

PRODUTO EDUCACIONAL

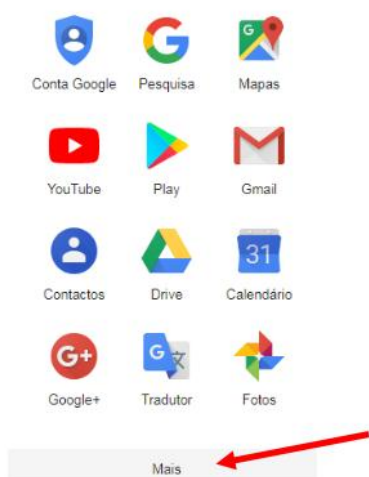
Abrindo uma sala no Google Classroom

É uma ferramenta do *Google* com a funcionalidade de uma sala de aula virtual. Essa plataforma permite-nos inserir vídeos, textos, *links*, e *hangouts*. Também é possível utilizar o drive para armazenamento de arquivos.

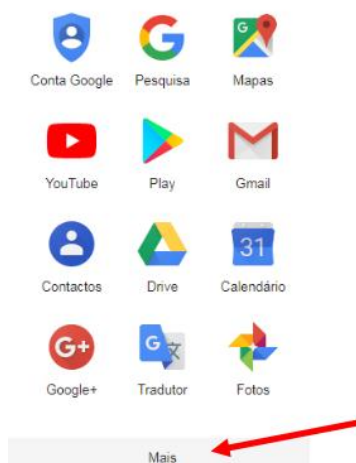
para acessá-lo basta *logar* em sua conta Gmail e clicar nas opções ferramentas do *google* como na figura abaixo.



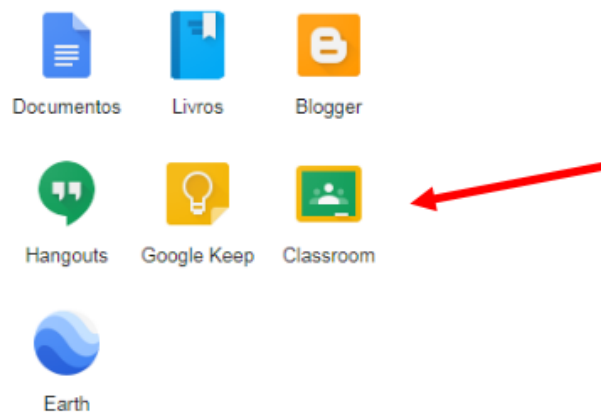
Aparecerá as seguintes opções:



Aparecerá as seguintes opções:



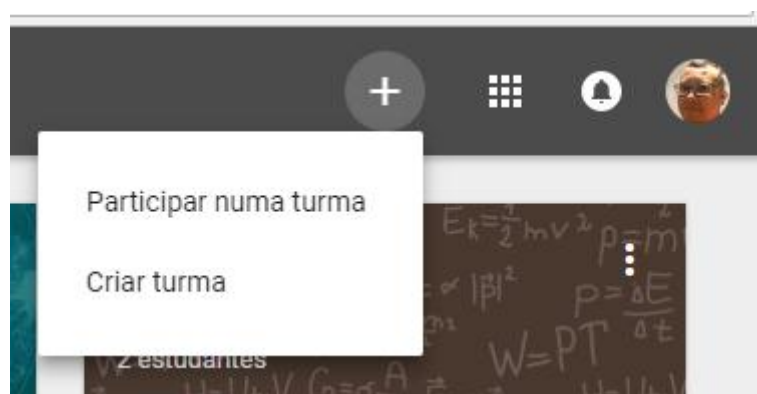
Como podemos ver o *classroom* não aparece, então clique em **Mais**. Aparecerá mais opções e o *classroom* estará lá.



Após o passo anterior o *classroom* abrirá uma nova aba. No caso abaixo já existem 4 turmas vinculadas ao *e-mail*. Para criar ou participar de uma nova turma clique em + no canto superior direito ao lado das ferramentas.



Aparecerá as opções



A opção “participar numa turma” você só poderá *logar*, se o criador da turma lhe fornecer o código de acesso a turma conforme figura abaixo:

Participar numa turma

Peça o código da turma ao seu professor e, em seguida, introduza-o aqui.

Código da turma

CANCELAR PARTICIPAR

Nessa opção você será um aluno da turma, suas atividades podem ser limitadas pelo moderador da turma que normalmente é o professor.

Na opção criar uma turma aparecerá a caixa de diálogo:

Está a utilizar o Classroom numa escola juntamente com alunos?

Se for esse o caso, a sua escola tem de se inscrever para obter uma conta gratuita do [G Suite for Education](#) antes de poder utilizar o Classroom. [Saiba mais](#)

O G Suite for Education permite que as escolas decidam quais os serviços Google que os respetivos alunos podem utilizar e fornece proteções de [privacidade e segurança](#) adicionais que são importantes num ambiente escolar. Os alunos não podem utilizar o Google Classroom numa escola com contas pessoais.

Li e compreendi o aviso acima. Não estou a utilizar o Classroom numa escola juntamente com alunos

RETROCEDER CONTINUAR

Para continuar você deve clicar na quadricula sinalizada, e automaticamente irá abrir outra caixa de diálogo já com a opção do nome de sua turma.

Criar turma

Nome do curso (obrigatório)

Seção

CANCELAR CRIAR

Criar turma

MNPEF GLEYDSON 2018

Seção

CANCELAR CRIANDO...

Após a criação da turma se abrirá a interface da turma da seguinte forma:

MNPEF GLEYDSON 2018 MURAL ALUNOS SOBRE

MNPEF GLEYDSON 2018

Gleydson x

Selecionar tema
Fazer upload da foto

Mostrar itens excluídos

Os alunos podem postar e comentar

PRÓXIMAS TAREFAS

Nenhuma tarefa para a próxima semana

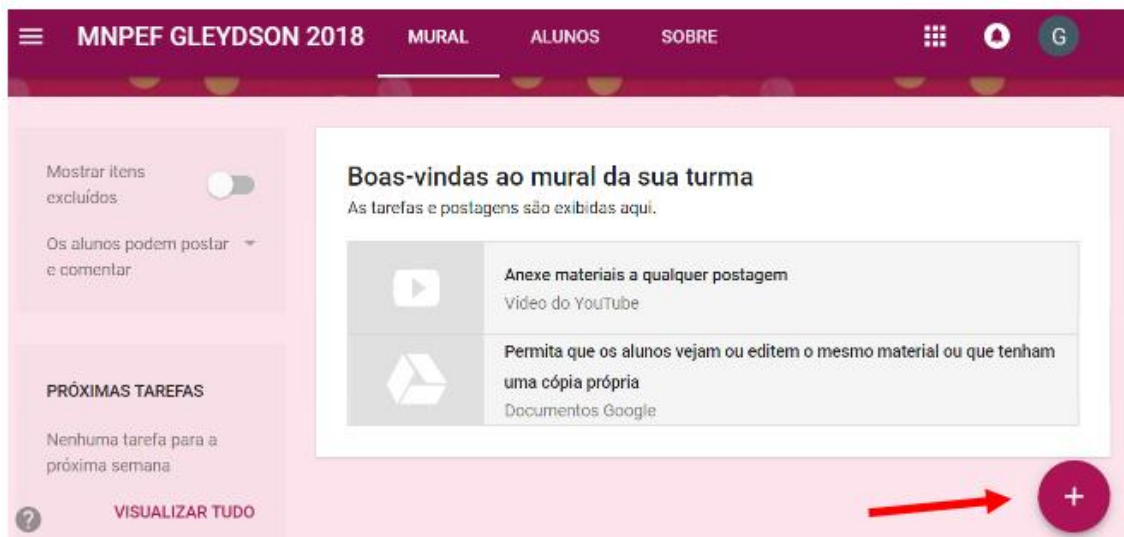
Boas-vindas ao mural da sua turma
As tarefas e postagens são exibidas aqui.

Anexe materiais a qualquer postagem
Video do YouTube

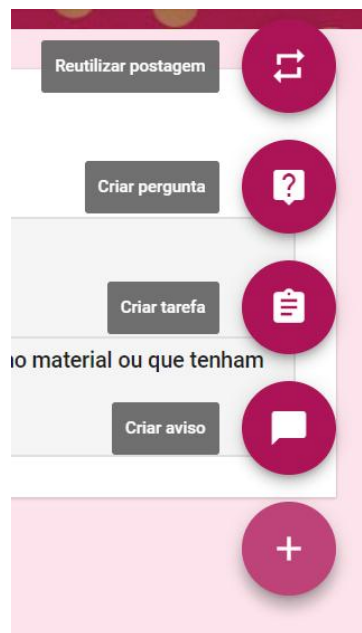
Permita que os alunos vejam ou editem o mesmo material ou que tenham uma cópia própria
Documentos Google

+

O primeiro item desta interface em destaque a cruz no canto inferior direito, clicando nela aparecerá algumas opções para iniciarmos atividades em nossa sala



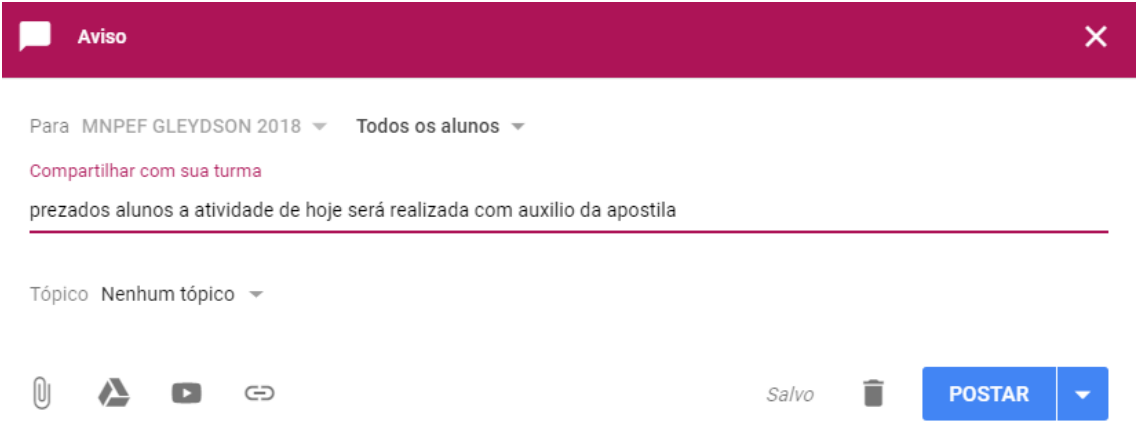
Então pode-se criar um aviso, criar uma tarefa, criar uma pergunta ou reutilizar uma postagem.



Criando um aviso

Clique em ,

Para habilitar a tela seguinte




Para MNPEF GLEYDSON 2018 ▾ Todos os alunos ▾

Compartilhar com sua turma

prezados alunos a atividade de hoje será realizada com auxílio da apostila

Tópico Nenhum tópico ▾

Salvo  **POSTAR** ▾

Escreva o texto na caixa e clique em postar. Também é possível anexar arquivos, acessar o *drive* da turma, inserir um vídeo do *youtube* ou um *link* clicando nos respectivos ícones no canto inferior direito da caixa acima.

Anexando arquivo

Clique no ícone  para abrir a tela selecionar o arquivo desejado, que pode estar no computador ou no *drive*.

Inserir arquivos com o Google Drive



Upload Recentes Meu Drive Com estrela

Arraste arquivos para cá


— ou —

Selecionar arquivos do computador

Fazer upload

Cancelar

Enviando arquivo do drive

Clique no ícone  , aparecerá os arquivos disponíveis no *drive*, neste caso há apenas um. Selecione-o e clique em adicionar. No caso de mais de um arquivo selecione todos desejados e clique em adicionar.

Inserir arquivos com o Google Drive



Upload Recentes Meu Drive Com estrela

Anteriormente nesta semana




Semana passada

Adicionar


Cancelar

Inserindo vídeo do Youtube

Clique no ícone , na caixa de diálogo que irá se abrir você a opção de fazer a pesquisa por assunto selecionar o vídeo e em seguida clicar em adicionar, ou se você já tiver a URL do vídeo desejado clique na aba URL e digite ou cole URL e finalize em adicionar.

Inserir vídeo ✕

Pesquisa de vídeo URL



Digite sua pesquisa na caixa acima para encontrar vídeos.

Inserir vídeo ✕


Pesquisa de vídeo **URL**

Cole um URL do YouTube aqui:

Se seu URL estiver correto, uma visualização do vídeo será exibida aqui. Vídeos grandes podem levar alguns minutos para aparecer.

Lembre-se: usar vídeos de terceiros na Web sem permissão pode ser considerado um comportamento inadequado ou até uma violação de direitos autorais.

Adicionar Link

Clique no ícone  , aparecerá uma caixa de diálogo simples onde você deverá digitar o *link* e clicar em adicionar *link*.

Adicionar link

Link

CANCELAR

ADICIONAR LINK

Criando uma tarefa



Nesta etapa você pode criar um aviso, tarefa, pergunta ou reutilizar algo.

Na versão mais atualizada aparece um item a mais:

Criar trabalho com questionário.

Esta opção lhe fornece a possibilidade de enviar questionários via Google docs.

Neles você pode inserir imagens, vídeos nas perguntas que podem ser de múltipla escolha e correção automática.

Para 3A FM18 Todos os alunos

Título

Instruções (opcional)

Pontos 100

Data de entrega Sem data para conclusão

Tópico Sem tópico



Blank Quiz

Formulários do Google

Ver respostas



Atribuir



Clique na opção *Blank Quiz* formulários *Google*, para iniciar seu quiz. Lá você selecionará o título as instruções e poderá atribuir a pontuação que achar conveniente. Pode torná-lo obrigatório e definir a data máxima para realização.

PERGUNTAS

RESPOSTAS

Total de pontos: 0

Blank Quiz

Descrição do formulário



Untitled Question

 Escolha múltipla Option 1 Adicionar opção ou ADICIONAR "OUTRA" CHAVE DE RESPOSTAS (0 pontos)

Obrigatório



Neste caso estamos criando um questionário de múltipla escolha. Para a pergunta será inserida em “*Untitled question*” e inserimos as alternativas com apenas uma correta.

Para selecionar a resposta correta clicamos em “CHAVE DE RESPOSTAS”. Então se abrirá esta nova tela onde clicamos na alternativa correta. E faremos isso em todas as perguntas que desejarmos inserir.

Total de pontos: **0**

Ondas eletromagnéticas

Descrição do formulário

☑ **Selecione as respostas corretas:**

0 pontos

As ondas de rádio, no vácuo, se movem com velocidade:

- igual a do som
- igual a da luz ✓
- maior que a da luz

ADICIONAR COMENTÁRIOS DE RESPOSTA

[✎ EDITAR PERGUNTA](#)

Escolha o tipo de questionário que deseja clicando na opção desejada:

Ondas eletromagnéticas

Descrição do formulário

As ondas de rádio, no vácuo, se movem com velocidade:


- igual a do som
- igual a da luz
- maior que a da luz
- Adicionar opção ou [ADICIONAR "OUTRA"](#)

CHAVE DE RESPOSTAS (0 pontos)

- Resposta curta
- Parágrafo
- Escolha múltipla
- Caixas de verificação
- Pendente
- Carregar ficheiro
- Escala linear
- Grelha de escolha múltipla
- Grelha de caixas de verificação
- Data
- Hora

Convidando alunos

Na tela principal temos duas opções: *stream* e *pessoas*. A *stream* serve para administrar os conteúdos enquanto que a opção *pessoas* usamos para gerenciar alunos e professores.

Para adicioná-los basta clicar no ícone  , irá abrir uma caixa de diálogo solicitando o *e-mail* da pessoa, após inserir clique em enviar e pronto. Assim que a pessoa aceitar o convite estará com todo o conteúdo postado disponível.

Professores



Professor Gleydson



Sara Rodrigues



Alunos



Acções ▾



4010494@nlsstudent.org
(convidado)



Ayane Marques



beatriz gabrielly



Aqui foram apresentadas apenas as funcionalidades básicas do *Google Classroom*. A plataforma, porém, oferece muito mais. No entanto, neste texto estão sendo abordados os primórdios para quem nunca as utilizou. Caso você possua interesse em se aprofundar no assunto uma boa sugestão é fazer o curso que pode ser feito pela empresa *Google*.

Disponível

em:

https://teachercenter.withgoogle.com/certification?_ga=2.137199984.1322451656.1547386621-1836699474.1547386621.

O curso é gratuito, você paga apenas pela certificação que é feita pela própria empresa.

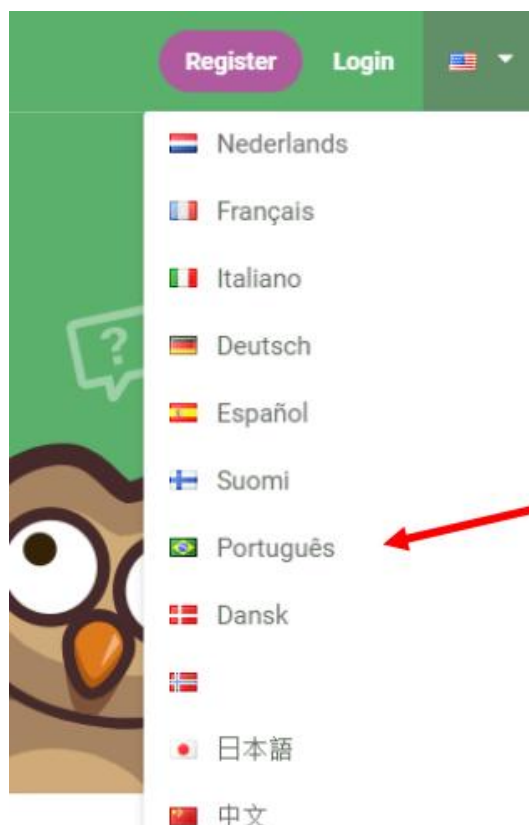
Criando Quiz online (múltipla escolha)

Acesse o endereço <https://www.onlinequizcreator.com/>

Abrirá a seguinte tela:

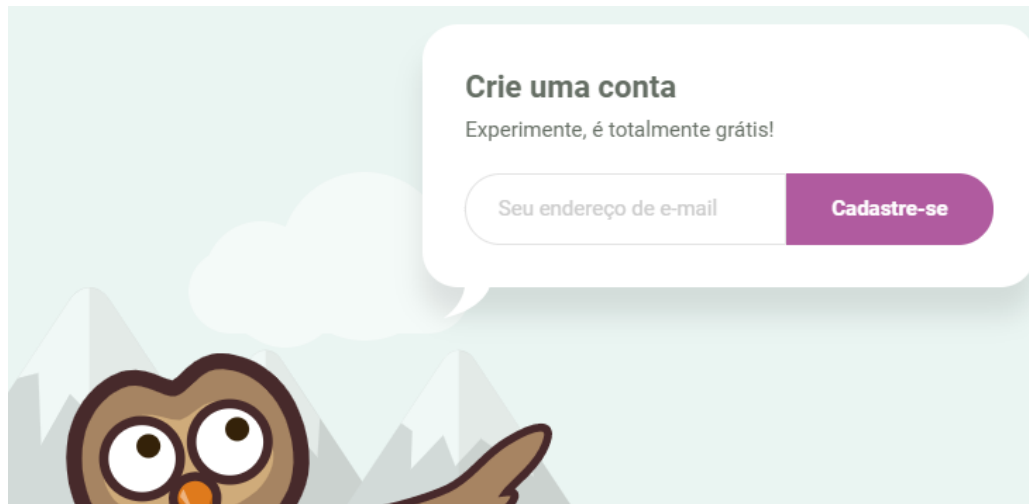


Primeiro passo é colocar o site em português clicando no icone superior direito.



Clique na bandeira do Brasil e pronto.

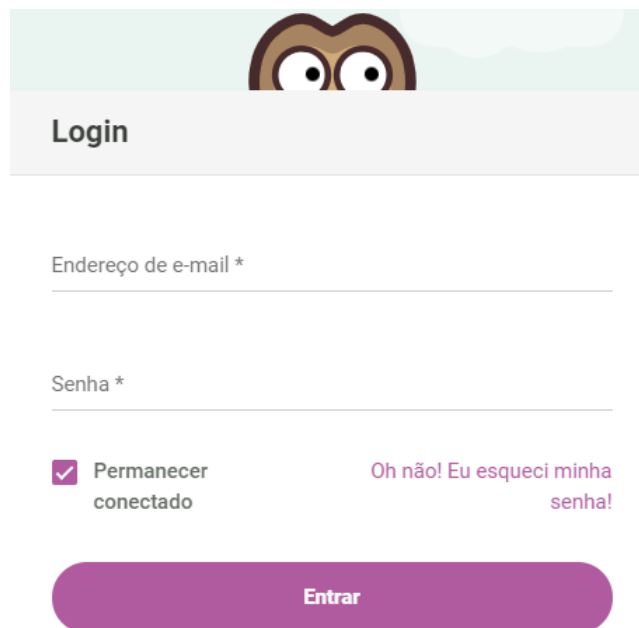
Role a página até o fim e acesse criar uma conta grátis, e digite seu e-mail.



Após o passo anterior aparecerá 4 planos pagos com os seus respectivos serviços disponíveis pelo site. Na parte inferior há um serviço gratuito, o que foi utilizado aqui, selecione-o clicando em “começar teste grátis”.

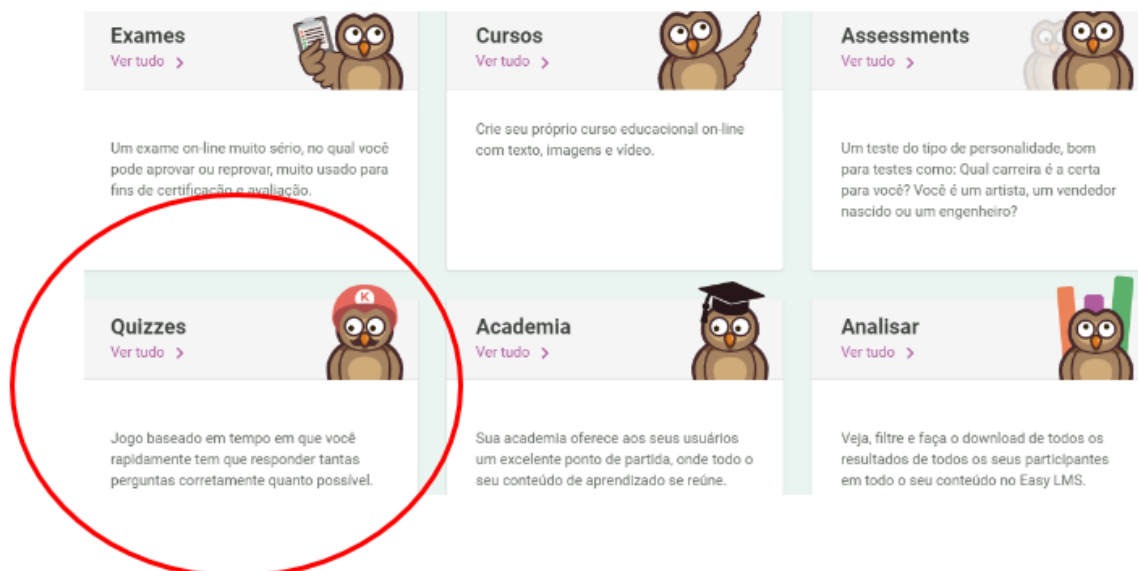
<p>Tiny Owl \$ 0 /mo</p> <p>Our free solution</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Quizzes ilimitados✓ 15 questões por quiz✓ 100 participações por mês✓ Tipos de questões: Múltipla Escolha, Questão aberta, Preenchimento de espaços em branco✓ Sem suporte!✓ Adaptável para dispositivos móveis <p>+</p> <p>Começar meu teste grátis</p>
---	--

Após fazer o cadastro clique LOGIN para acessar, aparecerá a seguinte tela:









The login form features a light green header with a cartoon owl's face peeking over the top edge. Below the header, the word "Login" is displayed in a bold, dark font. The form contains two input fields: "Endereço de e-mail *" and "Senha *", both with horizontal lines underneath. Below the password field, there is a checked checkbox labeled "Permanecer conectado" and a link that says "Oh não! Eu esqueci minha senha!". At the bottom of the form is a large, rounded purple button with the text "Entrar" in white.

Após efetuar o login aparecerão as seguintes opções:

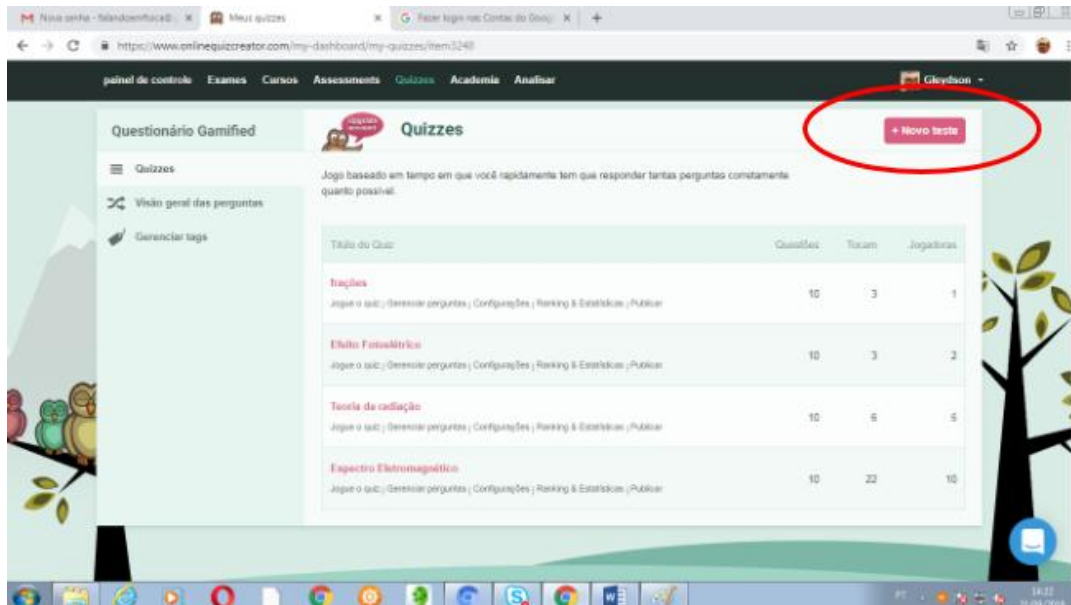


The dashboard menu consists of six cards arranged in a 2x3 grid, each featuring a cartoon owl icon. The "Quizzes" card in the bottom-left corner is circled in red. Each card has a title, a "Ver tudo >" link, and a brief description of the feature.

Exames	Cursos	Assessments
 Ver tudo >	 Ver tudo >	 Ver tudo >
Um exame on-line muito sério, no qual você pode aprovar ou reprovar, muito usado para fins de certificação e avaliação.	Crie seu próprio curso educacional on-line com texto, imagens e vídeo.	Um teste do tipo de personalidade, bom para testes como: Qual carreira é a certa para você? Você é um artista, um vendedor nascido ou um engenheiro?
Quizzes	Academia	Analisar
 Ver tudo >	 Ver tudo >	 Ver tudo >
Jogo baseado em tempo em que você rapidamente tem que responder tantas perguntas corretamente quanto possível.	Sua academia oferece aos seus usuários um excelente ponto de partida, onde todo o seu conteúdo de aprendizado se reúne.	Veja, filtre e faça o download de todos os resultados de todos os seus participantes em todo o seu conteúdo no Easy LMS.

Clique na opção Quizzes localizada no canto inferior esquerdo.

Na tela da opção Quizzes, observem que neste caso já existem quizzes feitos.

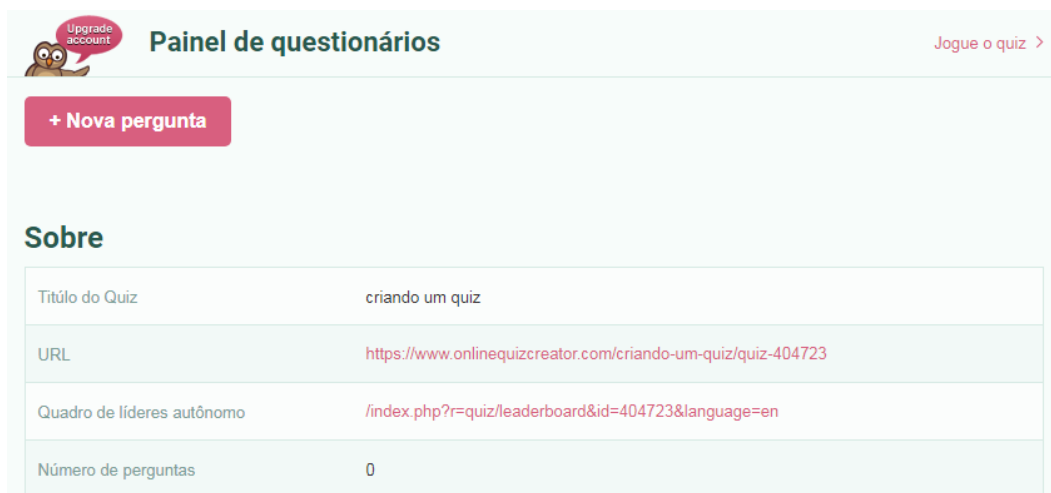


Então para criar um novo quizz clique em “+ Novo Teste” no canto superior direito.

Em seguida será solicitado o título do novo teste.



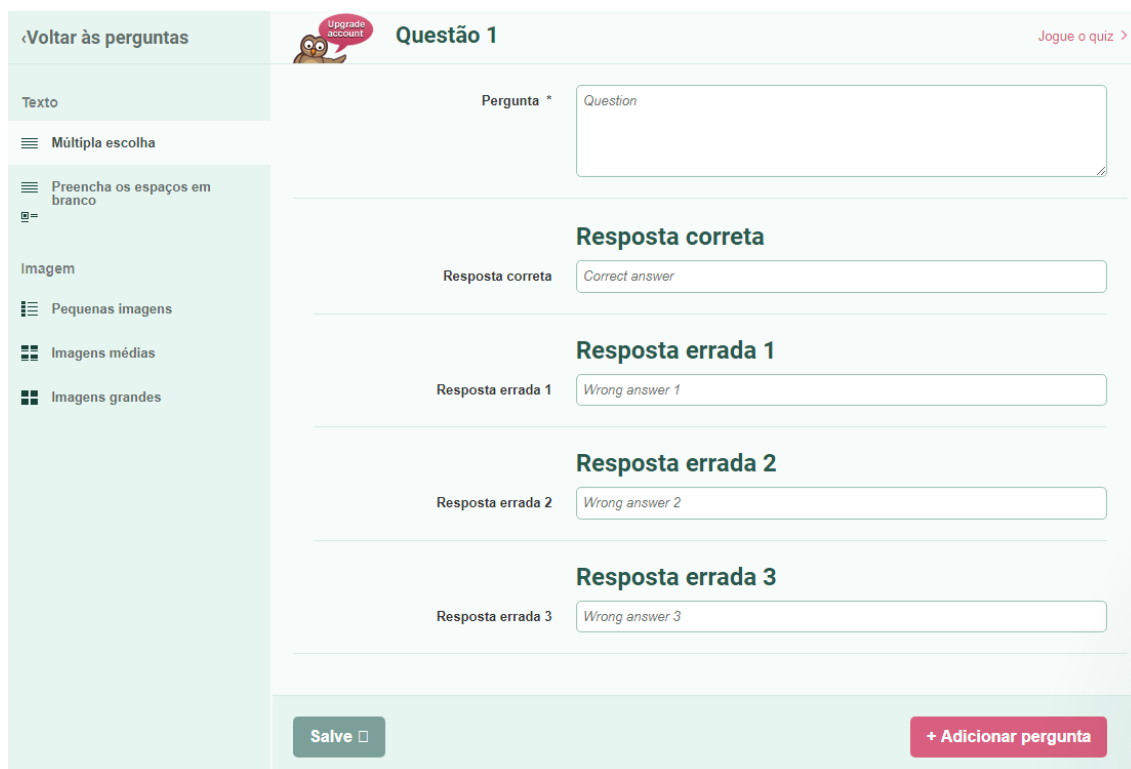
Após a escolha do título, neste caso foi escolhido “criando um quiz”. Como aparece na figura abaixo juntamente com a URL do quiz para acessá-lo quando estiver finalizado. Você deve clicar em “+ Nova pergunta”.



No canto esquerdo há possibilidades de quis com: múltipla escolha, preencher espaço em branco e com imagens.

Aqui abordaremos o quis de múltipla escolha.

Cada pergunta do quiz possui uma alternativa correta e três erradas conforme a figura abaixo.



The screenshot shows a quiz creation interface for a multiple-choice question. On the left is a sidebar with a menu: 'Voltar às perguntas', 'Texto', 'Múltipla escolha', 'Preencha os espaços em branco', 'Imagem', 'Pequenas imagens', 'Imagens médias', and 'Imagens grandes'. The main area is titled 'Questão 1' and contains a 'Pergunta *' field with the placeholder 'Question'. Below this are three 'Resposta errada' fields with placeholders 'Wrong answer 1', 'Wrong answer 2', and 'Wrong answer 3'. A 'Resposta correta' field with the placeholder 'Correct answer' is positioned above the first wrong answer field. At the bottom, there are two buttons: 'Salve' and '+ Adicionar pergunta'.


O primeiro espaço em branco deve estar a pergunta, cuidado para não fazer uma pergunta muito longa, pois mais na frente vamos regular o tempo para realização do quis e a estética também não fica muito legal.

O segundo espaço em branco é o da resposta correta, não se preocupe com isso pois ao iniciar o quis o sistema se encarrega de embaralhar as respostas.


Os demais são respostas erradas e tanto faz a ordem.

Na parte inferior há dois botões: no lado direito o botão “+Adicionar perguntar”, para você inserir as próximas perguntas da mesma forma que criou a primeira e o botão “Salve” no lado esquerdo para você obviamente salvar sua pergunta e seu quiz.

Clique na barra de ferramentas em “Quizzes” e você verá seu novo quiz pronto para jogar.

painel de controle Exames Cursos Assessments **Quizzes** Academia Analisar 

Home > Dashboard > Quizzes

Questionário Gamified  **Quizzes** [+ Novo teste](#)

Quizzes

- Visão geral das perguntas
- Gerenciar tags

Jogo baseado em tempo em que você rapidamente tem que responder tantas perguntas corretamente quanto possível.

Título do Quiz	Questões	Tocam	Jogadoras
criando um quiz Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	1	0	0
frações Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	3	1
Efeito Fotoelétrico Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	13	9
Teoria da radiação Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	7	6
Espectro Eletromagnético Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	39	16

Para jogar basta clicar no título do quiz.

Para enviá-lo para outras pessoas jogar, copie a URL e envie para quem desejar.

Ao clicar no título do quiz, aparecerá inicialmente a tela:

Questionário Gamified  **Painel de questionários** [Jogue o quiz >](#)

[+ Nova pergunta](#)

Sobre

Título do Quiz	criando um quiz
URL	https://www.onlinequizcreator.com/criando-um-quiz/quiz-404723
Quadro de líderes autônomo	/index.php?=quiz/leaderboard&id=404723&language=en
Número de perguntas	1

As opções listadas no lado esquerdo, são as opções avançadas, vou destacar apenas as que considero importantes para iniciar um quiz sem muita complexidade.

A opção questões:



#	Questão	Corretamente respondidas	Respondido incorretamente	
1	Qual a temperatura do Sol?	0	0	Editar Excluir

serve para adicionar, editar ou excluir uma pergunta a um quiz já elaborado.

Há também a possibilidade de exportar perguntas, neste caso ela será enviada a uma planilha.

Na opção Definições:

As possibilidades são: alterar o tempo de realização do teste, o idioma, o botão de início do teste e o ranking dos usuários.

Na opção Layout e estilos: formatação do quiz.

Na opção Mídia social:



Mídia social Jogue o quiz >

Compartilhar o URL da página pai quando incorporado

Supersize o compartilhamento no botão do twitter com essa configuração.

Compartilhar quiz no twitter

Permitir que os usuários compartilhem esse teste no Facebook

Compartilhar questionário no facebook

Valor padrão: acabei de jogar o {quizName} e recebi {score} pontos. Você acha que pode me vencer?

Texto para usar ao compartilhar no twitter ou no facebook (deprimido)

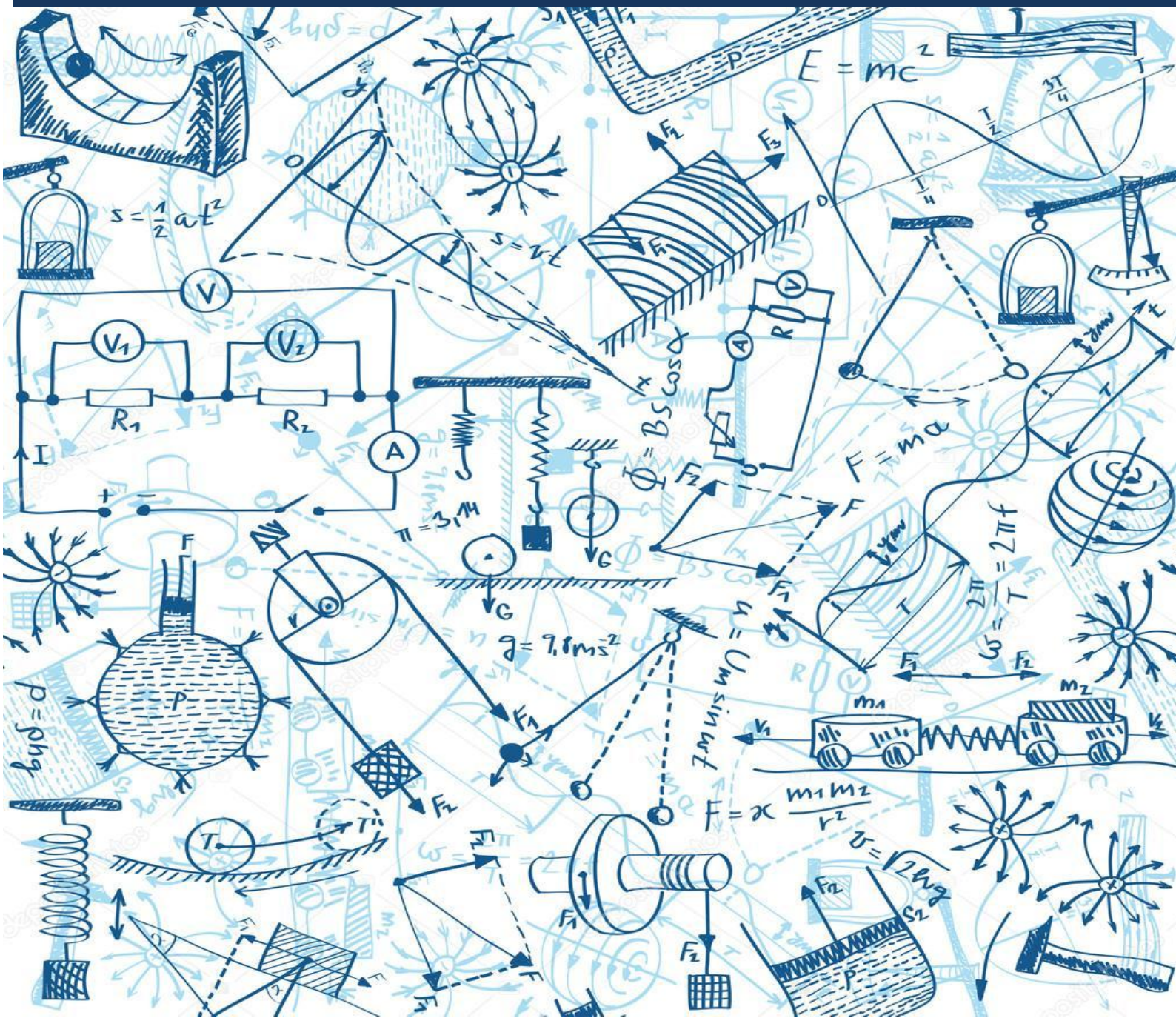
[Salve](#)

Você pode utilizar para compartilhar a URL do quis nas principais redes sociais.

As outras opções são mais avançadas e não precisam ser alteradas por usuários iniciantes e em quizzes básicos.

Apostila de Introdução a Física Moderna

FÍSICA MODERNA



PROFESSOR: GLEYDSON PATRÍCIO

Sumário

Introdução.....	04
Radiação e Espectro Eletromagnético.....	04
Emissão e Absorção da Energia Radiante.....	07
Radiação do Corpo Negro.....	09
A Lei do deslocamento de Wien.....	10
A Lei de Stefan-Boltzmann.....	13
Teoria Clássica da Radiação.....	18
Teoria Quântica de Planck.....	20
Efeito Fotoelétrico.....	26
Testes de Vestibulares	38
Gabaritos.....	51
Referências Bibliográficas.....	52

Introdução

Apresentaremos aqui uma introdução ao estudo da Radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico, com exercícios resolvidos e propostos. Este material serve de complementação as aulas ministradas em sala de aula e pode ser utilizado por alunos e professores.

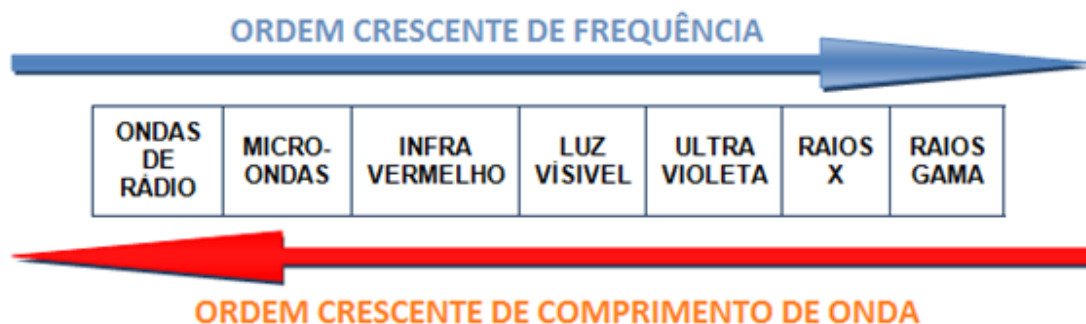
Indo ao shopping, à escola ou ao trabalho é comum encontramos aparelhos eletrônicos em nosso dia a dia. Na prática utilizamos, mas não percebemos a tecnologia ao redor por achar tudo normal, como portas que se abrem como nossa aproximação, sensores que acionam luzes na presença de algum corpo, binóculos que enxergam no escuro, máquinas industriais que param de funcionar na presença de um corpo evitando acidentes, sem contar com a comunicação que hoje é quase instantânea, mesmo se o receptor da mensagem estiver do outro lado do mundo. O rádio, a TV, o *bluetooth* e as redes *wireless*, funcionam de acordo com o mesmo princípio básico: a Radiação Eletromagnética.

Radiação Eletromagnética

É a transmissão de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas. Como as ondas transportam energia, essa radiação é também chamada de “*energia radiante*”.

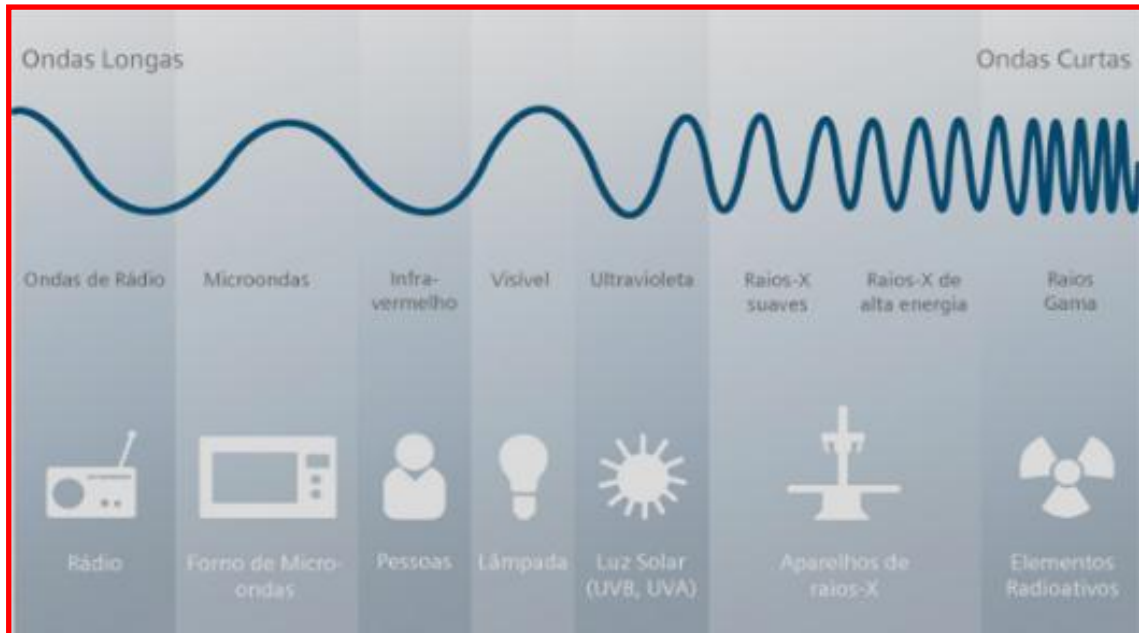
O Espectro Eletromagnético

É a classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência ou comprimento de onda.

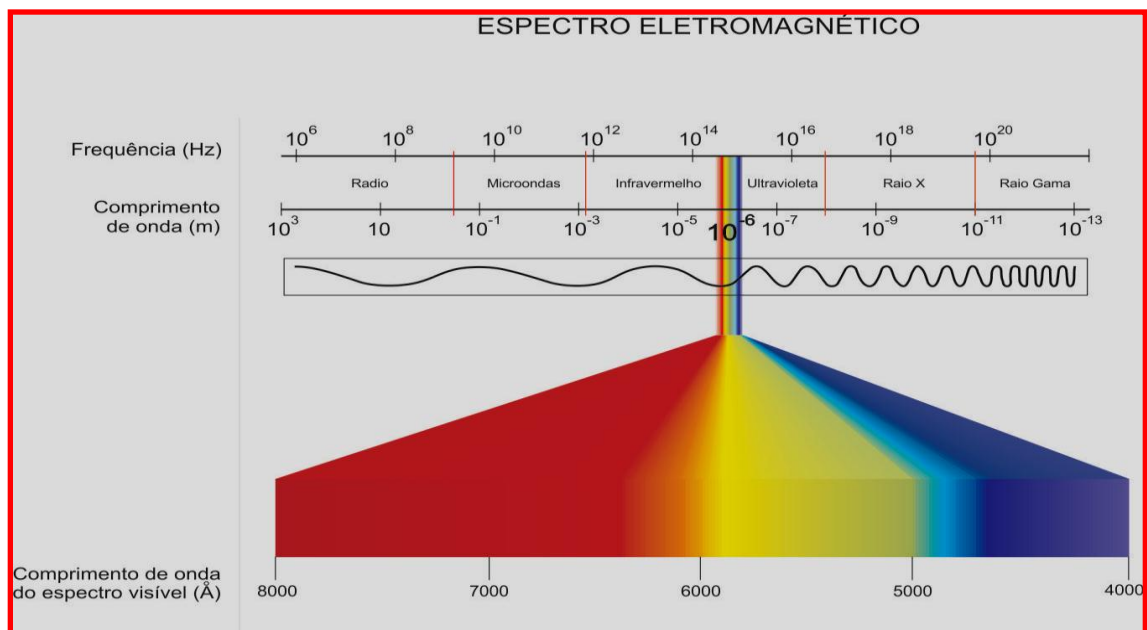


A frequência é uma característica intrínseca da radiação eletromagnética. Um erro comum é chamar apenas a frequência que está na região do infravermelho de “*radiação térmica*”. Já que, todo o espectro emite esse tipo de radiação.

O comprimento de onda também é próprio de cada tipo de onda. Eles podem ser curtos ou longos. Cada tipo têm uma aplicação peculiar, como na figura abaixo.



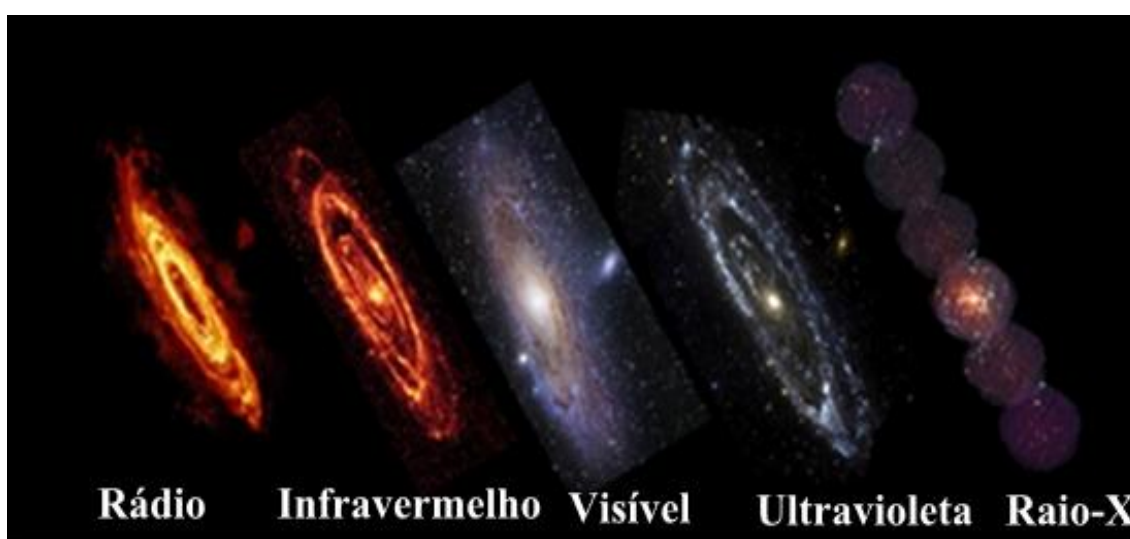
A frequência (f) e o comprimento de onda (λ) estão relacionados de acordo com a equação $c = \lambda \cdot f$. Sendo “ c ”, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e que *no vácuo é constante e igual a $3 \cdot 10^8$ m/s*.



O Espectro Eletromagnético na Astronomia

Os nossos olhos são capazes de enxergar apenas a radiação eletromagnética que está compreendida na região do espectro visível, luzes com frequência na ordem de 10^{15} Hz.

Diversos corpos celestes não estão numa frequência visível. Por isso, a astronomia desenvolveu métodos para enxergar as outras frequências do espectro eletromagnético. Abaixo segue uma ilustração do mesmo corpo celeste em diferentes frequências do espectro.



Quando enxergamos algo verde, por exemplo, é porque aquele corpo está absorvendo a luz incidente (branca) sobre ele e refletindo ondas eletromagnéticas (LUZ) na frequência da luz verde.

Observação:

- ✚ *Frequências são medidas em Hz (Hertz) que equivalem a s^{-1} .*
- ✚ *Comprimentos de onda em m (metros). Quando as ondas são muito curtas, (altas frequências), é comum usar submúltiplos. Como o **nanômetro** = $10^{-9}m = 10nm$. e o **Ångström** (Å) = $10^{-10}m$.*

Emissão e Absorção da Energia Radiante

Os corpos podem emitir ou absorver energia dependendo do meio onde eles se encontram e de suas características próprias da matéria.

- Todo o corpo que está acima do “*zero absoluto*”, 0K ou (-273°C), emite energia radiante.
- Todo material que é bom emissor também é um bom absorvedor, caso contrário, um corpo que é mau emissor e bom absorvedor aumentaria sua temperatura ilimitadamente no decorrer do tempo.
- Quando a taxa de absorção é igual à taxa de emissão, o corpo está em equilíbrio térmico (nem esfria e nem esquentam).

Como assim?

1- Se um bom absorvedor de energia radiante fosse um mau emissor, como sua temperatura se compararia com a temperatura de sua vizinhança?

Resposta:

Se um bom absorvedor não fosse também um bom emissor, haveria uma absorção líquida de energia radiante e a temperatura do absorvedor se manteria mais elevada do que a da vizinhança. As coisas ao nosso redor se aproximam de uma temperatura comum somente porque os bons absorvedores são também, por sua própria natureza, bons emissores.



Imagine a possibilidade de um corpo ser um mau absorvedor e bom emissor. Qual seria a consequência disso no decorrer de um intervalo de tempo muito grande?

Exercícios de Fixação

1) As radiações eletromagnéticas, tais como ondas de rádio, luz visível, raios x, raios gama, têm em comum no vácuo:

- a) a amplitude
- b) a velocidade
- c) a frequência
- d) o comprimento de onda
- e) o período

2) (Petrobras/cespe2008) As ondas eletromagnéticas são caracterizadas por suas frequências, seus comprimentos de onda e velocidade de propagação. Essas ondas decorrem de campos elétrico e magnético variáveis. Sobre as ondas ou radiação eletromagnética pode-se afirmar que:

- a) elas se comportam como ondas mecânicas e necessitam de um meio material para se propagarem;
- b) quando a onda passa do ar para a água, sua frequência diminui;
- c) elas têm um comportamento dual, ou seja, se comportam como onda e como partícula;
- d) quando uma luz verde incide sobre uma flor, que apresenta coloração vermelha sob incidência de luz branca, essa flor apresenta coloração verde;
- e) uma onda de rádio é uma onda mecânica transversal.

3) Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de

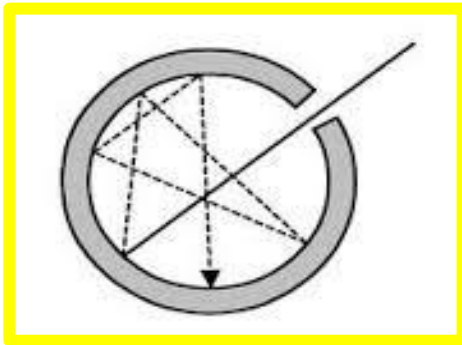
- a) baixa intensidade.
- b) baixa frequência.
- c) um espectro contínuo.
- d) amplitude inadequada.
- e) curto comprimento de onda.

Radiação do Corpo Negro

Após a revolução industrial nos meados do século XIX, a termodinâmica estava muito bem desenvolvida e os estudos dos fenômenos térmicos estavam em alta, assim como a teoria eletromagnética de Maxwell praticamente finalizada. Parecia que a Física estava colocando as últimas peças no quebra-cabeça. Mesmo assim, existiam dois problemas que os cientistas não conseguiam explicar; a incandescência de um corpo aquecido e a emissão de elétrons por um metal irradiado com luz. No final do século o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) interessado no estudo da radiação solar, propôs alguns postulados que serviram para o desenvolvimento no estudo da energia radiante. Contribuindo assim para a resolução da primeira problemática.

Kirchhoff imaginou um corpo “*ideal*” para estudar a radiação eletromagnética e o chamou de **CORPO NEGRO**.

“A melhor idealização para um corpo negro é um corpo com uma cavidade, oco, com um pequeno orifício por onde incide a radiação que é completamente absorvida após sucessivas reflexões no seu interior. Esta muitas vezes é chamada de radiação de cavidade, mas lembre-se que, é o espectro emitido pelo buraco da cavidade e que especificado em termos do fluxo de energia R .”



R é a densidade de energia. O número de ondas por unidade de volume.

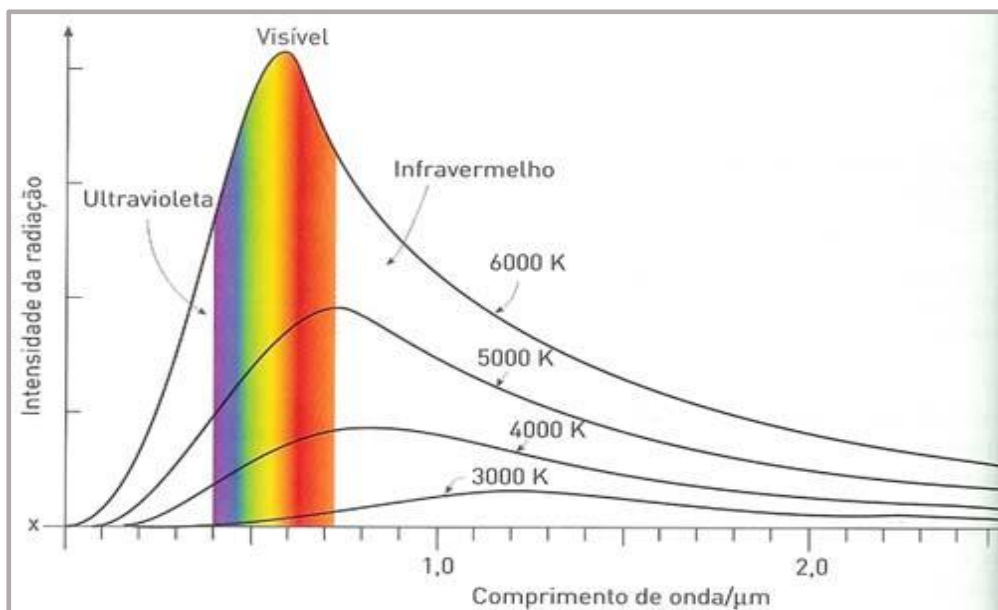
Observações:

- O **Corpo Negro** é uma **idealização**, um corpo **perfeito** para o estudo da radiação.
- Corpos reais podem ser bons e maus emissores e absorvedores, se aproximando de corpos negros.
- O termo **NEGRO** foi dado inicialmente, mas o corpo não precisa ter esta cor, apenas estas características.

A Lei do deslocamento de Wien

A Lei de Wien foi estabelecida em 1897, *experimentalmente*, ela trata da intensidade da radiação em função do comprimento de onda.

As isotermas de distribuição espectral (curva de intensidade de radiação em função do comprimento de onda a uma temperatura fixa) possuem um “*pico*” para cada temperatura à medida que altera a temperatura *o pico se desloca* fornecendo um “*comprimento de onda máximo*” λ_{\max} , como mostra a figura abaixo.



A relação entre o comprimento de onda máximo e a temperatura, obtida por Wien, é dada por:

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0028976}{T}$$

Observação:

A temperatura deve estar medida na escala Kelvin.

Aplicação da Lei de Wien

Comumente podemos encontrar em alguns livros e sites o valor da temperatura do Sol. Mas como isso é feito?

Bem, o Sol é uma estrela, e as estrelas se comportam como um Corpo Negro. Além disso, também conhecemos o valor do comprimento de onda da luz solar que igual a $\lambda_{\text{máx}} = 510\text{nm}$. (Lembre-se que $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)

A partir disto, usamos a Lei de Wien e obtemos a temperatura da estrela, como mostrado abaixo.

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 0,002898$$

$$T = 0,002898 / 510 \cdot 10^{-9}$$

$$T = 5700\text{K} \quad \text{ou} \quad T = 5973 \text{ }^\circ\text{C} ,$$

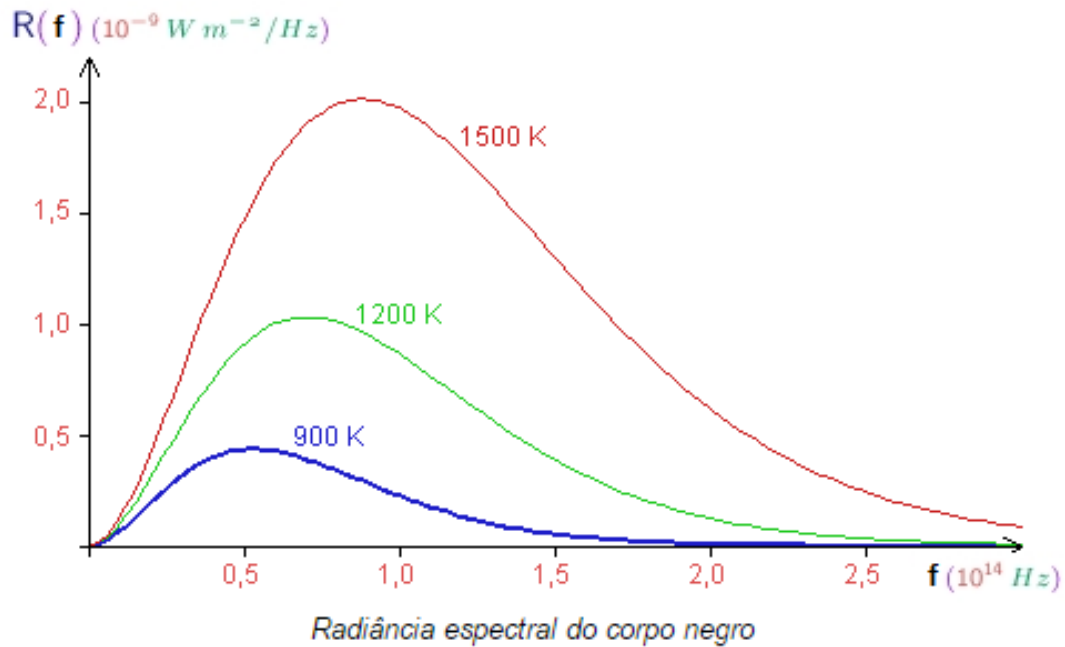
“Os valores mostrados em livros é de aproximadamente 6000 °C”.

Testando seus conhecimentos

A Estrela do Norte (Estrela Polar), possui o comprimento de onda máximo igual a $\lambda_{\text{máx}} = 350\text{nm}$. Determine a temperatura dessa estrela. Use a tabela abaixo e diga aproximadamente a cor da estrela e compare cor e temperatura com o Sol.

Cor	Comprimento de onda ($\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$)	Frequência (10^{14}Hz)
Violeta	3900 - 4500	7,69 - 6,65
Anil	4500 - 4550	5,65 - 6,59
Azul	4550 - 4920	6,59 - 6,10
Verde	4920 - 5770	6,10 - 5,20
Amarelo	5770 - 5970	5,20 - 5,03
Alaranjado	5970 - 6220	5,03 - 4,82
Vermelho	6220 - 7800	4,82 - 3,84

Interpretando o gráfico de intensidade de radiação em função da frequência de onda a uma dada temperatura.



1. Existe pouca potência irradiada para intervalos pequenos de frequência. (potência nula para $f=0$);
2. A potência irradiada cresce rapidamente à medida que a frequência cresce, até o ponto máximo;
3. Cada curva (isoterma) apresenta um único ponto de máximo;
4. Após o ponto máximo, a irradiância diminui lenta e continuamente com o aumento da frequência;
5. A potência irradiada em todas as frequências cresce com o aumento da temperatura.

A Lei de Stefan-Boltzman

Em 1879, considerando o conceito de corpo negro de Kirchhoff, o físico Josef Stefan (1835-1893) analisando dados experimentais, desenvolveu empiricamente uma lei para a radiância em função da temperatura, que diz:

”A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura”.

$$I = \sigma \cdot T^4$$

sendo,

I → *potência total irradiada por unidade de área superficial [W/m²]*

T → *temperatura da superfície [K]*

σ → *constante de Stefan-Boltzmann*

A constante recebeu esse nome porque em 1884, o físico Ludwig Boltzmann (1844-1906) que era aluno de Stefan, usando argumentos termodinâmicos conseguiu demonstrar a equação acima e calcular o valor de $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Nota:

A emissividade (e) de um corpo qualquer é uma grandeza adimensional, tal que $0 < e < 1$. Assim: a emissividade de um corpo negro $e_{\text{cn}} = 1$, pois é um emissor perfeito. Caso fosse um absorvedor perfeito a emissividade seria nula. Quando consideramos a emissividade de um corpo para a potência total irradiada a expressão fica:

$$I = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

A emissividade mostra que uns corpos são capazes de irradiar mais que outros devido a sua natureza.

Exemplos comentados:

Exemplo 1

(Esal-MG) A interpretação da Lei de Stefan-Boltzmann (radiação) nos permite concluir que:

- a) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta.
- b) os corpos só emitem energia radiante a uma temperatura acima de 0°C (273K)
- c) a energia radiante emitida por um corpo depende da emissividade do corpo e da temperatura absoluta do corpo elevado à quarta potência.
- d) um corpo à temperatura de 0°C (273K) não emite energia radiante.
- e) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta ao quadrado.

Comentários:

A Lei de Stefan-Boltzmann diz que:

”A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura”.

Concluimos que as alternativas A e E estão incorretas, pois não é proporcional a temperatura e nem ao quadrado dela. E sim, a quarta potência.

O que há de errado com as alternativas B e D?

Quando estudamos a emissão da energia vimos que

“Todo corpo que está acima do “zero absoluto”, 0K ou (-273°C) , emite energia radiante”.

Logo, um corpo a 0°C já emite energia radiante.

Resposta correta alternativa C.

Exemplo 2

- a) Calcule a razão entre as energias irradiadas por um corpo negro a 327°C e a 927°C.
- b) Se ao invés de um corpo negro tivermos um corpo qualquer, com $e = 0,4$ qual seria o resultado do item a)?

Comentários:

A energia irradiada de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann é:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Como temos um corpo com duas temperaturas vamos fazer referência as temperaturas da seguinte forma:

Corpo com temperatura 1 = 327°C = 600K

Corpo com temperatura 2 = 927°C = 1200K

✓ A temperatura deve estar na escala absoluta (Kelvin)

A razão entre as energias irradiadas I_1 / I_2 é igual a razão entre as temperaturas a quarta potência.

$$I_1 / I_2 = \sigma \cdot T_1^4 / \sigma \cdot T_2^4$$

$$I_1 / I_2 = (600/1200)^4$$

$$I_1 / I_2 = 1/16$$

Quando consideramos a emissividade de um corpo temos que:

$$I = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

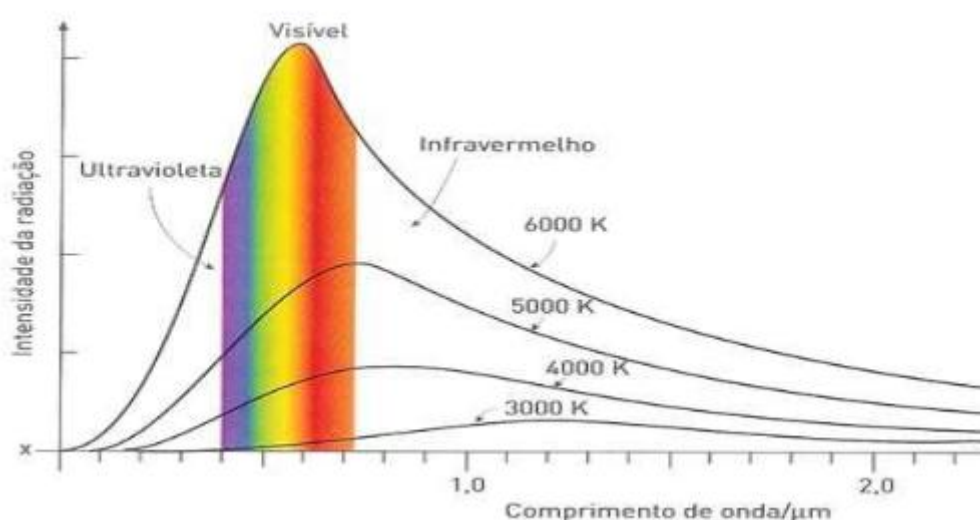
Desta forma podemos escrever que:

$$I_1 / I_2 = e \cdot \sigma \cdot T_1^4 / e \cdot \sigma \cdot T_2^4$$

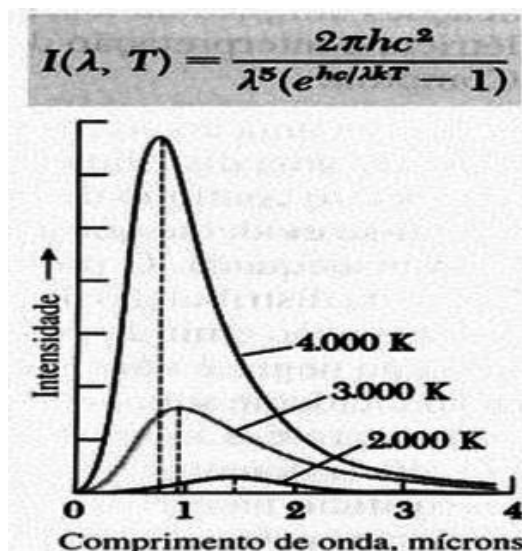
$$\text{Logo, } I_1 / I_2 = 1/16$$

Exercícios de Fixação

- 4) Considere o uso da Lei de Wien ($T \cdot \lambda_{\text{máx}} = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{m.K}$) válido aproximadamente para a humana. Admita a temperatura da pele 37°C .
- a) Determine o comprimento de onda dessa radiação. Diga se está na faixa do visível (400nm a 700nm).
- 5) Considere a seguinte imagem que relaciona a intensidade da radiação irradiada por quatro corpos diferentes com o comprimento de onda dessas radiações:



- a) Qual a lei, abordada nas aulas anteriores, que se aplica a esta situação?
- b) Para cada uma das curvas representadas, calcule o comprimento de onda para o máximo de intensidade da radiação emitida por cada um dos corpos.
- c) Como varia a potência irradiada de um corpo com o comprimento de onda correspondente a diferentes temperaturas?
- 6) A uma dada temperatura, $\lambda_{\text{máx}} = 650 \text{nm}$ para uma cavidade de corpo negro. Qual será $\lambda_{\text{máx}}$ se a taxa de emissão de radiação espectral for duplicada?
- 7) Observe as curvas de Planck da radiação de corpo negro na figura abaixo. Compare-as. Se a temperatura de emissão da radiação aumenta, diga o que ocorre com o comprimento de onda emitido quando a intensidade é máxima.



- 8) Em uma explosão termonuclear a temperatura no centro da explosão é, momentaneamente, $T=10^7\text{K}$. Encontre o comprimento de onda $\lambda_{\text{máx}}$ para o qual a radiação emitida é máxima.
- 9) A temperatura de um corpo negro diminui de 800K Para 650K. Determine como mudou o comprimento de onda que corresponde ao máximo de emissão do espectro de radiação deste corpo.
- 10) O filamento de uma lâmpada de incandescência que está a uma temperatura de 3000 K, irradia a potência de 100W. Considerando a sua emissividade igual a 0,35, calcule a área da superfície do filamento.
- 11) Um corpo negro à temperatura de 373 °C radia $9,4 \times 10^5\text{J}$ durante 1,5 horas. Determine:
- A intensidade total da radiação emitida neste intervalo de tempo.
 - A potência radiada.
 - A área da superfície do corpo.

Quantificando a Radiação

Descrever quantitativamente a radiação dos espectros foi uma árdua tarefa para os físicos no final do século XIX. Pois, não foi fácil conseguir uma teoria que explicasse corretamente a curva espectral da radiação (o gráfico de intensidade em função da frequência da radiação).

A Teoria Clássica

Na época as teorias do Eletromagnetismo, Termodinâmica e a da Mecânica Estatística estavam no ápice e foi utilizando essa física, dita clássica, juntamente com a ideia de corpo negro que o físico inglês John William Strutt Rayleigh (1842-1919) propôs em junho de 1900 um modelo para explicar a radiação. Cinco anos mais tarde o físico James Hopwood Jeans (1877-1946) viria a corrigir um pequeno erro cometido por Rayleigh nessa Lei, e após isso ficou conhecida como Lei de Rayleigh-Jeans.

Pontos importantes a Teoria Clássica:

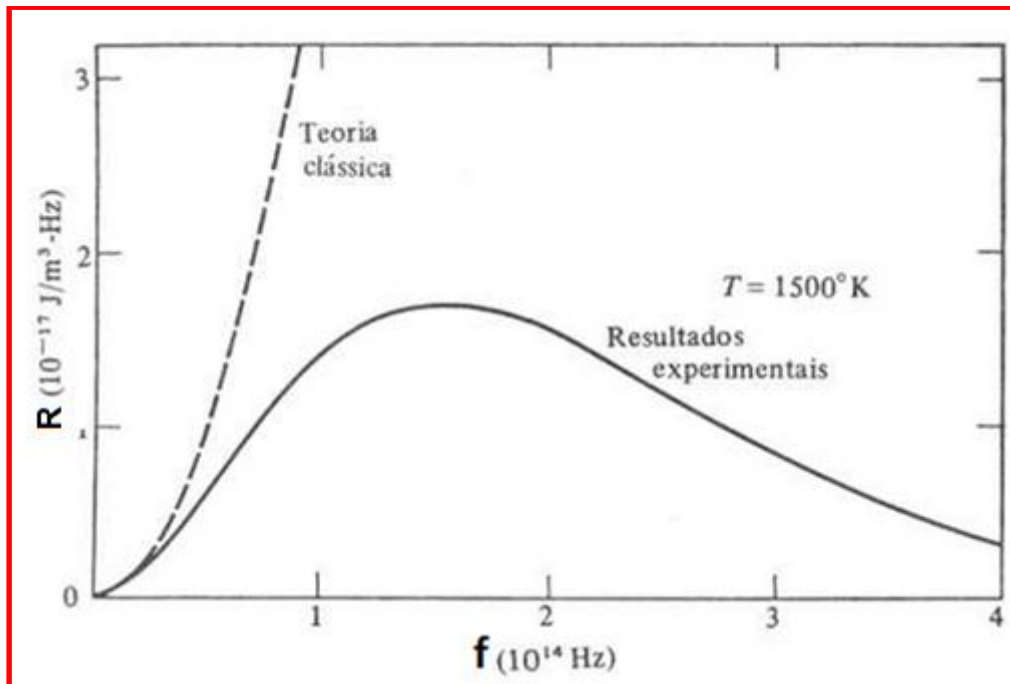
- ✚ Foi considerada uma caixa fechada que seria o corpo negro.
- ✚ Os átomos da caixa possuem uma agitação térmica, que ficam vibrando o tempo todo, ao redor de uma posição de equilíbrio, como osciladores (unidimensionais) que emitem radiação eletromagnética.
- ✚ Cada onda individual (átomo) contribui com uma energia média de kT para a radiação na caixa. ($E=k.T$)
- ✚ Para um oscilador unidimensional, as energias, de acordo com a distribuição Maxwell-Boltzmann são $N(E) = nkT$

Juntando tudo isso e após manipulações algébricas foi obtida a seguinte relação:

$$R = \frac{8\pi f^2}{c^3} kT$$

Em que, k é a constante de Boltzmann e vale: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Analisando o gráfico para o modelo de Rayleigh-Jeans e os resultados experimentais temos:



- ✚ Com frequências baixas (comprimento de ondas longo) a teoria clássica condiz com os dados experimentais.
- ✚ A partir de um determinado valor de frequência a função “explode” e diverge muito dos resultados experimentais.
- ✚ A região de frequência que isso ocorre é na faixa do ultravioleta, o que levou o físico Paul Ehrenfest a chamar essa situação de “catástrofe do ultravioleta”.
- ✚ As teorias clássicas não funcionam para o caso de radiação de corpo negro.

Então só uma nova teoria física pode explicar esse fenômeno.

Max Planck (1858-1947)

Em 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck divulga seu trabalho sobre a distribuição espectral de radiação, que chocou o mundo acadêmico e trouxe novas perspectivas para a Física. Trabalho este que foi reconhecido alguns anos mais tarde com um Prêmio Nobel de Física em 1918.

A Teoria Quântica de Planck

A palavra **quantum** vem do latim que significa “pacote”, essa nomenclatura foi dada por Planck quando postulou que a energia só era absorvida ou liberada em pacotes com energia. O plural de quantum é quanta. O nome Teoria quântica veio a ser substituído por Mecânica Quântica posteriormente.

Na teoria de Planck, cada oscilador na cavidade de um corpo negro pode emitir ou absorver energia somente em quantidades que são múltiplos inteiros de uma certa quantidade básica de energia:

$$E_n = N\varepsilon \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

Sendo n é o número de quanta e ε a energia de cada um quanta. Além disso, a energia de cada um dos quanta é determinada pela frequência (**energia diretamente proporcional a frequência**).

$$E = h.f$$

Onde, **h** é a constante da proporcionalidade, agora conhecida como **constante de Planck**.
(**$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$**) ou (**$h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$**)

Assim, a equação para a radiação de cavidade toma a forma $E_n = nhf$.

- ✚ A diferença entre o cálculo de Planck e o cálculo clássico usando as estatísticas de Maxwell-Boltzmann é que a energia de um oscilador a um determinado comprimento de onda ou frequência já **não é um contínuo**. Mas sim, uma **variável discreta**.
- ✚ O valor da energia média deveria depender então da frequência da radiação ao invés de ser igual a kT para todos os comprimentos de onda confinados na cavidade, como previsto pela teoria clássica.

Energia Clássica

Energia Quântica

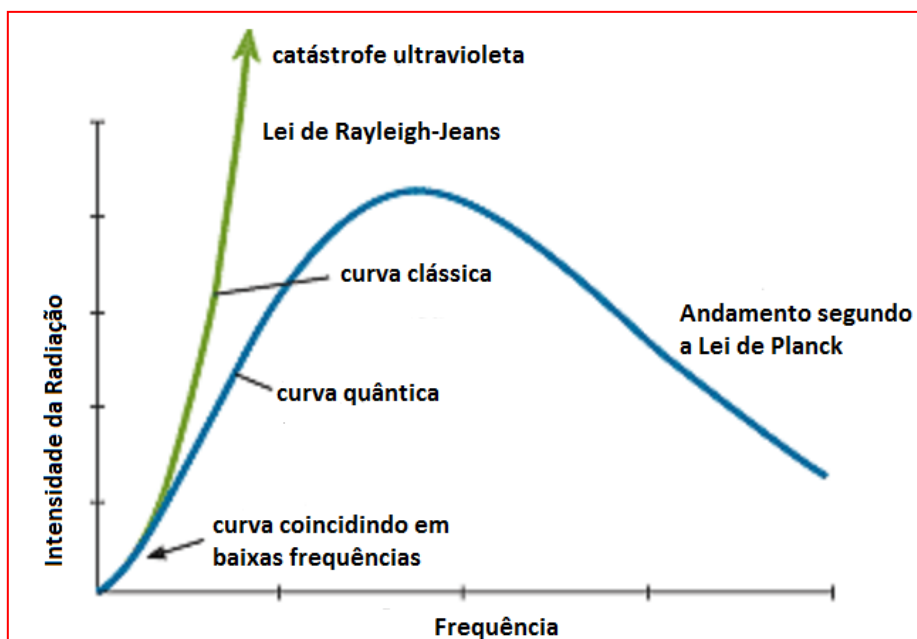
$$E = nkT$$

$$E = nhf$$

A lei de Planck para a radiação fica:

$$R = \frac{8\pi hf^3}{c^3} \frac{1}{(e^{\frac{hf}{kT}} - 1)}$$

Comparando as curvas de Rayleigh-Jeans, resultados experimentais e a curva de Planck temos:



A Lei de Planck se ajusta perfeitamente sobre a curva experimental e resolve o problema da catástrofe do ultravioleta.

Com os dados disponíveis em 1900, Planck conseguiu encontrar uma relação entre a constante de Stefan-Boltzmann (σ) e a sua constante (h) que é:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$$

Planck também foi capaz de demonstrar a Lei do deslocamento de Wien e a Lei de Stefan-Boltzmann através de sua equação. Por esse trabalho que iniciou a era quântica, e ele ficou conhecido como o pai da [Mecânica Quântica](#).

Wien X Rayleigh-Jeans X Planck

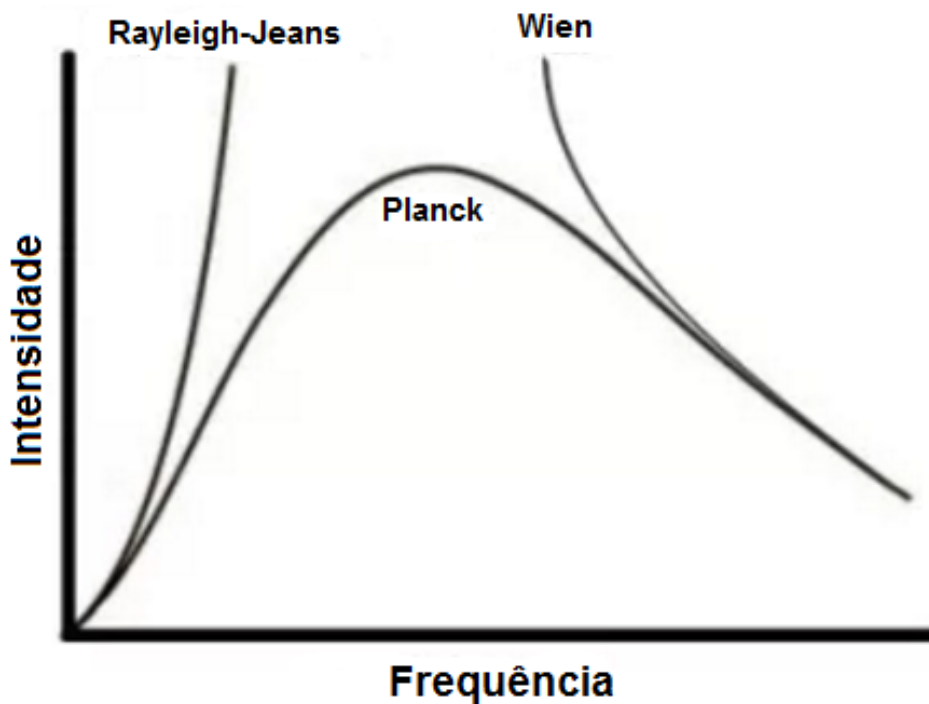
Além da Lei do deslocamento dos picos, Wien também desenvolveu uma Lei que descreve a intensidade da radiação em função da frequência, assim como Rayleigh e Jeans fizeram. A equação que Wien obteve foi:

$$R = \alpha f^3 \cdot e^{(-\beta f/T)}$$

, sendo $\alpha = 2\pi h/c^2$ e $\beta = h/k$.

Essa lei possuía um limite de validade para altas frequências, que era o problema inverso da lei de Rayleigh-Jeans que se adequava bem aos dados experimentais em baixas frequências.

Planck interpolou uma curva aos dados experimentais e para isso postulou a ideia de que a energia média ao invés ser kT era hf . Isso fez toda a diferença e ele conseguiu uma curva que se ajustava perfeitamente aos dados. Abaixo segue o gráfico de onde podemos fazer um comparativo entre as Leis que descrevem ao problema de Kirchhoff (a radiação da cavidade).



Problemas comentados

Problema 1 - (FMTM-2002) A medicina encontra nos raios LASER, cada dia que passa, uma nova aplicação. Em cirurgias, têm substituído os bisturis e há muito são usados para “soldar” retinas descoladas. Teoricamente idealizados em 1917 por Albert Einstein, podem hoje em dia ser obtidos a partir de sólidos, líquidos e gases. O primeiro LASER a gás empregava uma mistura de hélio e neônio e produzia um feixe de ondas eletromagnéticas de comprimento de onda $1,15 \cdot 10^{-6} \text{m}$. Com base na tabela que segue e considerando-se a velocidade de propagação da luz $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$, a “cor” do feixe emitido por este LASER era:

Frequência (10^{14}Hz)	Cor
6,9	azul
6,2	azul-esverdeada
5,1	amarela
3,9	vermelha
2,6	infravermelha

- a) azul.
- b) azul-esverdeada.
- c) amarela.
- d) vermelha.
- e) infravermelha.

Bem, a cor característica de uma radiação eletromagnética é função de sua frequência ou de seu comprimento de onda. Temos o valor do comprimento de onda, mas não temos como relacionar diretamente com a cor. Então iremos utilizar a equação $c = \lambda \cdot f$, para encontrar a frequência que corresponde esse comprimento de onda e olhar na tabela a “cor” correspondente.

$$c = \lambda \cdot f$$

$$3 \cdot 10^8 = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot f$$

$$f = 3 \cdot 10^8 / 1,15 \cdot 10^{-6}$$

$$f = 2,6 \cdot 10^{14} \text{Hz}$$

Alternativa E

De acordo com a tabela esse valor corresponde a “cor” infravermelha.

A “cor” está se referindo a faixa de frequência, pois sabemos que o infravermelho não faz parte da região de luz visível, portanto não poderíamos ver o feixe e muito menos dizer sua cor.

Problema 2 - Os aparelhos que tocam CDs utilizam lasers que emitem luz vermelha com um comprimento de onda de 685 nm.

a) Calcule a energia de um fóton dessa luz

Solução:

a) a energia é calculada com $E = hf$, como não temos o valor da frequência usamos a relação $c = \lambda \cdot f$. para obter $\rightarrow f = (c / \lambda)$

$$E = h \cdot (c / \lambda)$$

$$E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 685 \cdot 10^{-9}$$

$$E = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ J/fóton}$$

Problema 3 - Não é radiação eletromagnética:

- a) infravermelho
- b) ultravioleta
- c) luz visível
- d) ondas de rádio
- e) ultra-som

Se olharmos o espectro eletromagnético vamos encontrar:

ONDAS DE RÁDIO	MICRO-ONDAS	INFRA VERMELHO	LUZ VISÍVEL	ULTRA VIOLETA	RAIOS X	RAIOS GAMA
----------------	-------------	----------------	-------------	---------------	---------	------------

Exceto o ultra-som, pois essa é a única onda mecânica dentre as alternativas.

Resposta alternativa E.

Problema 4 - (UFMG-2006) A luz emitida por uma lâmpada fluorescente é produzida por átomos de mercúrio excitados, que, ao perderem energia, emitem luz. Alguns dos comprimentos de onda de luz visível emitida pelo mercúrio, nesse processo, estão mostrados nesta tabela:

Cor	Comprimento de onda(x 10-9m)
Amarela	579,2
Verde	546,2
Azul	491,7
violeta	436,0

Considere que, nesse caso, a luz emitida se propaga no ar. Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que, em comparação com os de luz violeta, os fótons de luz amarela têm:

- a) menor energia e menor velocidade.
- b) maior energia e maior velocidade.
- c) menor energia e mesma velocidade.
- d) maior energia e mesma velocidade

Solução:

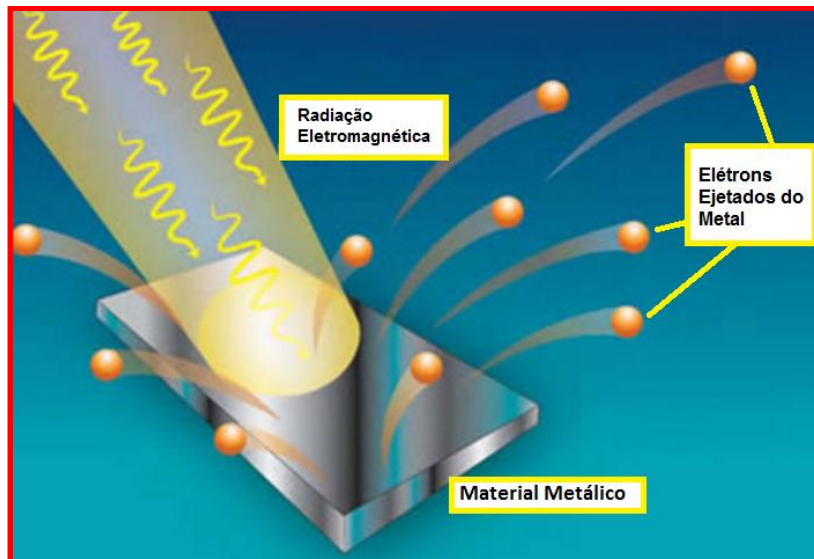
Como todas as ondas eletromagnéticas se deslocam com a **mesma velocidade “c”**, a resposta depende exclusivamente da energia. Energia que de acordo com a Lei da quantização de Planck vale: $(E=h.f)$. Sabemos que $f= c/\lambda$, o que implica na energia dependendo do comprimento de onda na forma: $E = h. (c/\lambda)$. Logo, a onda que possuir maior comprimento de onda terá menor energia, pois energia e comprimento de onda são inversamente proporcionais.

Como a luz amarela tem maior comprimento de onda que a luz violeta implica que a luz amarela tem menor energia que a luz violeta.

Resposta correta alternativa C.

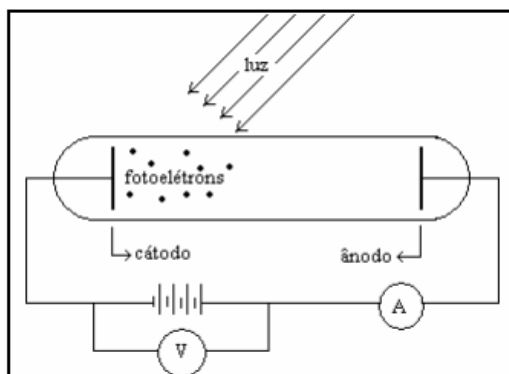
Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi uma experiência que comprovou a teoria de Planck/Einstein e *mostrou que a luz não se comporta apenas como onda, mas também como partícula*. Trata-se da emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de radiação eletromagnética sobre essa superfície. Os elétrons ejetados pelo material são chamados “*fotoelétrons*”. Veja a figura abaixo.



Origem

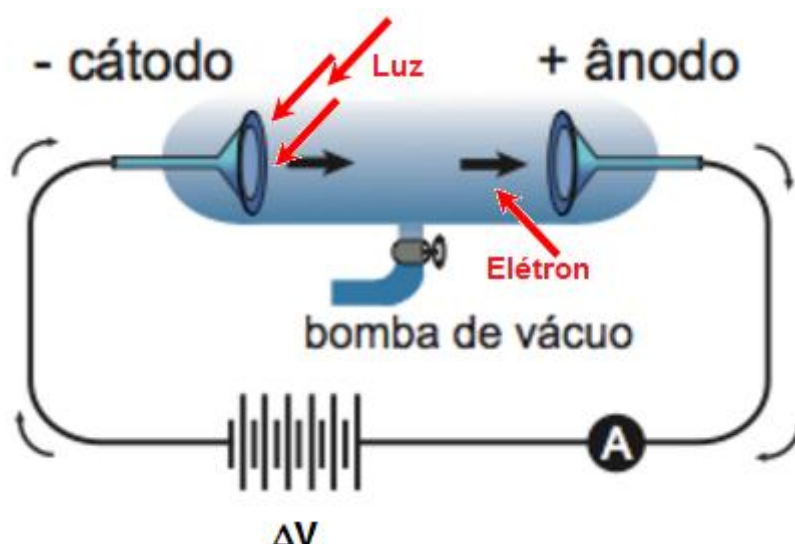
O primeiro a observar o fenômeno e verificar que descargas elétricas entre dois eletrodos ocorrem mais facilmente na incidência de luz ultravioleta, foi Heinrich Hertz em 1887. Em 1902 foi estudado por Lenard com um experimento que era constituído com tubos de raios catódicos. Abaixo a ideia ilustrativa do experimento de Lenard.



Os elétrons ejetados devido à incidência de luz sobre um metal são chamados de fotoelétrons.

O experimento de Lenard

O experimento tem como base um tubo com gás rarefeito, que possui um cátodo de um lado e do outro lado um ânodo, que estão ligados formando um circuito que registra a corrente elétrica através de um amperímetro e possui uma fonte de tensão que pode ser ajustada. Conforme o esquema da figura:



O objetivo do experimento é verificar como a luz afeta a corrente elétrica do circuito.

Na ausência de incidência de luz não há corrente elétrica.

A luz incide sobre o cátodo que emite elétrons que se deslocam e chegam ao ânodo e geram uma corrente elétrica quando ΔV é positivo.

Observações notadas:

- 1 – A corrente elétrica depende da intensidade da luz.
- 2 – A corrente elétrica aparece instantaneamente com a incidência de luz. (fato que não se sabia explicar classicamente).
- 3 – A corrente elétrica não aparece com qualquer frequência. (existe uma frequência mínima necessária para que o fenômeno ocorra).
- 4 – A frequência limite para gerar corrente elétrica depende do metal do cátodo.

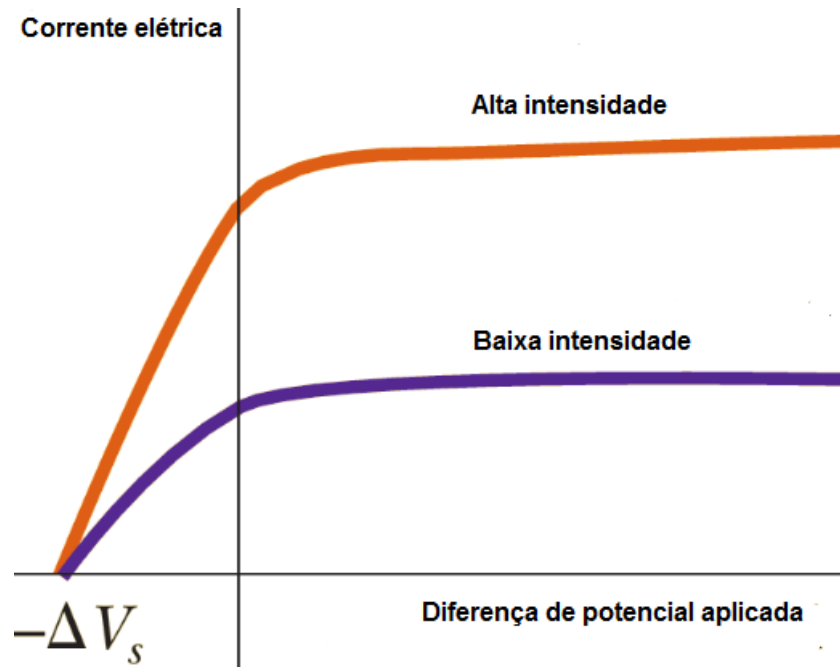
5 – Invertendo a polaridade de ΔV , isto é, fazer com que o anodo possua um potencial menor que o catodo. Temos então $-\Delta V$. Alguns elétrons que chegam ao anodo estão sendo puxados ao catodo de volta pela inversão da força elétrica. Nessa situação os elétrons partem com energia cinética máxima e voltam no decorrer da trajetória, alguns ainda conseguem chegar ao anodo, e muitos voltam, podemos então definir um “potencial de corte” V_0 . Nestas condições os elétrons possuem uma energia potencial $E = e \cdot V_0$, sendo e a carga do elétron e V_0 o potencial.

Fazendo, $E_{C_{Max}} = e \cdot V_0$, daí temos;

$$V_0 = \frac{E_{C_{Max}}}{e}$$

V_0 é chamado de potencial de frenamento

Abaixo segue o gráfico do comportamento da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada, quando ΔV é positivo a física clássica consegue responder, no entanto quando ΔV é negativo o potencial de frenamento converge para o mesmo valor tanto para alta intensidade como para a baixa intensidade e isso não se explica classicamente.



Previsões clássicas do experimento

- ✚ O aumento da intensidade da radiação incidente aumenta a energia cinética dos elétrons ejetados.
- ✚ O efeito fotoelétrico deveria acontecer para qualquer frequência da radiação incidente, desde que sua intensidade (amplitude) fosse suficiente.
- ✚ Para os elétrons serem ejetados com radiação suficientemente fraca (pequena amplitude), deveria existir um atraso entre o instante que a radiação começa a incidir sobre o material e a ejeção do elétron.

Nenhuma dessas previsões foi observada.

Resultados do experimento

- ✚ A emissão de fotoelétrons, a partir da incidência da radiação, é instantânea.
- ✚ A energia cinética dos fotoelétrons não depende da intensidade da radiação e sim da sua frequência.
- ✚ Para cada material existe uma frequência de corte, abaixo da qual não há emissão de fotoelétrons.
- ✚ Para um mesmo material, o potencial de frenamento é o mesmo para qualquer intensidade, mas aumenta de modo proporcional à frequência.

O que Einstein fez?

Ao publicar seus trabalhos sobre a natureza da Luz, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), resgatou a teoria corpuscular da luz, postulou que todas as ondas eletromagnéticas eram formadas por pequenos pacotes de energia, os quanta de luz, que posteriormente foram chamados de fótons.

Para Planck, a energia quantizada era um fato que só acontecia para a radiação em uma cavidade. Einstein foi o primeiro a defender que a energia era quantizada independente da cavidade. Sendo assim, cada fóton deveria apresentar energia discreta de acordo com a equação:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot f$$

Os elétrons do metal adquirem a energia necessária para serem arrancados de uma só vez, absorvendo completamente a energia dos fótons. Por esse motivo, se explica a rapidez do efeito fotoelétrico sem o atraso previsto classicamente.

Cada fóton é responsável pela ejeção de um elétron. Assim, aumentando-se a intensidade da radiação, aumentaríamos a quantidade de fotoelétrons ejetados. Ou seja, a corrente elétrica no experimento de Lenard.

Existe uma função trabalho que é a energia mínima necessária para se retirar o elétron do metal. Essa função trabalho depende da natureza do metal. A tabela abaixo apresenta algumas funções trabalhos dos seus respectivos metais. A função trabalho ora é apresentada por ϕ ora por W_0 . Sua unidade é o elétron-volt.

Funções trabalhos de alguns metais	
Metal	ϕ (eV)
Na	2,28
Co	3,90
Al	4,08
Cu	4,70
Pb	4,14
Zn	4,31
Fe	4,50
Ag	4,73
Pt	6,35

A unidade da constante de Planck no efeito fotoelétrico pode aparecer em função do elétron-volt e assume o valor $4,2 \cdot 10^{-15}$ eV.s.

“1 elétron-volt equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ joules. Seu símbolo é eV”.

A energia cinética máxima que o fotoelétron adquire é igual a energia do fóton absorvido ($E=h.f$) menos a energia necessária para se retirar o elétron do metal (a função trabalho W_0).

$$E_{\text{cinética}} = h.f - W_0$$

Para que o efeito fotoelétrico ocorra é necessária a condição de que a energia do fóton seja maior que a função trabalho.

$$h.f > W_0$$

Como a intensidade da radiação incidente não interfere no efeito é necessário que exista uma frequência de corte mínima para a ejeção dos fotoelétrons.

Para determiná-la é simples. Basta perceber que, para que não ocorra o efeito, a energia cinética do fotoelétron deve ser zero. Aplicando na equação $E_c=hf-w_0$, temos:

$$f_0 = W_0 / h$$

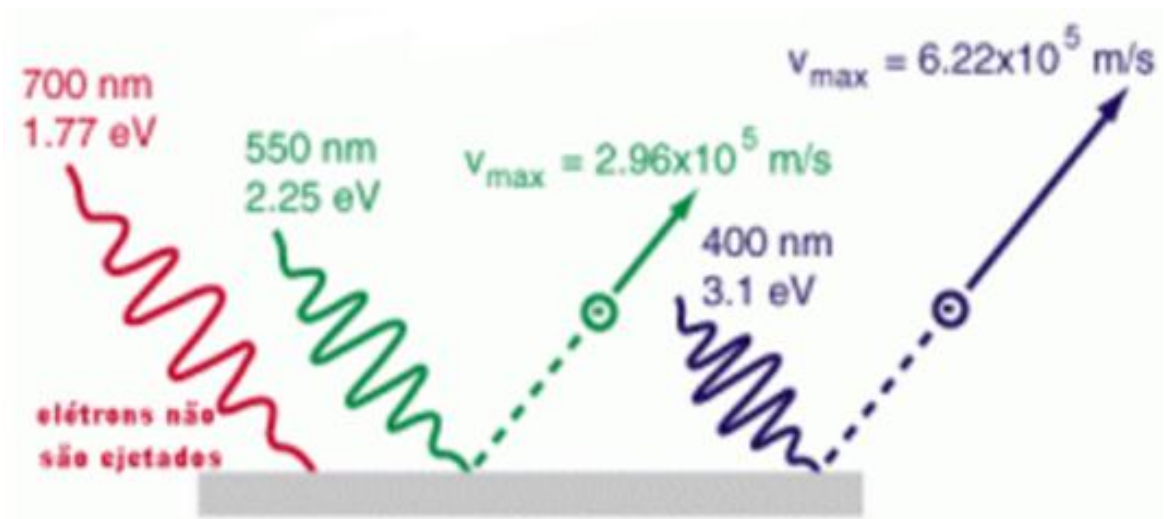
A frequência mínima necessária para que o efeito fotoelétrico ocorra é “ f_0 ”.

A frequência de corte também sugere a existência de um comprimento de onda de corte, já que estão relacionadas com $c=\lambda.f$

$$\lambda_0 = h.c/W_0$$

λ_0 é o comprimento de onda máximo que para a ocorrência do efeito fotoelétrico.

A figura abaixo ilustra o comportamento do efeito fotoelétrico com diferentes comprimentos de onda incidindo sobre uma superfície de potássio. **A função trabalho do potássio $W_0 = 2,24 \text{ eV}$.**



1 – radiação vermelha → não ocorre. A energia incidente é menor que a função trabalho.

2 – radiação verde → ocorre. A energia incidente é maior que a vermelha e a função trabalho.

3 – radiação azul → ocorre. A energia incidente é maior que a luz verde. Consequentemente supera também a função trabalho.

O comprimento de onda de corte é dado por; $\lambda_0 = h.c/W_0$.

$$\lambda_0 = (4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}) \cdot (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (2,24 \text{ eV})$$

$$\lambda_0 = 562,5 \text{ nm}$$

- ✚ Apenas radiações com comprimento de onda **inferior a 562,5 nm** produzirão o efeito fotoelétrico no potássio.
- ✚ A frequência de corte para o potássio é $f_0 = 5,33 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Valor superior ao da frequência para luz vermelha que está na faixa entre $3,84 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 4,82 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, então fica evidente o porquê de não ocorrer o fenômeno.

O gráfico da equação de Einstein do Efeito Fotoelétrico

A equação $E_{\text{cinética}} = h \cdot f - W_0$ é uma função do 1º grau que descreve a energia cinética dos fótons-elétrons em função da frequência da radiação incidente no metal.

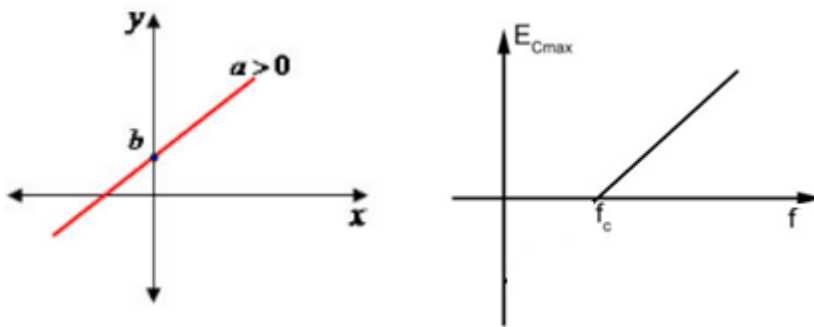
Comparando com a função $y = ax + b$, temos:

‘y equivale a $E_{\text{cinética}}$ → **variável dependente**

‘a equivale a h → **coeficiente angular**

‘x equivale a f → **variável independente**

‘b equivale a $-W_0$ → **coeficiente linear (que não aparece no gráfico)**



Observações:

- ✚ O gráfico do efeito fotoelétrico irá ocupar sempre os quadrantes 1º, 4º. Pois, não existe frequência negativa.
- ✚ Existe uma frequência de corte para que o fenômeno ocorra.
- ✚ A frequência de corte f_0 é o ponto onde a energia cinética dos fotoelétrons E_c é nula. “A partir dela que começa a ocorrer o efeito”.
- ✚ A inclinação da reta nos fornece a constante de Planck.

Problemas comentados

Problema 1 - (UFG-2007) O efeito fotoelétrico, explorado em sensores, células fotoelétricas e outros detectores eletrônicos de luz, refere-se à capacidade da luz de retirar elétrons da superfície de um metal. Quanto a este efeito, pode-se afirmar que:

- a) a energia dos elétrons ejetados depende da intensidade da luz incidente.
- b) a energia dos elétrons ejetados é discreta, correspondendo aos quanta de energia.
- c) a função trabalho depende do número de elétrons ejetados.
- d) a velocidade dos elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.
- e) o número de elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.

Solução:

Como vimos anteriormente, a intensidade da luz NÃO interfere na energia cinética dos fotoelétrons.

A energia cinética dos fotoelétrons NÃO é discreta.

A função trabalho é uma característica intrínseca do metal.

A velocidade dos fotoelétrons depende da energia da luz incidente que por sua vez depende da frequência e essa caracteriza a cor da luz.

A intensidade da luz é responsável pela quantidade de fotoelétrons e não a frequência.

Resposta correta alternativa D

Problema 2 - (UFC-2002) A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.

a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal · incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{m}$. A constante de Planck é $h \approx 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

Solução:

- a) A condição para que haja o efeito fotoelétrico é $h \cdot f > W_0$, substituindo a relação $f = c/\lambda$ e os valores das grandezas, temos:

$$(4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}) \cdot (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}) > 2,5 \text{ eV}$$

$$2,096 \text{ eV} > 2,5 \text{ eV} \quad \text{é falso.}$$

Logo, NÃO HÁ EMISSÃO para esse comprimento de onda.

- b) A frequência mais baixa é chamada de frequência de corte e é calculada dessa forma:

$$f_0 = W_0 / h$$

$$f_0 = 2,5 \text{ eV} / 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$f_0 = 5,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Problema 3 - Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de $3,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$.

$$E_{\text{cinética}} = h \cdot f - W_0$$

$$E_{\text{cinética}} = 4,2 \cdot 10^{-15} \cdot 3,0 \times 10^{15} - 2,3$$

$$E_{\text{cinética}} = 12,6 - 2,3$$

$$E_{\text{cinética}} = 10,12 \text{ eV}$$

Exercícios de Fixação

- 12) Qual a frequência mínima (frequência de corte) de emissão de fotoelétrons do sódio? Dados: função trabalho do sódio $\Phi = 2,28 \text{ eV}$ constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.
- 13) A função trabalho do zinco é $4,31 \text{ eV}$. Verifique se há emissão de fótons elétrons quando sobre uma placa de zinco incide luz de comprimento de onda $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- 14) (UFC-2002) A função trabalho de um dado metal é $2,5 \text{ eV}$.
- a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. A constante de Planck é $h \approx 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.
- b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?
- 15) (Fuvest-SP) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa com energia cinética máxima $E_c = E - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação.

Determine:

- a) a frequência f da radiação incidente na placa de sódio;
- b) a energia E de um fóton dessa radiação;
- c) a energia cinética máxima E_c de um elétron que escapa da placa de sódio;
- d) a frequência f_0 da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

Note e adote:

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$h = 4.10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

$$W \text{ (sódio)} = 2,3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$$

16) (UFRN-2004) Uma das aplicações do efeito fotoelétrico é o visor noturno, aparelho de visão sensível à radiação infravermelha, ilustrado na figura abaixo. Um aparelho desse tipo foi utilizado por membros das forças especiais norte-americanas para observar supostos integrantes da rede al-Qaeda. Nesse tipo de equipamento, a radiação infravermelha atinge suas lentes e é direcionada para uma placa de vidro revestida de material de baixa função de trabalho (W). Os elétrons arrancados desse material são “transformados”, eletronicamente, em imagens. A teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico estabelece que:

$$E_C = hf - W$$

sendo:

- E_C a energia cinética máxima de um fotoelétron;
- $h=6,6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ a constante de Planck;
- f a frequência da radiação incidente.

Considere que um visor noturno recebe radiação de frequência $f=2,4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ e que os elétrons mais rápidos ejetados do material têm energia cinética $E_C = 0,90 \text{ eV}$. Sabe-se que a carga do elétron é $q=1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ e $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Baseando-se nessas informações, calcule:

- a) A função de trabalho (W) do material utilizado para revestir a placa de vidro desse visor noturno, em eV;
- b) O potencial de corte (V_0) desse material para a frequência (f) da radiação incidente.

Testes de Vestibulares

Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann

T1) (Esal-MG) A interpretação da lei de Stefan-Boltzmann (radiação) nos permite concluir que:

- a) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta.
- b) os corpos só emitem energia radiante a uma temperatura acima de 0°C (273K).
- c) a energia emitida por um corpo depende da emissividade do corpo e da (temperatura absoluta do corpo elevada à quarta potência).
- d) um corpo à temperatura de 0°C (273K) não emite energia radiante.
- e) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta ao quadrado.

T2)(ENEM-2011) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

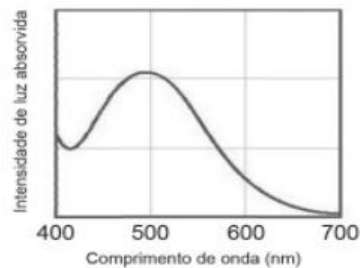
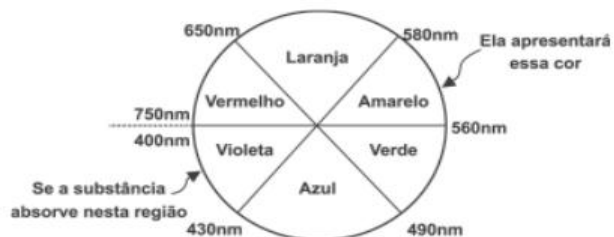


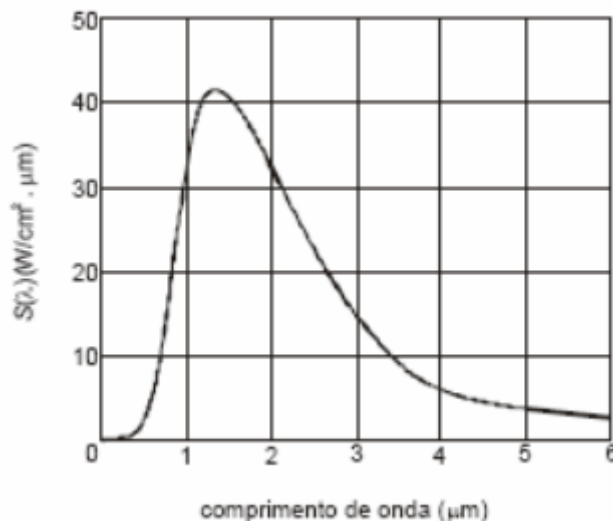
Figura 2



- a) Azul
- b) Verde
- c) Violeta
- d) Laranja

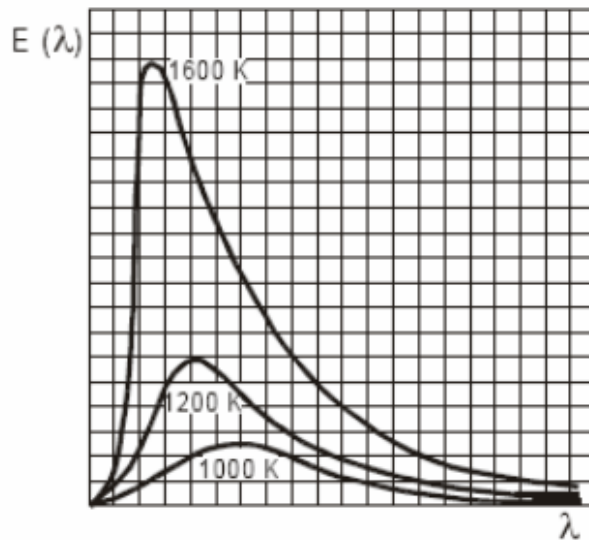
e) Vermelho

T3(UFRN) A radiação térmica proveniente de uma fornalha de altas temperaturas em equilíbrio térmico, usada para fusão de materiais, pode ser analisada por um espectrômetro. A intensidade da radiação emitida pela fornalha, a uma determinada temperatura, é registrada por esse aparato em função do comprimento de onda da radiação. Daí se obtém a curva espectral apresentada na figura. A análise desse tipo de espectro levou o físico alemão Wilhelm Wien, em 1894, a propor que, quando a intensidade da radiação emitida é máxima, o comprimento de onda associado obedece à expressão: em que $\lambda_{\text{máx}}$ é o comprimento de onda do máximo da curva espectral e T é a temperatura da fornalha para um determinado espectro. De acordo com essas informações, é correto afirmar que a temperatura da fornalha é, aproximadamente,



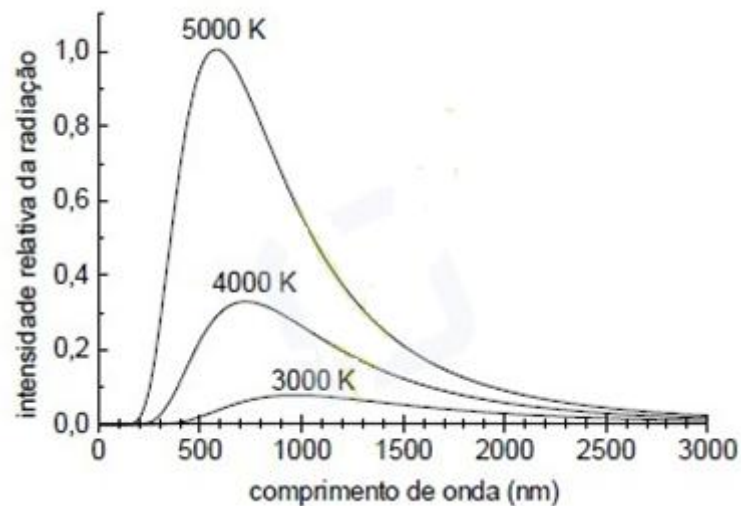
- (A) 2000 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ aumenta quando a temperatura aumenta.
- (B) 1500 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ diminui quando a temperatura diminui.
- (C) 2000 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ diminui quando a temperatura aumenta.
- (D) 1500 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ aumenta quando a temperatura diminui.

T4)(MEC) No gráfico ao lado estão representadas três curvas que mostram como varia a energia emitida por um corpo negro para cada comprimento de onda, $E(\lambda)$, em função do comprimento de onda λ , para três temperaturas absolutas diferentes: 1000 K, 1200 K e 1600 K. Com relação à energia total emitida pelo corpo negro e ao máximo de energia em função do comprimento de onda, pode-se afirmar que a energia total é:



- (A) proporcional à quarta potência da temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (B) proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (C) proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (D) inversamente proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (E) inversamente proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.

T5) (UFPR) A equação que descreve o espectro de radiação emitido por um corpo negro foi descoberta por Max Planck em 1900, sendo posteriormente chamada de Lei da Radiação de Planck. Ao deduzir essa equação, Planck teve que fazer a suposição de que a energia não poderia ter um valor qualquer, mas que deveria ser um múltiplo inteiro de um valor mínimo. O gráfico abaixo mostra a intensidade relativa da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda para três diferentes temperaturas. A região visível do espectro compreende os comprimentos de onda entre 390nm e 780nm, aproximadamente que correspondem às cores entre o violeta e o vermelho.



Com base nessas informações e no gráfico acima, considere as seguintes afirmativas:

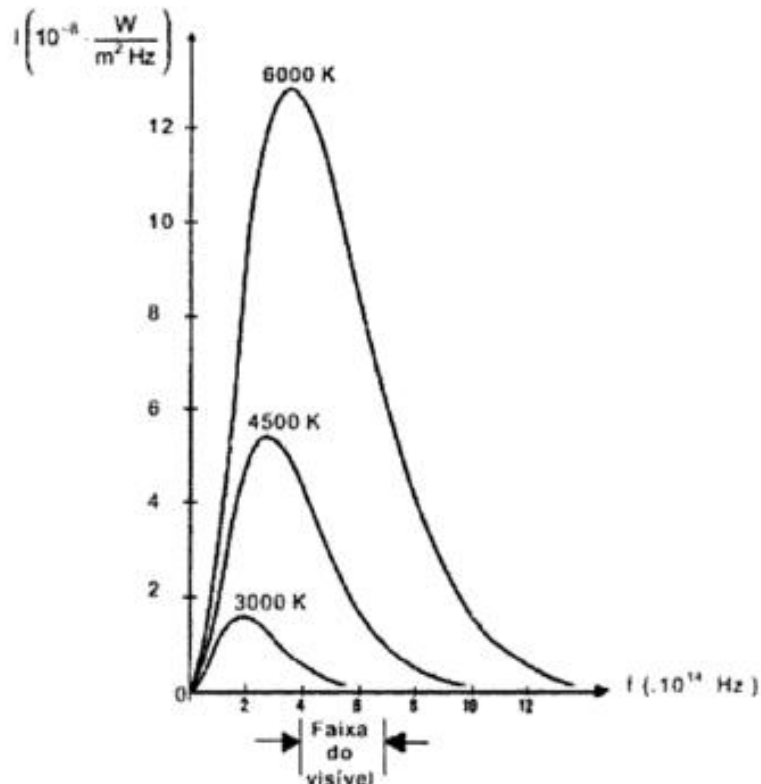
1. A lei da Radiação de Planck depende da temperatura do corpo negro e do comprimento de onda da radiação emitida.
2. O princípio do funcionamento da lâmpada incandescente pode ser explicado pela radiação do corpo negro.
3. Para a temperatura de 3000K, a maior parte da radiação emitida por um corpo aquecido está na faixa do infravermelho.

Assinale a alternativa correta

- a) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

e) As afirmativas 1, 2 e 3 são verdadeiras.

T6(UFRN) As lâmpadas incandescentes são pouco eficientes no que diz respeito ao processo de iluminação. Com intuito de analisar o espectro de emissão de um filamento de uma lâmpada incandescente, vamos considerá-lo como sendo semelhante ao de um corpo negro (emissor ideal) que esteja à mesma temperatura do filamento (cerca de 3000 K). Na figura abaixo, temos o espectro de emissão de um corpo negro para diversas temperaturas.



Diante das informações e do gráfico, podemos afirmar que, tal como um corpo negro,

- (A) os fótons mais energéticos emitidos por uma lâmpada incandescente ocorrem onde a intensidade é máxima.
- (B) a frequência em que ocorre a emissão máxima independe da temperatura da lâmpada.
- (C) a energia total emitida pela lâmpada diminui com o aumento da temperatura.
- (D) a lâmpada incandescente emite grande parte de sua radiação fora da faixa do visível.

Quantização da energia

T7)(VUNESP-2006) Sabe-se que a energia de um fóton é proporcional à sua frequência. Também é conhecido experimentalmente que o comprimento de onda da luz vermelha é maior que o comprimento de onda da luz violeta que, por sua vez, é maior que o comprimento de onda dos raios X. Adotando a constância da velocidade da luz, pode-se afirmar que

- a) a energia do fóton de luz vermelha é maior que a energia do fóton de luz violeta.
- b) a energia do fóton de raio X é menor que a energia do fóton de luz violeta.
- c) as energias são iguais, uma vez que as velocidades são iguais.
- d) as energias dos fótons de luz vermelha e violeta são iguais, pois são parte do espectro visível, e são menores que a energia do fóton de raio X.
- e) a energia do fóton de raio X é maior que a do fóton de luz violeta, que é maior que a energia do fóton de luz vermelha.

T8)(PUC -RS-2006) A escolha do ano de 2005 como o Ano Mundial da Física teve como um de seus objetivos a comemoração do centenário da publicação dos primeiros trabalhos de Albert Einstein. No entanto, é importante salientar que muitos outros cientistas contribuíram para o excepcional desenvolvimento da Física no século passado. Entre eles cabe destacar Max Planck, o qual, em 1900, propôs a teoria da quantização da energia. Segundo esta teoria, um corpo negro irradia energia de forma _____, em porções que são chamadas de _____, cuja energia é proporcional à _____ da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia. A sequência de termos que preenche corretamente as lacunas do texto é:

- a) descontínua -prótons -frequência
- b) contínua -prótons -amplitude
- c) descontínua -fótons -frequência
- d) contínua -fótons -amplitude
- e) descontínua -elétrons -frequência

T9) (UFMG-2002) Para se produzirem fogos de artifício de diferentes cores, misturam-se diferentes compostos químicos à pólvora. Os compostos à base de sódio produzem luz amarela e os à base de bário, luz verde. Sabe-se que a frequência da luz amarela é menor que a da verde. Sejam E_{Na} e E_{Ba} as diferenças de energia entre os níveis de energia envolvidos na emissão de luz pelos átomos de sódio e de bário, respectivamente, e v_{Na} e v_{Ba} as velocidades dos fótons emitidos, também respectivamente. Assim sendo, é CORRETO afirmar que:

- a) $E_{Na} < E_{Ba}$ e $v_{Na} = v_{Ba}$.
- b) $E_{Na} < E_{Ba}$ e $v_{Na} < v_{Ba}$
- c) $E_{Na} > E_{Ba}$ e $v_{Na} = v_{Ba}$
- d) $E_{Na} > E_{Ba}$ e $v_{Na} > v_{Ba}$

T10) (MEC) Em 1900, Max Planck apresenta à Sociedade Alemã de Física um estudo, onde, entre outras coisas, surge a ideia de quantização. Em 1920, ao receber o prêmio Nobel, no final do seu discurso, referindo-se às ideias contidas naquele estudo, comentou: "O fracasso de todas as tentativas de lançar uma ponte sobre o abismo logo me colocou frente a um dilema: ou o quantum de ação era uma grandeza meramente fictícia e, portanto, seria falsa toda a dedução da lei da radiação, puro jogo de fórmulas, ou na base dessa dedução havia um conceito físico verdadeiro. A admitir-se este último, o quantum tenderia a desempenhar, na física, um papel fundamental... destinado a transformar por completo nossos conceitos físicos que, desde que Leibnitz e Newton estabeleceram o cálculo infinitesimal, permaneceram baseados no pressuposto da continuidade das cadeias causais dos eventos. A experiência se mostrou a favor da segunda alternativa." (Adaptado de Moulton, F.R. e Schiffers, J.J. Autobiografia de la ciencia. Trad. Francisco A. Delfiane. 2 ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1986. p. 510)

O referido estudo foi realizado para explicar:

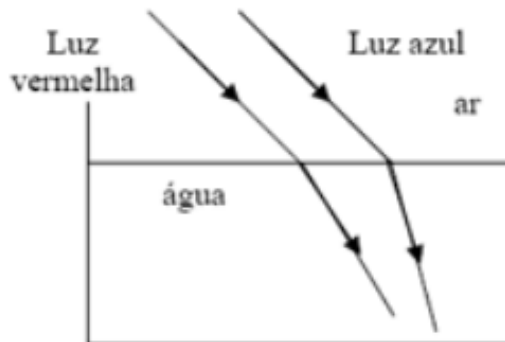
- (A) a confirmação da distribuição de Maxwell-Boltzmann, de velocidades e de trajetórias das moléculas de um gás.
- (B) a experiência de Rutherford de espalhamento de partículas alfa, que levou à formulação de um novo modelo atômico.

(C) o calor irradiante dos corpos celestes, cuja teoria havia sido proposta por Lord Kelvin e já havia dados experimentais.

(D) as emissões radioativas do isótopo Rádío-226, descoberto por Pierre e Marie Curie, a partir do minério chamado "pechblenda".

(E) o espectro de emissão do corpo negro, cujos dados experimentais não estavam de acordo com leis empíricas até então formuladas.

T11) (UEMG-2007) Dois raios de luz, um vermelho e o outro azul, são lançados paralelos um ao outro, mas obliquamente em relação à superfície da água, como na figura abaixo. Sabe-se que a frequência da luz vermelha é menor que a frequência da luz azul.



Em relação à essa situação, assinale a alternativa que traz APENAS AFIRMAÇÕES CORRETAS.

- a) As velocidades das luzes vermelha e azul na água têm o mesmo valor.
- b) A frequência da luz vermelha na água é diferente da frequência da luz vermelha no ar.
- c) Um fóton de luz vermelha tem menor energia que um fóton de luz azul.
- d) As frequências das luzes azul e vermelha na água são iguais.

T12) (UFRGS-1995) Selecione a alternativa que apresenta as palavras que completam corretamente as lacunas, pela ordem, no seguinte texto relacionado com o efeito

fotoelétrico. O efeito fotoelétrico, isto é, a emissão de _____ por metais sob a ação da luz, é um experimento dentro de um contexto físico extremamente rico, incluindo a oportunidade de pensar sobre o funcionamento do equipamento que leva à evidência experimental relacionada com a emissão e a energia dessas partículas, bem como a oportunidade de entender a inadequacidade da visão clássica do fenômeno. Em 1905, ao analisar esse efeito, Einstein fez a suposição revolucionária de que a luz, até então considerada como um fenômeno ondulatório, poderia também ser concebida como constituída por conteúdos energéticos que obedecem a uma distribuição _____, os quanta de luz, mais tarde denominados _____.

- a) fótons – contínua – fótons
- b) fótons – contínua – elétrons
- c) elétrons – contínua – fótons
- d) elétrons – discreta – elétrons
- e) elétrons – discreta – fótons

Efeito Fotoelétrico

T13) (CEFET-MG) No efeito fotoelétrico, elétrons são retirados de uma superfície metálica por meio de colisões com fótons incidentes. A energia _____ com que saem os fotoelétrons é _____ à energia dos fótons menos a energia que os prende na superfície do metal, denominada função _____.

A opção que preenche corretamente a sequência de lacunas é

- a) cinética, igual, trabalho.
- b) elétrica, menor que, elétrica.
- c) cinética, menor que, trabalho.
- d) luminosa, maior que, potência.
- e) potencial, equivalente, potência.

T14) (ENEM-MEC) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- a) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- b) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- c) da amplitude e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
- e) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.

T15) (UFRGS-RS) Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) apenas I. b) apenas II. c) apenas I e II
d) apenas I e III. e) I, II e III.

T16) (UFG-2007) O efeito fotoelétrico, explorado em sensores, células fotoelétricas e outros detectores eletrônicos de luz, refere-se à capacidade da luz de retirar elétrons da superfície de um metal. Quanto a este efeito, pode-se afirmar que:

- a) a energia dos elétrons ejetados depende da intensidade da luz incidente.
b) a energia dos elétrons ejetados é discreta, correspondendo aos quanta de energia.
c) a função trabalho depende do número de elétrons ejetados.
d) a velocidade dos elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.
e) o número de elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.

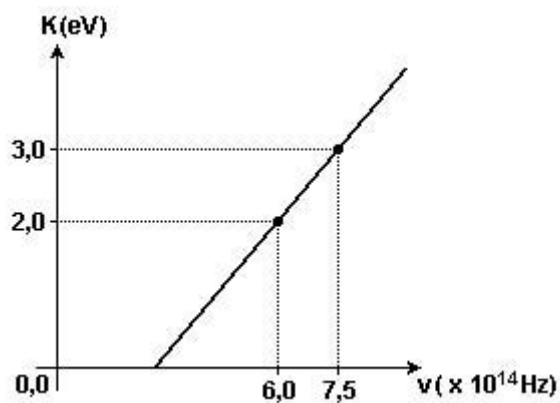
T17) (Perito criminal/Polícia Civil/FGV2009) Em uma experiência para estudar o efeito fotoelétrico, verificou-se que o comprimento de onda de corte para ejetar elétrons da superfície de um material era $\lambda = 4100\text{Å}$ o valor da função trabalho desse material é (considere para a constante de Planck o valor $4,1 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$ e para a velocidade da luz o valor $3 \times 10^8 \text{m/s}$, $1 \text{Å} = 10^{-10} \text{m}$):

- a) 1,2 eV
b) 2,0 eV
c) 2,8 eV
d) 3,0 eV
e) 4,8 eV

T18) (UFPA) A função trabalho de um certo material é 4,2eV. O comprimento de onda, em Å, da luz capaz de produzir efeito fotoelétrico, tendo os fotoelétrons emitidos energia cinética de 2,0 eV, é aproximadamente (constante de Planck igual a $6,6 \times 10^{-34}$ J.s):

- a) 2000
- b) 1000
- c) 200
- d) 100
- e) 0,2

T19) (UFC-2002) O gráfico mostrado a seguir resultou de uma experiência na qual a superfície metálica de uma célula fotoelétrica foi iluminada, separadamente, por duas fontes de luz monocromática distintas, de frequências $\nu_1 = 6,0 \times 10^{14}$ Hz e $\nu_2 = 7,5 \times 10^{14}$ Hz, respectivamente. As energias cinéticas máximas, $K_1 = 2,0$ eV e $K_2 = 3,0$ eV, dos elétrons arrancados do metal, pelos dois tipos de luz, estão indicadas no gráfico. A reta que passa pelos dois pontos experimentais do gráfico obedece à relação estabelecida por Einstein para o efeito fotoelétrico, ou seja, $K = h\nu - \phi$, onde h é a constante de Planck e ϕ é a chamada função trabalho, característica de cada material. Baseando-se na relação de Einstein, o valor calculado de ϕ , em elétron-volts, é:



- a) 1,3
- b) 1,6
- c) 1,8
- d) 2,0
- e) 2,3

T20) Na passagem do século XIX para o século XX, várias questões e fenômenos que eram temas de discussão e pesquisa começaram a ser esclarecidos graças a ideias que, mais tarde, viriam constituir a área da física hoje conhecida como Mecânica Quântica. Na primeira coluna da tabela abaixo, estão listados três destes temas; na segunda, equações fundamentais relacionadas às soluções encontradas

1 – Radiação do Corpo Negro	(a) $\lambda = h/p$ (Postulado de Louis de Broglie)
2 – Efeito Fotoelétrico	(b) $P = \sigma T^4$ (Lei de Stefan-Boltzmann)
3 – Ondas de Matéria	(c) $K = hf - W$ (Relação de Einstein)

Assinale a alternativa que associa corretamente os temas apontados na primeira coluna às respectivas equações, listadas na segunda coluna.

- (A) 1(a) – 2(b) – 3(c)
- (B) 1(a) – 2(c) – 3(b)
- (C) 1(b) – 2(c) – 3(a)
- (D) 1(b) – 2(a) – 3(c)

T21) (ITA-2004) Num experimento que usa o efeito fotoelétrico, ilumina-se sucessivamente a superfície de um metal com luz de dois comprimentos de onda diferentes, λ_1 e λ_2 , respectivamente. Sabe-se que as velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos são, respectivamente, v_1 e v_2 , em que $v_1 = 2v_2$. Designando C a velocidade da luz no vácuo, e h constante de Planck, pode-se, então, afirmar que a função trabalho ϕ do metal é dada por:

- a) $(2\lambda_1 - \lambda_2)hC / (\lambda_1\lambda_2)$.
- b) $(\lambda_2 - 2\lambda_1)hC / (\lambda_1\lambda_2)$.
- c) $(\lambda_2 - 4\lambda_1)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.
- d) $(4\lambda_1 - \lambda_2)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.
- e) $(2\lambda_1 - \lambda_2)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.

Gabaritos

Exercícios de fixação

E01 B

E02 C

E03 B

E04 $9,35 \cdot 10^{-4}$ m infravermelho

E05 a) Lei do deslocamento de Wien

b) $\lambda_1 = 9,66 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_2 = 7,25 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_3 = 5,78 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_4 = 4,82 \cdot 10^{-7}$ m

c) Varia de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, com o inverso da quarta potência.

E06 $\lambda_2 = \lambda_1 \cdot (1/2)^{-1/4}$

E07 quando a temperatura aumenta o comprimento de onda máximo diminui.

E08 $\lambda_{\text{máx}} = 2,89 \cdot 10^{-10}$ m

E09 o comprimento de onda máximo aumentou de $3,6 \cdot 10^{-6}$ m para $4,45 \cdot 10^{-6}$ m

E10 $A = 6,22 \cdot 10^{-5}$ m²

E11 a) $I = 9,87 \cdot 10^{-3}$ W/ m² b) $P = 6,26 \cdot 10^5$ W c) $A = 63,39$ m²

E12 $f = 5,5 \cdot 10^{14}$ Hz

E13 há emissão, pois o comprimento de onda incidente é menor que o comprimento de onda de corte.

E14 a) não ocorre, pois a energia do fóton é menor que a função trabalho.

b) $f = 5,95 \cdot 10^{14}$ Hz

E15 a) $f = 1 \cdot 10^{15}$ Hz , b) $E = 4,1$ eV , c) $E_c = 1,8$ eV ,

d) $f = 5,6 \cdot 10^{14}$ Hz

E16 a) $w = 8,4 \cdot 10^{-2}$ eV b) $V_0 = 0,9$ V

Testes de Vestibulares

T01	C	T08	C	T15	E
T02	E	T09	A	T16	D
T03	C	T10	E	T17	D
T04	A	T11	C	T18	A
T05	E	T12	E	T19	D
T06	D	T13	A	T20	C
T07	E	T14	E	T21	D