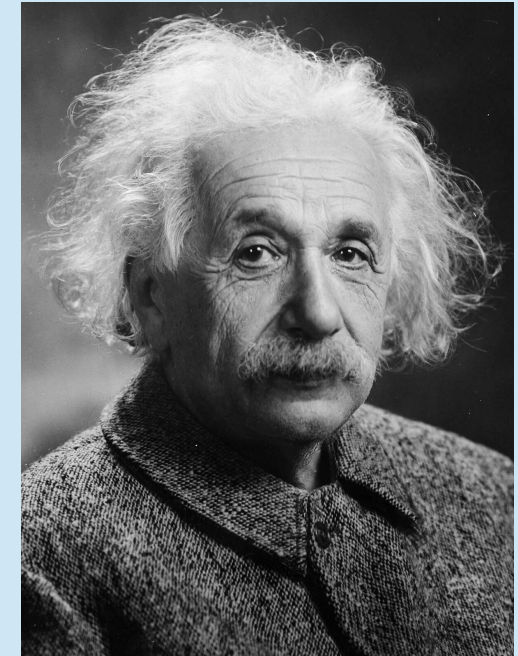
$$E_{\text{luz}} = nE_{\text{min}}$$

Isso equivale a um sistema de partículas com energia mesma energia mínima, a energia de uma partícula chamada **fóton**:

$$E_{\text{min}} = E_{\text{fóton}}$$

- 2) Relação com a frequência:** a energia de um fóton é proporcional a frequência da luz, seguindo a equação de Planck:

$$E_{\text{fóton}} = hf_{\text{fóton}}$$



Efeito fotoelétrico

- Com isso ele deduziu que a energia do fóton é usada para dois fins:
- a)** retirar o elétron do metal, o que só acontece se ele tiver uma energia superior a uma energia mínima chamada função trabalho, ϕ , associada a uma frequência mínima:

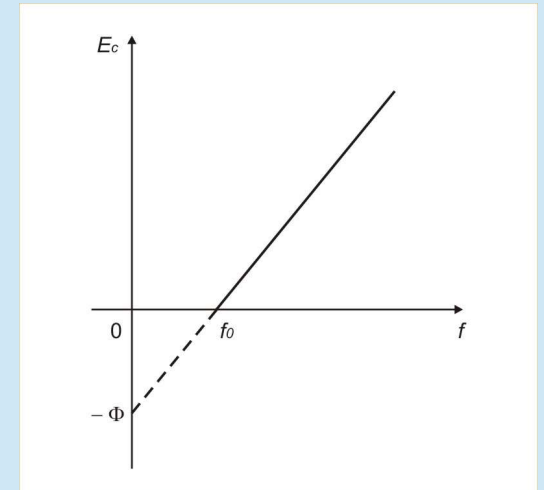
$$\phi = hf_0$$

- b)** caso a frequência seja maior a mínima, a energia restante é usada para fornecer energia cinética ao elétron, tão maior quanto a frequência do fóton:

$$hf_{\text{fóton}} = \phi + E_{\text{cin}} = hf_0 + m_e v^2 / 2$$

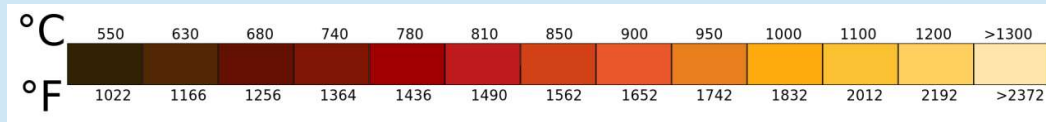
- Portanto, em um gráfico de energia cinética em função da frequência, temos algo como indicado ao lado:

$$E_{\text{cin}} = hf_{\text{fóton}} - \phi$$



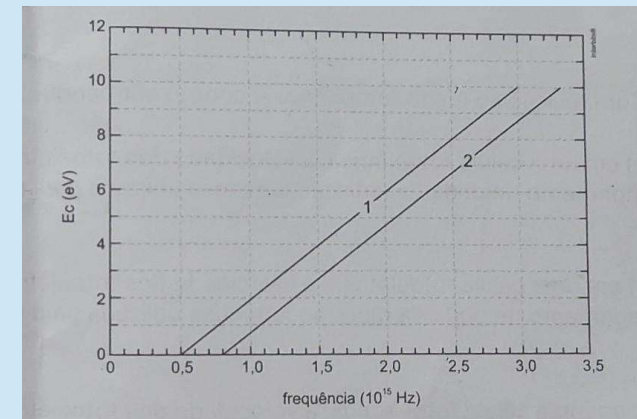
Exemplos

- 4) Sendo um metal aquecido até que sua coloração fique amarelada (luz com comprimento de onda de 590 nm), responda: a) qual a temperatura do metal? b) qual a energia dos fótons, em elétron-volt ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)?



- 5) A luz laranja possui comprimento de onda de 641 nm. Qual a energia de um fóton dessa luz? Se um pulso de laser emite $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ de energia por pulso, quantos fótons são emitidos?
- 6) São necessários 258 kJ para ejetar e^- de uma certa superfície metálica. Qual o maior comprimento de onda da luz (em nm) que pode ser usado para ejetar elétrons da superfície do metal via efeito fotoelétrico?
- 7) Quais os metais 1 e 2?

Metal	W (eV)
Ouro	5,3
Prata	4,7
Neodímio	3,3
Césio	2,0



Bons estudos!

Apêndices

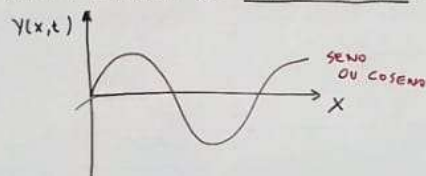
PARA ENTENDER MELHOR A NATUREZA DO ÁTOMO E COMO SUAS PARTÍCULAS ESTÃO ARRANJADAS É NECESSÁRIO ENTENDER O CONCEITO DE ONDA E DE LUZ

ONDAS

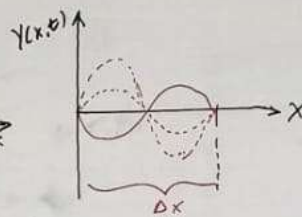
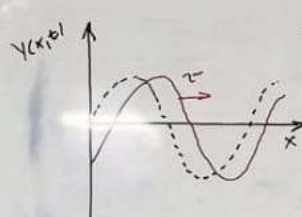
- ONDAS SÃO OSCILAÇÕES EM UMA GRANDEZA y PERIÓDICA NO ESPAÇO (x) E NO TEMPO (t)

EX.: 1D: CORDA, 2D: ONDAS DO MAR, 3D: SOM

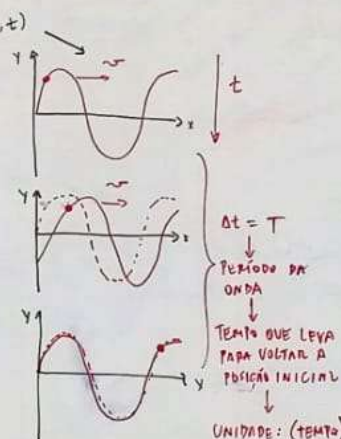
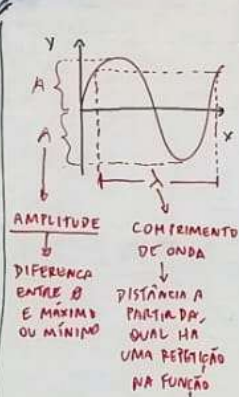
- y É REPRESENTADA POR FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS. $y(x,t)$ É CHAMADA DE FUNÇÃO DE ONDA.



- EXISTEM ONDAS PROGRESSIVAS (SE PROPAGAM COM VELOCIDADE v) E ESTACIONÁRIAS (CONFINADAS EM UMA REGIÃO DO ESPAÇO Δx)



- PERIODICIDADE NO ESPAÇO E NO TEMPO É CARACTERIZADA PELOS PARÂMETROS λ (COMPRIMENTO DE ONDA) E T (PERÍODO), RESPECTIVAMENTE



- EM ONDAS PROGRESSIVAS T E λ ESTÃO RELACIONADOS A v :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \xrightarrow{\text{EM UM CICLO}} v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T}$$

DEFINE-SE A FREQUÊNCIA f COMO: $f = \frac{1}{T}$ EM UNIDADES DE (TEMPO)⁻¹

$$\text{ASSI: } \boxed{v = \lambda f}$$

N: DE CICLOS POR UNIDADE DE TEMPO

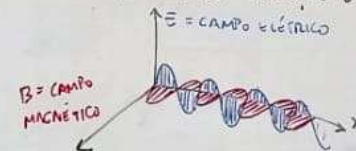
SE TEMPO = S
S⁻¹ = Hz
UNIDADE DE FREQUÊNCIA MUITO USADA

RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

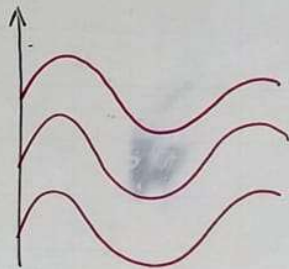
- A LUZ É UMA ONDA QUE SE PROPAGA EM DIFERENTES MEIOS, INCLUSIVE NO VÁCUO, COM VELOCIDADE CONSTANTE $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$\text{COMO É ONDA: } v = \lambda f \Rightarrow \boxed{c = \lambda f}$$

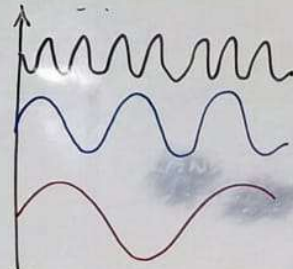
- ELA É RESULTADO DA OSCILAÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS POR ISSO É CHAMADA DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA



- A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA PODE SER MONOCROMÁTICA (1 COMPRIMENTO DE ONDA) OU POLICROMÁTICA (VÁRIOS COMPRIMENTOS DE ONDA).



MONOCROMÁTICA
(EX.: LASER)



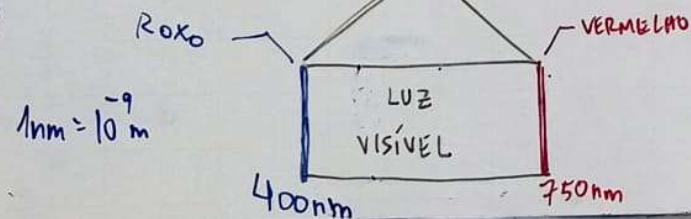
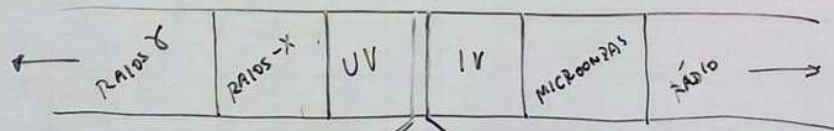
POLICROMÁTICA
(EX.: LUZ BRANCA)

- A FAIXA DE TODOS OS POSSÍVEIS COMPRIMENTOS DE ONDA É CHAMADA DE ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

λ DIMINUI
F AUMENTA

$$c = cte$$

λ AUMENTA
F DIMINUI



EXERCÍCIOS

1) CALCULE A FREQUÊNCIA DA LUZ VERMELHA

2) CALCULE O COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ COM 10^{16} Hz EM \AA

3) QUAL LASER POSSUI O MAIOR COMPRIMENTO DE ONDA, O VERDE OU O VERMELHO? QUAL POSSUI MAIOR FREQUÊNCIA?