

EFEITO FOTOELÉTRICO

ROTEIRO EXPERIMENTAL PARA O KIT FOTODUÍNO

Guia do Aluno:

Nome: _____

Turma: _____

Data: _____

Grupo: _____

Escola: _____

Introdução:

O efeito fotoelétrico, descoberto por Hertz em 1887 e posteriormente explicado por Albert Einstein em 1905, consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética.

A explicação do fenômeno desafiou o aparato teórico da Física Clássica pois, diferente do que era previsto pelas teorias clássicas, só ocorria a partir de um comprimento de onda específico para cada material. A explicação só foi possível a partir de uma visão corpuscular da luz, abordagem inovadora que supunha que a luz seria formada por pacotes discretos de energia chamados fótons.

Devido à importância histórica para a Física e ao desenvolvimento tecnológico que essa visão revolucionária propiciou, vamos realizar o experimento que segue para visualizar de maneira indireta o efeito fotoelétrico.

Objetivos:

Geral:

Determinar os efeitos da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria.

Específicos:

- Visualizar indiretamente o surgimento do efeito fotoelétrico através da variação da corrente entre duas placas eletrizadas.
- Analisar qualitativamente os efeitos decorrente da incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica;
- Demonstrar qualitativamente o efeito fotoelétrico.

Material Utilizado:

- Computador ou tablet;
- Pacote experimental composto de pico amperímetro, kit das lâmpadas, placas de diferentes condutores e grade;
- Cabo usb de impressora para a conexão com o Arduino uno ou mini usb para Arduino nano;
- Folha de papel branco.

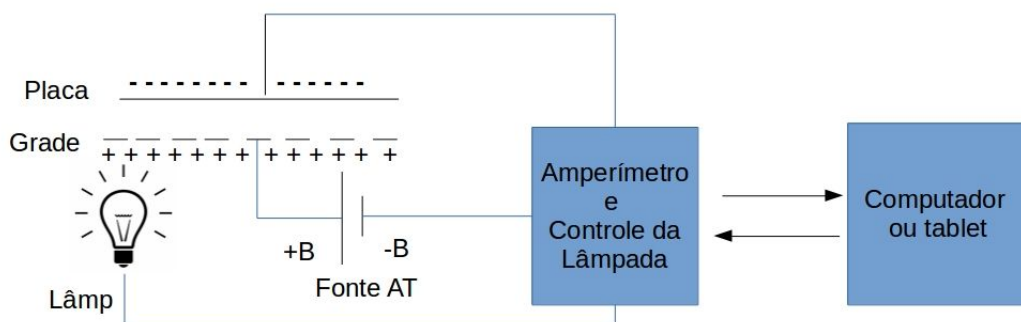


Fig. 1 - Esquema do aparato experimental.
Fonte própria.

Efeito fotoelétrico - luz como fótons

Procedimento Experimental:

- a) Inicialmente certifique - se que o material está em ordem, o computador ligado - caso esteja desligado, ligue-o;
- b) Lixe as superfícies da placa e da grade para remover qualquer camada de óxido ou gordura.
- c) Conecte a grade - conector verde - e a placa - conector azul - ao amperímetro como visto na figura.;



Fig. 2 - Posição da placa e grade no amperímetro.

- d) Após isso, conecte a caixa das lâmpadas ao suporte do amperímetro;
- e) Conecte o conector do cabo de acionamento das lâmpadas no soquete do amperímetro tendo o cuidado de coincidir o terminal vazio do conector com o pino ausente no soquete conforme indica a figura abaixo;

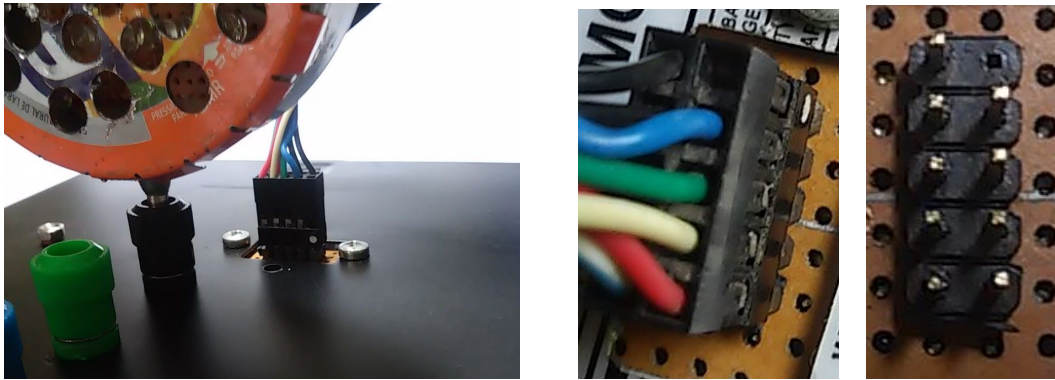


Fig. 3 - Disposição caixa das lâmpadas e detalhe da Conexão correta do conector das lampadas

- f) Conecte o amperímetro ao computador via cabos usb, ao tablet/celular via cabo usb e adaptador;

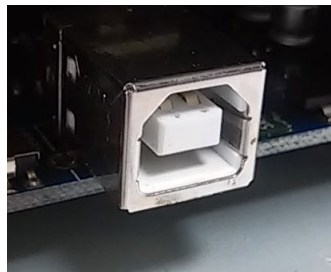


Fig. 4 - Porta USB do arduino uno (amperímetro) e adaptador usb para tablet/celular

- g) Ligue o amperímetro através da chave e inicie o programa clicando no ícone do Aplicativo "fotoelétrico" (na pasta de mesmo nome), ou toque (tablet / celular) para iniciar o aplicativo, caso não encontre o ícone provavelmente o aplicativo não foi instalado, se isso ocorrer chame o professor;
- h) Ao aparecer a tela do aplicativo (figura abaixo), observe a linha azul do gráfico, caso não esteja no meio do quadro, dê um clique no botão (palavra) "Auto" do ajuste de escala.



Fig. 5 - Aspecto da janela do programa e detalhe do botão de auto ajuste de escala

Observação: A linha azul indica a corrente elétrica. A curva sobe quando a corrente cresce e desce quando a corrente diminui.



IMPORTANTE: *Radiações eletromagnéticas de alta frequência são potencialmente nocivas à saúde humana. Assim, como forma de proteção, os alunos devem utilizar uma caixa de vidro sobre o aparato. o vidro bloqueia grande parte da radiação ultravioleta.*

De maneira complementar, mantenha a lâmpada UV desligada durante todo o tempo, somente ligue o tempo necessário à observação do fenômeno e evite olhar diretamente para ela. A figura abaixo mostra a caixa a ser utilizada durante o experimento.



Fig. 6 - Caixa de proteção

- i) Com tudo conectado e ligado, inicie o experimento da seguinte forma: ligue, aguarde alguns segundos e desligue cada uma das lâmpadas clicando nos interruptores da interface. Enquanto isso, observe o comportamento da linha do gráfico. A linha sobe ou desce? Há medição de corrente?

Observação: pequenas flutuações podem ser motivadas por correntes elétricas induzidas no amperímetro;

- j) Inverta a posição da placa e da grade e posicione a lâmpada a frente da grade no conector preto próximo da chave e repita o experimento para verificar se haverá medição de corrente com a polaridade invertida;
- k) Responda e entregue o questionário presente no apêndice A. Se necessário consulte os subsídios teóricos no apêndice B.

Referência:

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto: **Física Moderna Experimental e Aplicada**. Livraria da Física, São Paulo. 2004.

Disponível em: <http://bit.ly/29w7qUJ> Acesso em 05/2016

EINSTEIN, Albert(1905) : **On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light** Tradução para o inglês: TER HAAR, D. in **The Old Quantum Theory**. Acesso em 02/02/2016

Disponível em: http://users.physik.fu-berlin.de/~kleinert/files/eins_lq.pdf.

FOWLER, Michael **The Photoelectric Effect** University of Virginia notas de aula. Disponível em <http://bit.ly/29HVMd>. Acesso em 27/03/2015

LIMA, Carlos R A: **Efeito Fotoelétrico** (roteiro experimental) in Tópicos de Laboratório de Física Moderna, p. 23; 2 de Maio de 2013. Acesso em 02/02/16
Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. 1 ed.; São Paulo: Scipione, 2012. 3 v.

MIT, Department of physics: **The Photoelectric Effect**. Roteiro experimental. 25 de agosto de 2013, Acesso em 01/02/2016
disponível em: web.mit.edu/8.13/www/JLEperiments/JLExp005.pdf .

PENTEADO, Paulo Cesar M. **Física - ciência e tecnologia**; v. 1 - Mecânica; v. 2 - Termologia, óptica, ondas; v. 3 - Eletromagnetismo e Física Moderna. 1 ed.; São Paulo: Moderna, 2005

SANTOS, C. A. dos; **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, acesso em 27/03/2015. disponível em
<http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricoindex.html>,

TEIXEIRA. Rejane M. Ribeiro, **Efeito Fotoelétrico**, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Experimento Virtual, disponível em
<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01101/foto.html> , acesso em 27/03/2015.

STUEWER, Roger H.: **Einstein's Revolutionary Light-Quantum Hypothesis**. Artigo apresentado na HQ-1 Conferência sobre a História da Física Quântica no Instituto Max Planck para a História da Ciência, Berlin, Alemanha, Julho 5, 2007
Disponível em: <http://bit.ly/29TCROP>. Acesso em 02/2016

University of California, Irvine Environmental Health & Safety Office Radiation Safety Division, **ULTRAVIOLET LAMP SAFETY FACTSHEET**, Disponível em: <http://bit.ly/2a6DCQ8> Acesso em 05/2016

EFEITO FOTOELÉTRICO

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Apêndice A: Questionário:

Nome: _____ Turma: _____

Data: _____ Grupo: _____

Escola: _____

Com base no material que você recebeu e no experimento realizado, responda as questões abaixo. Quando for o caso, assinale com X a única alternativa correta.

1. Utilizando a figura 7 estime o comprimento de onda (λ) das lâmpadas utilizadas. Marque com um X o que ocorre com a linha do gráfico quando cada lâmpada é acesa.

Lâmpada	λ (nm)	Linha sobe	Linha desce	Linha inalterada
Vermelha				
Amarela				
Verde				
Azul				
UVA				
UVC				

2. Da mesma forma que no experimento com o plasma, a elevação da linha do gráfico indica a circulação de corrente entre placa e grade. Sendo assim, ao acender a lâmpada _____ houve a circulação de corrente no experimento.

3. Por que, somente quando a lâmpada UVC foi acionada, houve a circulação de corrente elétrica no experimento?

- () Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da grade para a placa;
- () Porque somente naquela situação surgem elétrons livres que se movem da placa para a grade;
- () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da grade para a placa;
- () Porque somente naquela situação surgem prótons livres que se movem da placa para a grade;
- () Porque somente naquela situação o plasma é formado por íons livres que se movem entre a placa grade.

4. A corrente elétrica é formada por elétrons que são ejetados da superfície metálica. De que depende a energia com que os elétrons são emitidos (ejetados)?

- () Da diferença de potencial entre a grade e a placa;
- () Da distância que separa a grade e a placa;
- () Da intensidade da luz incidente;
- () Do comprimento de onda da luz incidente;
- () Da velocidade da luz incidente;

5. O que ocorre no efeito fotoelétrico se aumentarmos apenas a intensidade da luz incidente na superfície metálica?

- () Nada acontece;
- () O efeito desaparece;
- () Se já houver corrente, ela aumenta ou seja, o número de elétrons emitidos aumenta;
- () Se já houver corrente, ela diminui ou seja, o número de elétrons emitidos diminui;
- () Se não houver corrente, ela surge.

6. Com a inversão da polaridade da placa e grade o efeito é observado? Por que?

7. Com base no resultado experimental e na tabela 1 (texto), determine qual o material poderia estar presente na placa. justifique.

8. Ainda orientando - se pela tabela 1, Calcule o comprimento de onda mínimo para que haja fotoemissão se a placa fosse de Césio. Em qual faixa do espectro se localiza o comprimento calculado?

9. (UDESC 2010) Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I - A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II - A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III - Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

10. (UDESC 2008) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.
2. quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.
3. a energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = hf - W$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo W é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

I - Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.

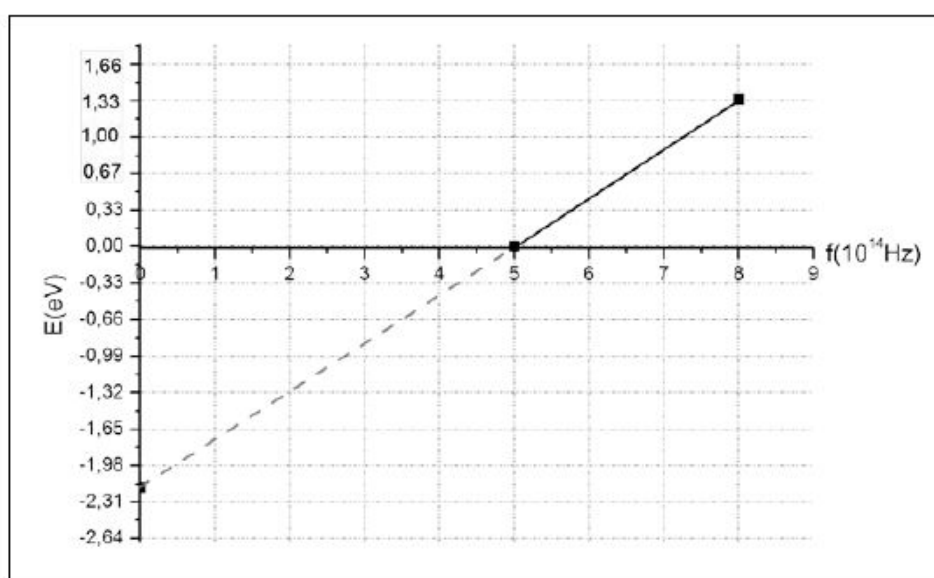
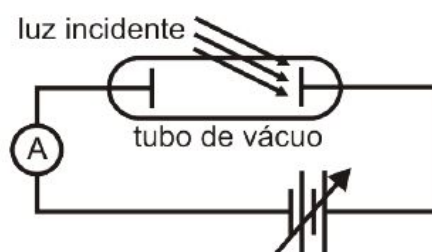
II - Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.

III - O metal precisa ser aquecido por um certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Todas as afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente a afirmativa I é verdadeira.

11. (UFSC - 2013 - 2) Em um experimento semelhante aos realizados por Hertz, esquematizado na figura abaixo, um estudante de física obteve o seguinte gráfico para a energia cinética (E) máxima dos elétrons ejetados de uma amostra de potássio em função da frequência (f) da luz incidente.



Com base nas características do fenômeno observado e no gráfico, assinale a(s) proposição (ões) **CORRETA (S)**.

(01). O valor da constante de Plank obtida a partir do gráfico é de aproximadamente $4,43 \times 10^{-15}$ eVs.

(02). A função trabalho do potássio é maior que 2,17 eV.

(04). Para frequências menores que $5,0 \times 10^{14}$ Hz, os elétrons não são ejetados do potássio.

(08). O potencial de corte para uma luz incidente de $6,0 \times 10^{14}$ Hz é de aproximadamente 0,44 eV.

(16). Materiais que possuam curvas de E (em eV) em função de f (em Hz) paralelas e à direita da apresentada no gráfico possuem função trabalho maior que a do potássio.

(32). A energia cinética máxima dos elétrons emitidos na frequência de $6,5 \times 10^{14}$ Hz pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade da luz incidente.

Soma: _____

EFEITO FOTOELÉTRICO

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Apêndice B: Subsídios Teóricos:

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons, por superfícies metálicas, devido à incidência de radiação eletromagnética. Essa emissão depende da frequência da radiação incidente e também do material de que é composto a superfície metálica. Os primeiros relatos da observação deste fenômeno são atribuídos à físico alemão Heinrich Rudolf Hertz em 1887, motivo pelo qual o fenômeno é, por vezes chamado de Efeito Hertz. A explicação do efeito fotoelétrico desafiou o aparato teórico da Física Clássica e motivou o início de uma nova física, a Física moderna.

De acordo com a previsão da física clássica vigente na época, a luz é uma onda eletromagnética e, portanto propaga - se continuamente pelo espaço. Esperava - se que a luz fosse absorvida pelos elétrons de maneira que em algum momento, a quantidade de energia absorvida seria suficiente para vencer as forças que mantinham os elétrons presos aos átomos. Isso ocorreria com qualquer radiação incidente, desde que houvesse tempo suficiente. Ainda segundo o modelo teórico, o aumento na intensidade da radiação aceleraria o processo.

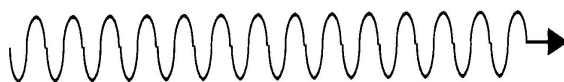


figura 7 - modelo clássico de propagação continua da radiação

O que se observou experimentalmente é que a fotoemissão dos elétrons não dependia da intensidade da radiação incidente, fontes de luz de baixa frequência, mesmo intensas, não provocavam o fenômeno enquanto fontes de alta frequência, mesmo tênues o produziam.

A explicação correta do efeito fotoelétrico é possível, somente se considerarmos que a luz se comporta como partículas. De acordo com a explicação proposta por Einstein e comprovada por Millikan. A radiação eletromagnética não é continua mas, se propaga em "pacotes" discretos, chamados fótons.

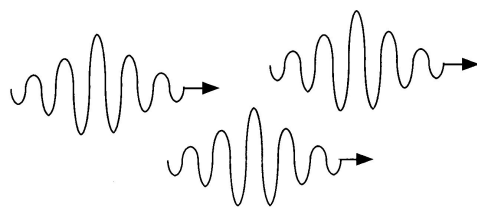


figura 8 - modelo quântico de propagação dos fótons

Este efeito decorre da interação do fóton incidente com elétrons dos átomos do metal na superfície da placa. Cada fóton interage com apenas um elétron e transfere toda sua energia para este.

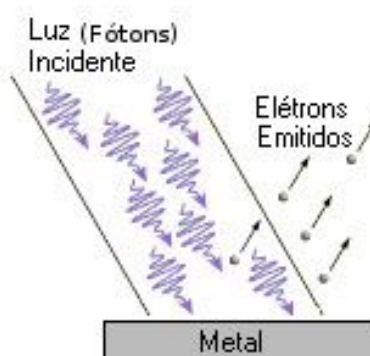


Fig. 9 - Fótons incidindo em superfície metálica e forçando a emissão de fotoelétrons.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Alexandre/einstein/fotoelettrico.html> (modificado)

A energia transferida pelo fóton (E) é dada pela equação:

$$E = h\nu$$

Onde h corresponde à constante de Plank ($h \approx 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s} \approx 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \times \text{s}$) e ν corresponde à frequência, em Hertz (Hz), da onda associada ao fóton. Os elétrons emitidos formam o que foi chamado de corrente fotoelétrica.

A energia cinética (K) com que os elétrons são ejetados da superfície metálica é:

$$K = h\nu - \phi$$

Com ϕ correspondendo à *função trabalho* ou energia mínima necessária ao aparecimento do efeito. A função trabalho depende do material da superfície de incidência.

$$\phi = E_0 = h\nu_0$$

A tabela 1 apresenta os valores para a função trabalho para alguns metais.

Tabela 1: Função trabalho de alguns metais

Material	Função trabalho ϕ ou E_0 (em eV)
Césio	2,1
Sódio	2,28
Alumínio	4,08
Zinco	4,3
Ferro	4,5

A frequência mínima ν_0 ou o comprimento de onda mínimo λ_0 , para cada material, necessária ao aparecimento do efeito podem ser calculados, conhecendo - se a função trabalho, a partir das equações modificadas abaixo:

$$\nu_0 = E_0 / h \qquad \lambda_0 = c / \nu_0 \quad \lambda_0 = c \ h / E_0$$

Obs: c é a velocidade da luz no vácuo $c = 3.10^8$ m/s.

Estas equações foram obtidas por Einstein e publicadas em artigo de 1905 (Einstein, 1905). A confirmação experimental, por Millikan, das equações de Einstein do efeito fotoelétrico rendeu, a Einstein, o premio Nobel de física de 1921.

A figura 12 mostra um diagrama do espectro eletromagnético com destaque para a parte visível, abaixo na figura, e ultravioleta, acima.

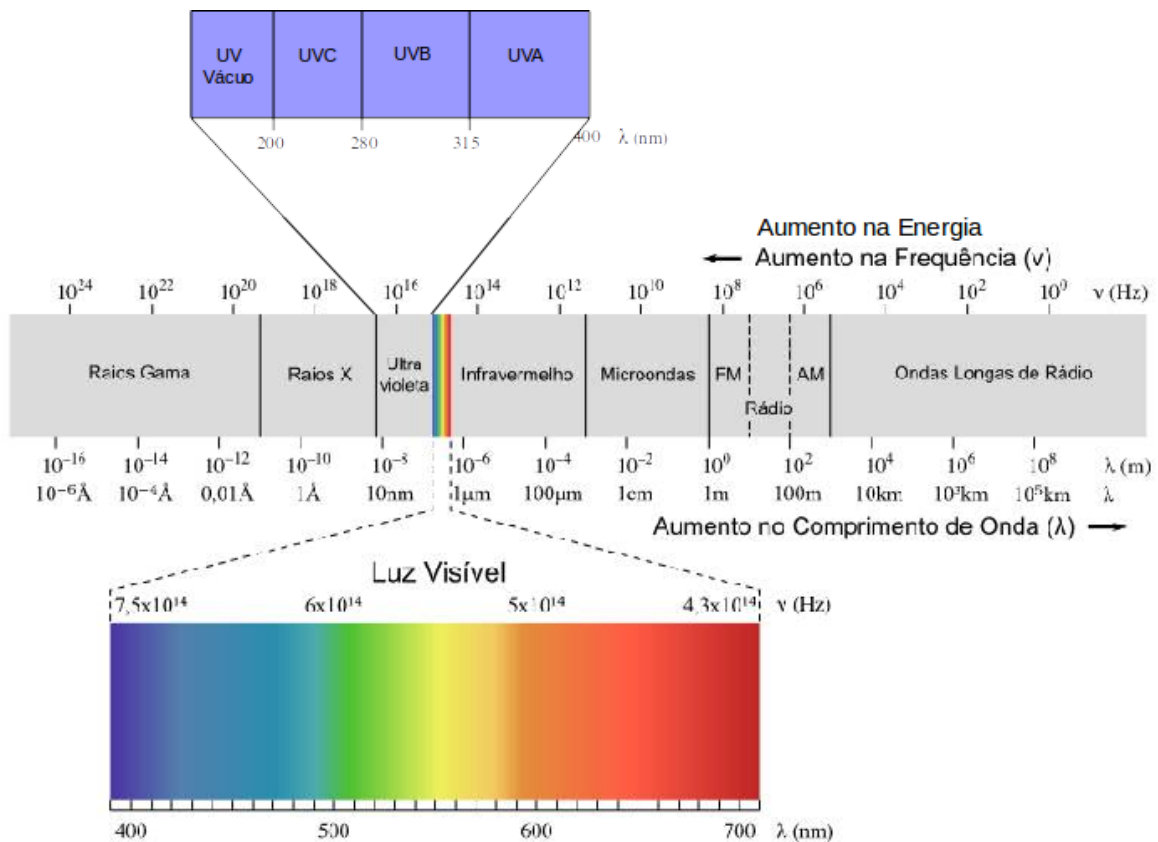


Fig. 10 - Espectro eletromagnético

Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com.br/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html>
(modificado)

Nele podemos observar a relação inversa entre frequência e comprimento de onda, quando a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui. Também é possível visualizar o aumento da energia associada ao fóton com o aumento da frequência.