

meSalva!



FÍSICA MODERNA



MESOPOTÂMIA
ASPECTOS CULTURAIS

AFIXOS

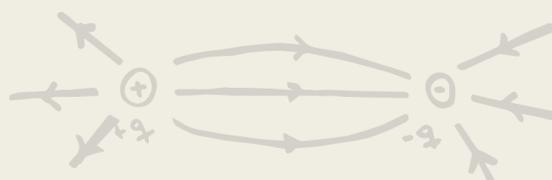
CONTROLADO

MENTE

SUFIXO

QUAL DE
REGULAÇÃO

CAFETERIA



MÓDULOS CONTEMPLADOS

- ✓ IFIM - Introdução e efeito fotoelétrico
- ✓ DUAL - Dualidade onda partícula
- ✓ TRRA - Teoria da relatividade restrita
- ✓ ATMF - Atomística (Física)
- ✓ RADF - Radioatividade (Física)
- ✓ EFIM - Exercícios de física moderna
- ✓ TFIM - Tópicos especiais e deduções em física moderna
- ✓ HFIM - Exercícios nível hard de física moderna
- ✓ PFIM - Física moderna na prática



meSalva!



CURSO

EXTENSIVO 2017

DISCIPLINA

FÍSICA

CAPÍTULO

FÍSICA MODERNA

PROFESSORES

EDUARDO GRABIN E FELIPE BEN



FÍSICA MODERNA

E aí, galera do Me Salva!

Todos empolgados para aprender mais um pouco de Física? Esperamos que sim, porque nesta apostila vamos começar a estudar uma parte sensacional e totalmente diferente da Física. Aqui entenderemos como as coisas muito, mas muito pequenas (menores que os átomos!) funcionam. Mas espera aí, o que existe de totalmente diferente nisso? Aqui vem a grande jogada! Para essas partículas muito pequenas, as Leis da “Física Clássica”, todas as leis que estudamos até agora, não funcionam! Para entendê-las foi necessário “criar” uma Física totalmente nova: a Física Moderna.

Lembra da última vez que você foi ao cinema? Ou então da última vez que você precisou fazer um exame de Raio X? Parecem duas situações bem aleatórias da vida que não possuem nada em comum, certo? Realmente parece, mas isso não é verdade! Tanto a máquina de Raio X quanto o cinema que conhecemos só puderam ser inventados graças ao estudo da Física Moderna! Mas não é só isso, agora vem a parte mais sensacional: este ramo da Física não somente possibilitou a criação dos nossos celulares e dos nossos computadores, mas também serviu de base para que os físicos pudessem comprovar que a nossa galáxia (nosso mundo!) está em constante expansão! Não é incrível como a Física relaciona tudo?

E aí, também ficou fascinado em aprender tudo que a Física Moderna tem para oferecer? Esperamos que sim! Se prepare, vamos começar a entender essa maravilha agora. Vamos lá!

DUALIDADE ONDA PARTÍCULA

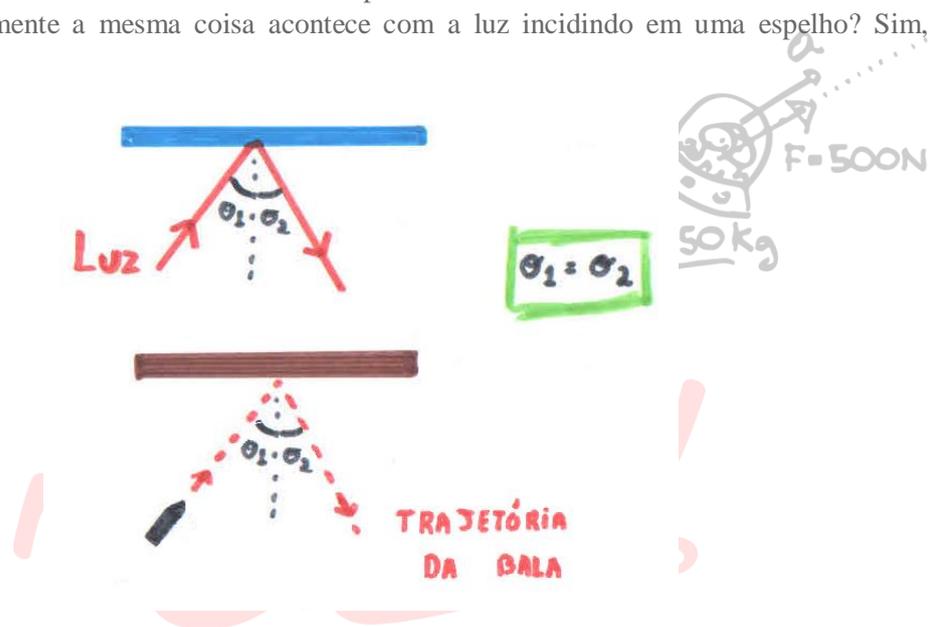
Você lembra de quais foram os últimos dois ramos da Física que estudamos? Ótica e Ondulatória, não é? Pois então, talvez você tenha percebido que durante o estudo destas duas áreas tivemos uma contradição muito forte a respeito de um assunto em específico: a luz. Durante nosso estudo da Ondulatória afirmamos e comprovamos diversas vezes o comportamento ondulatório da luz em vários fenômenos. Até aí tudo bem. O grande problema veio na apostila de Ótica, onde sem explicação nenhuma afirmamos que poderíamos considerar os raios de luz como o movimento de uma partícula em linha reta, lembra disso? Mas espera aí! Afinal, o que exatamente a luz é? Uma partícula em movimento ou uma onda? A resposta para essa pergunta é a mais confusa possível: ela é ambas as coisas! Difícil de encarar isso, não é? Para entender isso precisamos ir um pouco mais a fundo e compreender como se deu a história do estudo da luz.

Uma das primeiras teorias a respeito da luz foi desenvolvida por Platão praticamente cinco séculos antes de Cristo. Ele afirmava que a luz consistia em raios que eram emitidos pelos

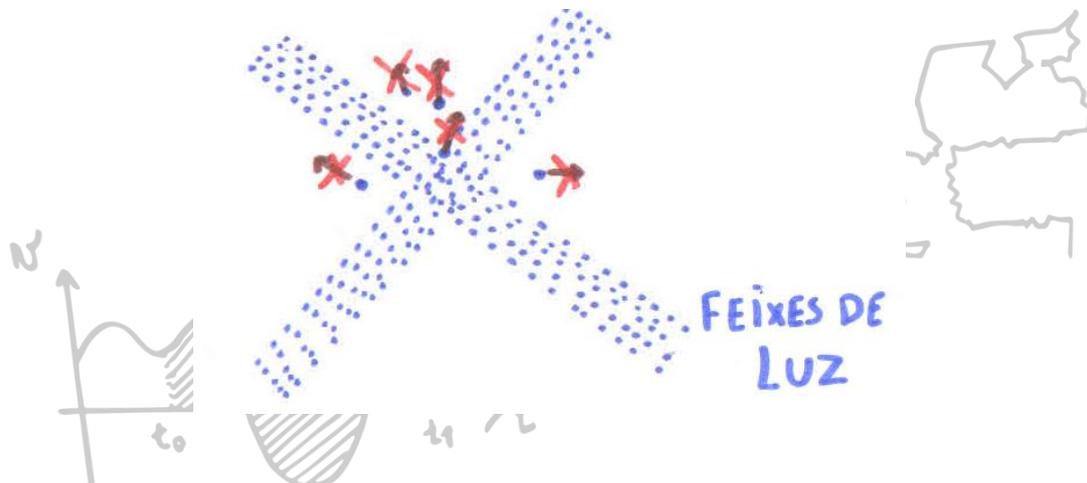


nossos olhos. Por incrível que pareça, o estudo da luz não avançou e essa teoria permaneceu por quase 2000 anos!

Somente em 1704, Newton (sim, aquele mesmo Newton da Dinâmica e da Gravitação!) desenvolveu uma nova teoria para a luz. Ele dizia que a luz era basicamente uma corrente de partículas. Mas é claro que ele não supôs isso do nada, um dos argumentos que ele usou para validar essa teoria foi a reflexão! Ele comparou a incidência das “partículas” de luz em um espelho com um bala (sim, um tiro de arma) ricocheteando em uma parede. Quando a bala ricocheteia com uma superfície, ela é refletida com o mesmo ângulo de incidência. Agora tente lembrar de quando estudamos a reflexão lá na apostila de Ótica. Lembrou? Esse movimento da bala não é justamente a mesma coisa acontece com a luz incidindo em uma espelho? Sim, exatamente isso!



Durante a mesma época, outros dois físicos chamados Christian Huygens e Thomas Young também resolveram estudar e criar uma teoria sobre a luz. A grande diferença é que eles defendiam o caráter ondulatório da luz. Para provar essa teoria, eles exploraram um fenômeno que Newton não conseguiu explicar: a interferência. Se Newton estava correto e a luz era realmente uma corrente de partículas, então quando dois feixes de luz se cruzavam devia haver colisão entre essas partículas, certo? O problema é que isso não acontecia.



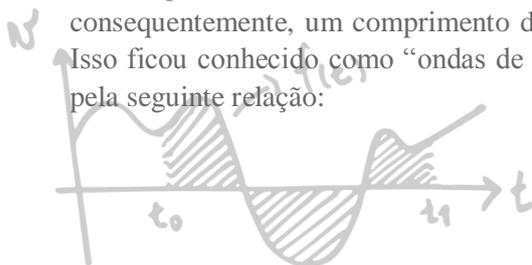
E aqui entrou o chamado experimento de Young, que através da interferência conseguiu provar que a luz possui comportamento de uma onda: este experimento mostrou que os feixes de luz conseguem se sobrepor e se anular formando pontos claros e pontos escuro. Para nosso estudo da Física Moderna, não é fundamental entendermos exatamente o funcionamento do experimento de Young, apenas saber que ele comprovou o caráter ondulatório da luz. Caso você queira saber mais, deixaremos indicado um site no final apostila onde você encontrará todas informações sobre ele!

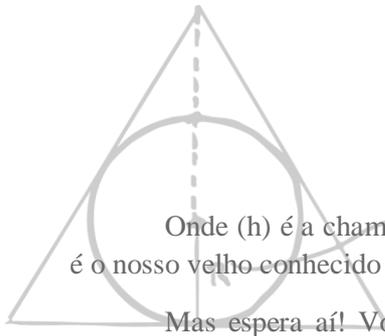
O grande resumo é que esse experimento de Young fez quase todo mundo no começo do século 19 achar que a luz era uma onda, até que ali pelo ano 1900 um gênio da física chamado Max Planck mostrou uma situação em que as contas iam dar muito certo se a gente imaginasse que a luz era feita de partículas (puts, e agora?). Ele mesmo não gostava muito da própria sugestão, mas foi em 1905 que um tal de Albert Einstein usou a ideia do Planck (essa história de que a luz é feita de partículas) para explicar uma coisa chamada efeito fotoelétrico (que vamos ver logo mais!) e toda a teoria dele se encaixou muito bem nos experimentos! Então o mundo da luz virou de cabeça para baixo de novo! Afinal, a luz é uma onda ou uma partícula? O que tudo indica é que ela é as duas coisas! Dependendo do experimento, ela pode interagir como onda e como partícula. E essa teoria é a mais aceita até hoje! Parece loucura, não é? Principalmente para nós que estamos acostumados com a Mecânica Clássica, onde tudo está muito bem definido pelas Leis de Newton.

Muito importante! A luz se propaga como uma onda e incide como uma partícula!

COMPRIMENTO DE ONDA DE BROGLIE

Agora vem uma das partes mais sensacionais da matéria! Depois que toda essa história da dualidade onda-partícula da Luz já estava bem aceita, um físico francês chamado Louis de Broglie começou a se questionar sobre uma coisa: se a luz pode se comportar como partícula em certas situações e como onda em outras, então por que partículas, como elétrons, próton, átomos e moléculas também não podem se comportar como uma onda? Foi justamente para responder isso que De Broglie criou seu postulado! Ele propôs que qualquer objeto com massa, seja um rato, um computador, nosso planeta ou até mesmo você, possui comportamento ondulatório e, consequentemente, um comprimento de onda associado a sua velocidade e sua massa! Isso ficou conhecido como “ondas de matéria”! Esse comprimento de onda (λ) é dado pela seguinte relação:

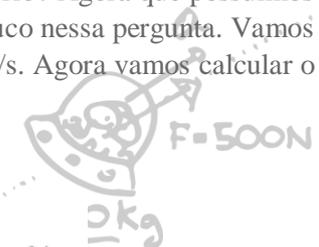




$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Onde (h) é a chamada constante de Planck e vale $6,6 \times 10^{-34}$ J.s. Já o termo (mv) é o nosso velho conhecido momento linear, estudado lá na mecânica!

Mas espera aí! Você pode estar se perguntando: como assim uma pessoa ou qualquer objeto com massa pode ter comportamento ondulatório? Agora que possuímos a expressão do comprimento de onda podemos pensar um pouco nessa pergunta. Vamos supor uma bola de futebol com massa 400g e velocidade 10m/s. Agora vamos calcular o comprimento de onda associado a essa bola:



$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{0,4 \cdot 10} \approx 1,66 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

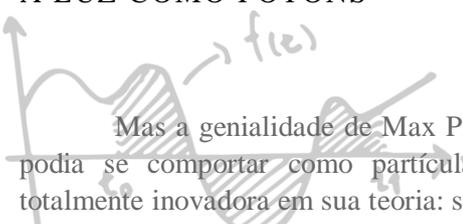
A magnitude do resultado que encontramos é absurdamente pequena! Tão pequena que chega a ser muito mais de um bilhão de vezes menos que a dimensão de um elétron. Para objetos com massa ou velocidade considerável sempre iremos obter valores muito pequenos de comprimento de onda, o que torna praticamente impossível provarmos seu movimento ondulatório. Já para partículas muito pequenas como o elétron podemos comprovar a teoria proposta por De Broglie.

Vale o conhecimento! Os microscópios eletrônicos fazem uso prático da natureza ondulatória dos elétrons. Vamos te explicar: o comprimento de onda de um feixe de elétrons é milhares de vezes mais curto que o da luz visível, e justamente por isso este tipo de microscópio é capaz de distinguir detalhes que não são visíveis nem com microscópios ópticos.



A LUZ COMO FÓTONS

Mas a genialidade de Max Planck não parou! Além de compreender que a luz podia se comportar como partícula e onda, ele também utilizou outra hipótese totalmente inovadora em sua teoria: supôs que a luz não era algo contínuo, mas sim que

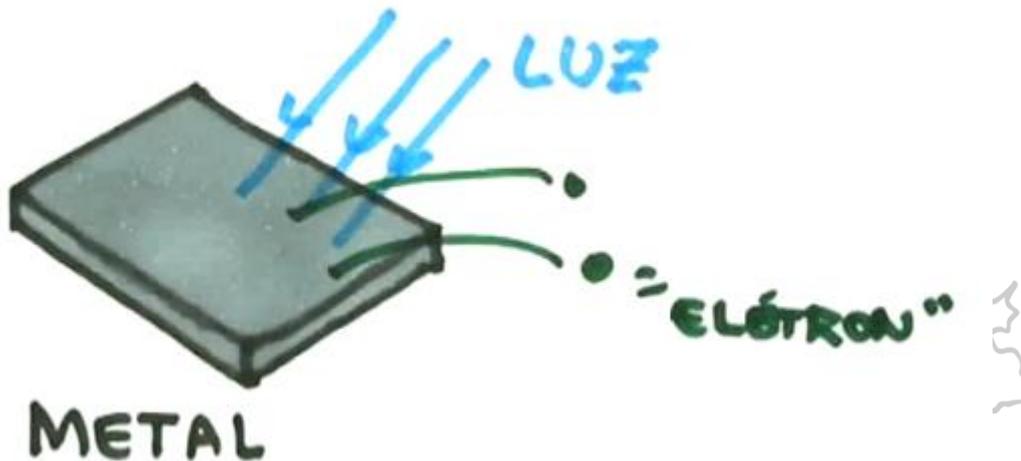


ela era composta de pequenos “pacotes” de energia, chamados de fótons. Justamente por ser algo totalmente inovador, essa teoria foi pouco aceita. Era de se esperar isso né? Afinal, se nós não conseguimos ver divisão nenhuma nos raios de luz, como alguém pode afirmar que ela não é contínua? E foi exatamente aqui que Einstein entrou na história! Ele abraçou as ideias de Planck e publicou um artigo que o fez ganhar o prêmio Nobel! Mas afinal, o que Einstein escreveu nesse artigo? Ele simplesmente provou o que Planck dizia: a luz interage com a matéria não como algo contínuo, mas sim como fótons! Mas espera aí, como ele conseguiu isso? Através do chamado Efeito fotoelétrico, que estudaremos em seguida.

EFEITO FOTOELÉTRICO

Muito provavelmente quando falamos que Einstein tinha utilizado o Efeito fotoelétrico para provar uma das grandes descobertas da Física você deve ter imaginado um experimento de alta complexidade, certo? Mas por incrível que pareça isso não é verdade! A ideia básica deste efeito é bem simples e entenderemos ela agora!

Suponha que você está carregando uma lanterna e uma placa de metal em suas mãos e que, por algum motivo, você decida apontar essa lanterna e iluminar a placa. O que o Efeito fotoelétrico diz é que ao incidir luz sobre essa superfície metálica, você fez com que alguns elétrons dela ganhassem energia e fossem ejetados! Te liga na imagem abaixo, ela mostra exatamente isso!



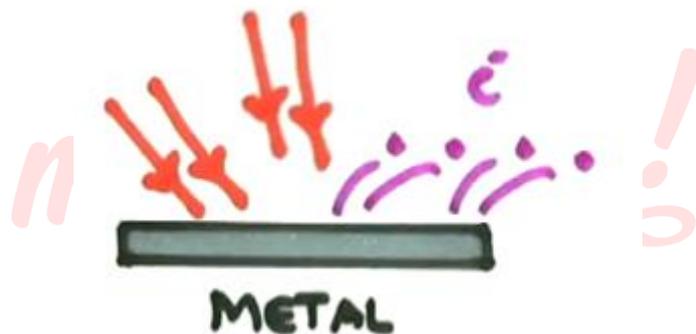
Bom, até aí tudo bem, isso já tinha sido descoberto muito tempo antes de Einstein. Entretanto, algumas outras coisas a respeito desse efeito ainda não tinham sido explicadas e foi justamente nelas que a Einstein se destacou!

Imagine que aquela lanterna de que falamos anteriormente emitisse luz vermelha e que, ao apontarmos ela para a placa de metal, dois elétrons foram removidos dessa placa com uma certa velocidade. Lembra com qual tipo de energia a velocidade está associada? Isso mesmo,

com a energia cinética. Podemos afirmar então que esses elétrons foram ejetados com uma certa energia cinética, certo? Isso mesmo!



Agora suponha que apontemos mais uma lanterna, exatamente igual a anterior, para a placa. Ou seja, que aumentamos a intensidade da luz (aumentamos a energia total!) que atinge a placa. O que será que vai acontecer? Intuitivamente imaginamos que os elétrons vão receber mais energia e, conseqüentemente, vão sair com uma velocidade maior, não é verdade? **Mas não é isso o que acontece!** O que realmente ocorre é que o dobro de elétrons são emitidos, mas todos com a mesma energia cinética dos anteriores!



Mas qual é a explicação disso? Esta foi uma das perguntas respondidas por Einstein. Ele se baseou em que a luz era composta pelos “pacotes de energia” (os fótons!) e utilizou a seguinte hipótese: cada fóton pode ser absorvido somente por um elétron e cada elétron pode absorver somente um fóton. E sabe o que é o mais sensacional? Isso realmente explica tudo que acontece no Efeito fotoelétrico!

Agora você pode estar se perguntando: existe algum modo de fazer com que os elétrons sejam ejetados com maior velocidade? A resposta disso é sim e isso também foi explicado por Planck e Einstein! Vamos entender isso agora: anos antes, quando criou sua teoria, Planck havia dito que a energia desses fótons que formavam a luz era diretamente proporcional à frequência que a luz oscilava. Mas ele não parou por aí! Através da constante de Planck ele conseguiu transformar essa proporcionalidade na equação mostrada abaixo!

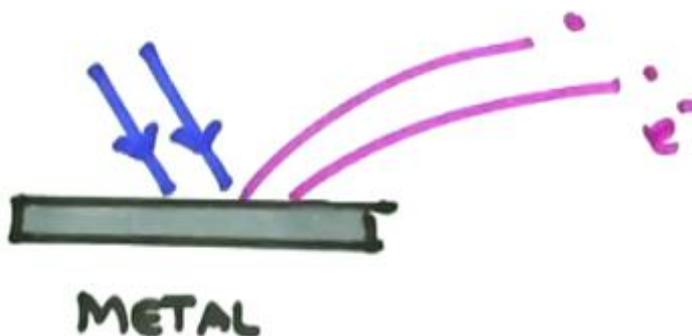
$$E = hf$$



E foi justamente através dessa equação que Einstein deduziu como a energia cinética com que os elétrons são ejetados variava: conforme a cor da luz incidente! Lembra do espectro eletromagnético que vimos na apostila de Ondulatória? Através dele mostramos que as luzes de cores violeta e azul possuíam as maiores frequências, como mostrado abaixo.



Muito provavelmente você já percebeu qual será o efeito disso aqui, não é? Os fótons que formam as luzes dessas cores possuem muito mais energia do que os fótons que formam a luz vermelha! E justamente por isso quando colocamos a luz azul sobre uma placa de metal os elétrons dela serão ejetados com muito mais velocidade (e energia cinética!) do que seriam se colocássemos uma luz vermelha!



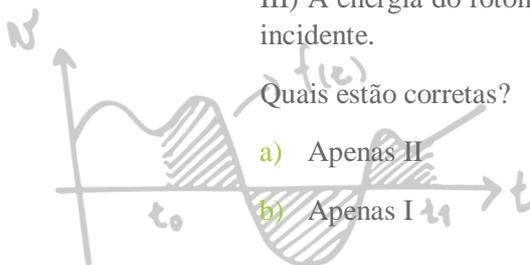
E aí, já está preparado para alguns exercícios? Aproveite para revisar alguns conceitos que aprendemos sobre os fótons!

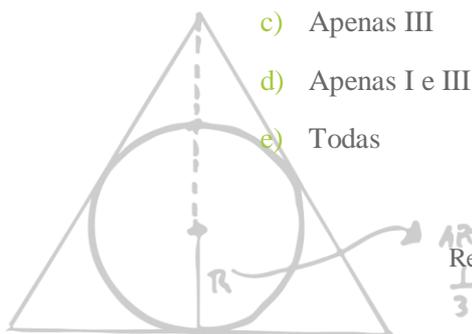
Exercício 01: Julgue as afirmações abaixo.

- I) Um fóton pode ser absorvido por mais de um elétron.
- II) Quanto mais intensa a luz, maior a energia de cada fóton.
- III) A energia do fóton é diretamente proporcional a frequência da onda incidente.

Quais estão corretas?

- a) Apenas II
- b) Apenas I



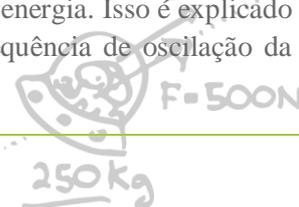


- c) Apenas III
- d) Apenas I e III
- e) Todas

Correta: C

Resolução na plataforma do MeSalva!: Exercício IFIM04EX1

Não esqueça! Independente de qual seja a intensidade de uma certa luz, os fótons que formam a luz de uma mesma cor sempre irão possuir a mesma energia. Isso é explicado pelo fato de que a energia dos fótons depende apenas da frequência de oscilação da onda eletromagnética.

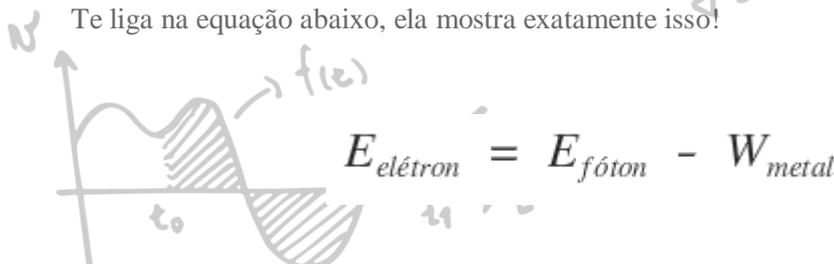


A FUNÇÃO TRABALHO

Bom, fazendo um pequeno resumo do que estudamos agora: o Efeito fotoelétrico nos diz que quando um feixe de luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons dela são ejetados com uma certa energia cinética, certo? Mas nosso estudo não acaba por aqui! Se você reparar bem, existe uma coisa que ainda não mensuramos: a energia cinética com que o elétron sai do metal.

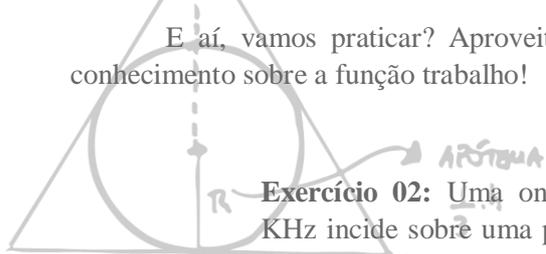
Concorda que os elétrons fazem parte do material metálico? Sim, isso realmente é verdade! Sabendo disso, podemos nos perguntar o seguinte: será que não é necessária uma certa energia para “desgrudar” esses elétrons do metal? Com certeza! Essa energia é a chamada função trabalho do metal.

Vamos pensar um pouquinho em tudo que vimos até agora: sabemos que um fóton carrega energia e que quando ele interage com a matéria essa energia é absorvida por um só elétron, certo? Além disso, acabamos de estudar que é necessário realizar um certo trabalho para remover um elétron do metal. Bom, é justamente através dessas duas coisas que podemos descobrir com quanta energia cinética um elétron é ejetado! Veja bem: se ele ganha a energia do fóton e precisa realizar trabalho para se “desgrudar” do metal, então a energia (cinética) que vai restar para ele é a diferença entre essas duas! Te liga na equação abaixo, ela mostra exatamente isso!



A energia cinética com que um elétron é ejetado é exatamente igual a energia do fóton menos o trabalho necessário para retirar o elétron do metal.

E aí, vamos praticar? Aproveite esse exercício para você fazer praticar seu conhecimento sobre a função trabalho!



Exercício 02: Uma onda eletromagnética com frequência de 2×10^{17} KHz incide sobre uma placa metálica cuja função trabalho é $6 \cdot 10^5$ eV. Considerando a constante de Planck $4,2 \times 10^{-15}$ eV.s, qual é a energia cinética máxima de um elétron após o efeito?

- a) 840×10^3 eV
- b) $2,40 \times 10^5$ eV
- c) 6×10^5 eV
- d) $2,4 \times 10^8$ eV
- e) 24×10^5 eV



Correta: B

Resolução na plataforma do MeSalva!: Exercício IFIM06EX1

Vale a observação! É claro que a energia cinética do elétron não pode ser negativa. Caso a energia do fóton seja menor do que o trabalho do metal, então os elétrons não são ejetados do material. Isso é exatamente o que acontece com ondas de frequências muito baixas! Chamamos a frequência mínima necessária para arrancar o elétron de “frequência de corte” e ela varia conforme o material da placa!

O EFEITO FOTOELÉTRICO NA PRÁTICA

Alguma vez você já reparou que os postes de rua acendem suas lâmpadas automaticamente conforme escurece? Eles fazem isso através de um dispositivo que fica bem em cima da lâmpada, chamado de fotocélula. E sabe o que é mais interessante? Esse dispositivo funciona através do efeito fotoelétrico!

Quando a luz solar atinge a placa de metal do dispositivo alguns elétrons são ejetados, criando uma corrente dentro do circuito interno da fotocélula. Lembra lá do Eletromagnetismo o que aparece quando existe uma corrente elétrica? Isso aí, um campo magnético! Esse campo magnético atrai uma peça de metal, tirando ela de seu



lugar e abrindo o circuito responsável por fazer a luz acender. Quando anoitece, esses elétrons param de ser emitidos e a corrente elétrica no circuito extingue-se. Consequentemente, o campo magnético some e a peça de metal volta para seu lugar, fechando novamente o circuito responsável por ligar a lâmpada!

Muito importante! O Efeito fotoelétrico não acontece somente com a luz, seu princípio também é o mesmo para todas as ondas eletromagnéticas! Uma observação importante é que se onda tiver uma frequência muito baixa, seus fótons não terão energia suficiente para fazer com que os elétrons sejam arrancados do metal.

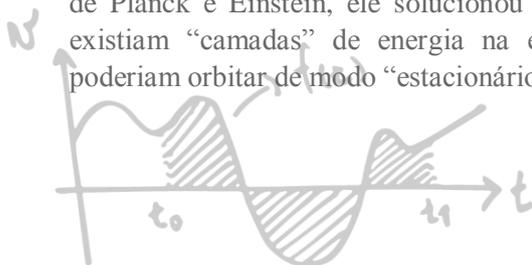
ATOMÍSTICA

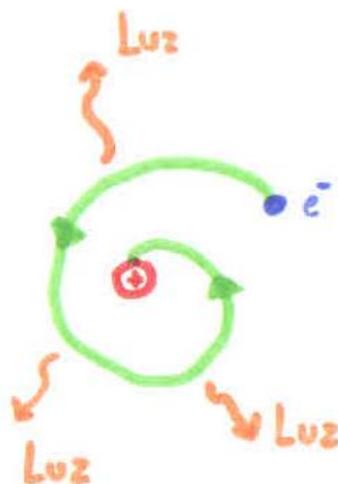
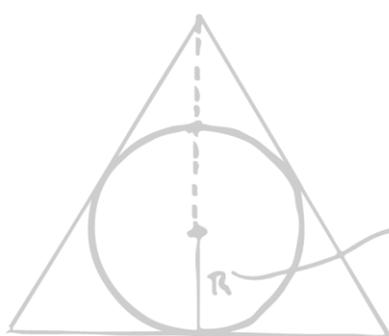
Muito provavelmente vocês já ouviram falar do modelo atômico de Bohr, não é? Sim, aquele mesmo lá que você aprendeu com o professor de química! Pois então, nesse próximo capítulo iremos estudar ele novamente, a diferença aqui é que utilizaremos uma nova abordagem: através de conceitos da Física Quântica! Estudaremos como essa “nova Física” foi fundamental para a criação deste modelo!

O MODELO ATÔMICO DE BOHR

Bom, antes de entendermos onde a Física Moderna entrou nessa história, precisamos relembrar um pouco das características do modelo atômico que era aceito antes das descobertas de Bohr. Lembra qual era? Isso mesmo, o modelo atômico de Rutherford.

Rutherford já sabia que o átomo era composto por um centro positivo, composto de muita massa, no qual os elétrons orbitavam em volta. Entretanto, existia um problema nessa sua teoria que nem ele e nem a Física Clássica conseguiam solucionar: se os elétrons podem emitir e ganhar energia constantemente, como que eles conseguem manter sua órbita praticamente fixa? Como eles não acabam colidindo com o núcleo do átomo? E foi justamente aí que Bohr apareceu! Utilizando a teoria quântica de Planck e Einstein, ele solucionou o problema dos elétrons. Bohr considerou que existiam “camadas” de energia na eletrosfera do átomo, locais onde os elétrons poderiam orbitar de modo “estacionário”, ou seja, mantendo sua energia fixa!



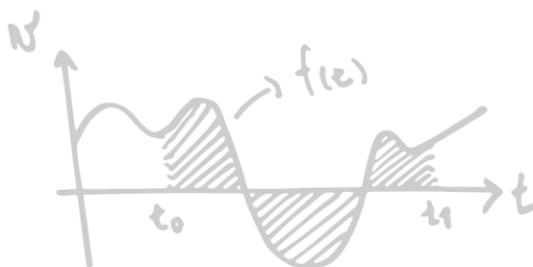


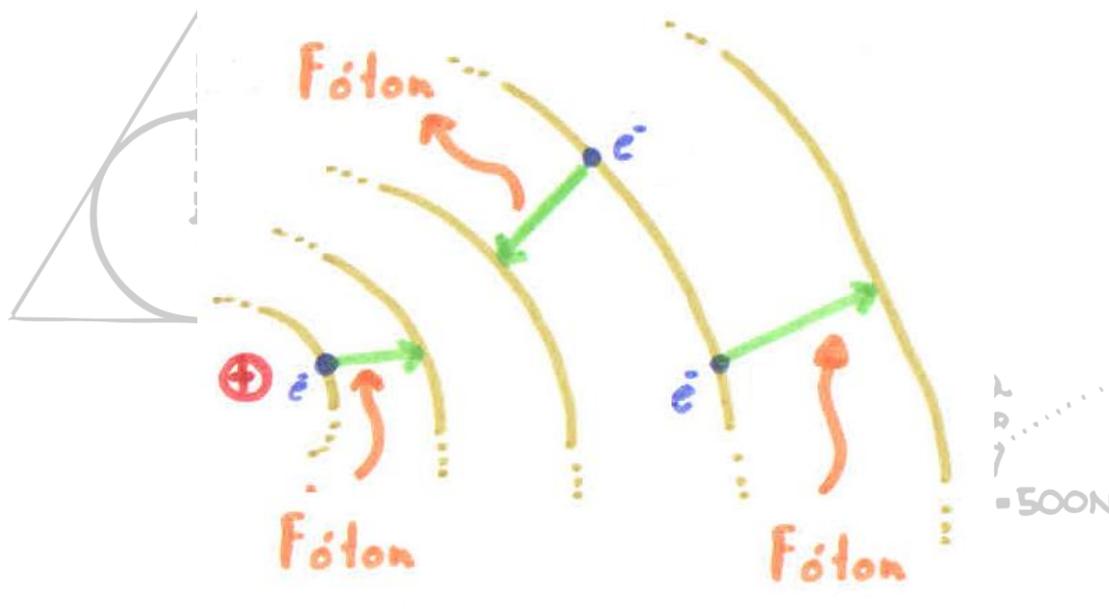
Mas não é só isso! Ele afirmou que todos os elétrons que orbitam em cada uma dessas “camadas” possuem a mesma energia e que o único modo destes elétrons transitarem entre estas camadas era absorvendo ou perdendo energia! Ué, elétron absorvendo energia? Já não vimos isso antes nessa apostila? Com certeza! Bohr afirmou que para que um elétron trocasse de órbita eletrônica ele deveria ganhar ou perder um fóton! Sim, aquele mesmo descoberto por Planck!

A ENERGIA DAS CAMADAS ELETRÔNICAS

Nesta parte falaremos um pouco de alguns detalhes que envolvem essas órbitas eletrônicas explicadas por Bohr. A primeira coisa muito importante que você deve conhecer é que quanto mais próximo do núcleo do átomo, menos energética é a camada. Consequentemente, quanto mais afastada do núcleo uma camada é, maior é a sua energia. E é justamente disto que conseguimos deduzir o que acontece quando os elétrons se movimentam entre essas camadas!

Para que um elétron transite para uma órbita eletrônica mais próxima ao núcleo do átomo, é necessário que ele perca energia. Em outras palavras, que ele emita um fóton (que ele emita luz!). O contrário acontece quando o elétron se move para uma camada mais externa ao átomo. Neste caso, é necessário que o elétron absorva um fóton (energia). Te liga, exatamente esses dois movimentos são mostrados na imagem abaixo!





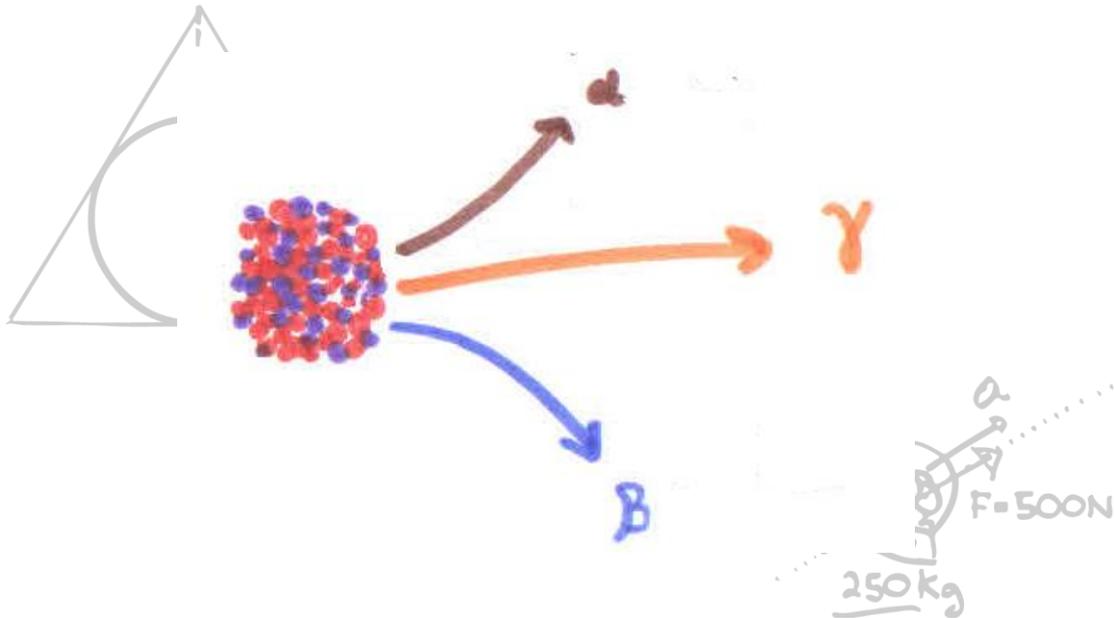
Muito importante! Segundo o modelo proposto por Bohr, um elétron não pode, de maneira alguma, estar localizado entre duas órbitas eletrônicas.

RADIOATIVIDADE

Alguma vez você já ouviu falar sobre a radiação? Apostamos que sim! E muito provavelmente ela foi associada à algo ruim, não é mesmo? Normalmente a primeira coisa que vem em nosso pensamento quando pensamos nela são coisas assustadoras, como o tão conhecido acidente nuclear de Chernobyl. Mas esse pavor todo é apenas coisa da nossa cabeça, a radiação é não é algo ruim! Ela inclusive possibilitou diversos avanços na área da saúde, como o desenvolvimento do tratamento radioterápico e dos exames de raios X, salvando a vida de muita gente! Mas espera aí, o que exatamente é a radiação? Vamos entender isso!

Existem alguns elementos químicos em nosso planeta que possuem naturalmente um excesso de energia dentro de seus núcleos. Estes elementos são chamados de elementos instáveis. E agora precisamos lembrar de algo bem importante: durante todo nosso estudo de Física vimos que um sistema sempre tende a possuir a menor energia possível, não é verdade? Pois então, esse mesmo princípio se aplica aqui! Esses átomos com excesso de energia em seu núcleo sempre tendem a se desfazer dessa energia para alcançar uma forma mais estável. Mas como eles perdem essa energia? Através da emissão de partículas! E é justamente essa emissão que chamamos de radioatividade! Esse decaimento de energia que os átomos instáveis sofrem pode ser de três tipos: alfa, beta e gama. Estudaremos cada um deles agora. Prontos?



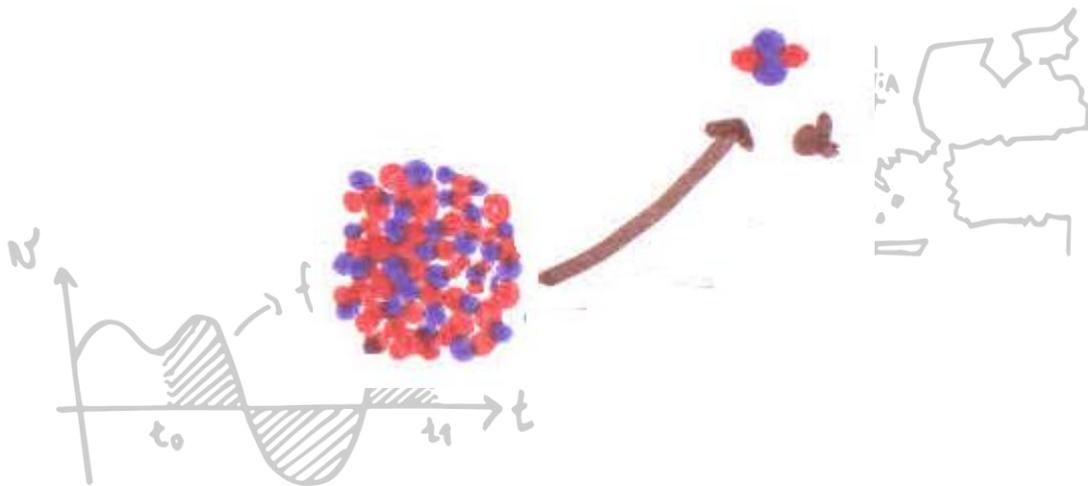


Curioso! A radiação existe desde a formação do planeta Terra, ela é tão normal quanto o nascer do Sol e a chuva!



DECAIMENTO ALFA (α)

O decaimento alfa é basicamente uma fragmentação do núcleo do elemento instável. Entre os três decaimentos, este é o único em que ocorre uma perda considerável na massa do átomo. A partícula emitida neste caso é chamada de partícula alfa e é composta por dois prótons, dois nêutrons e dois elétrons.



Mas espera aí, não existe um elemento na tabela periódica que possua exatamente essa mesma configuração? Existe sim, é o Hélio! Sendo assim, podemos concluir que a partícula alfa nada mais é do que o núcleo do gás Hélio! Impressionante, não é?

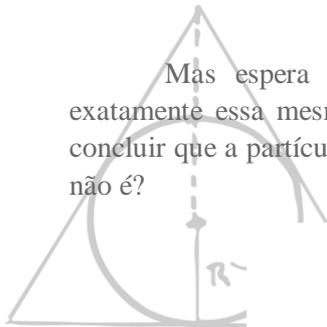


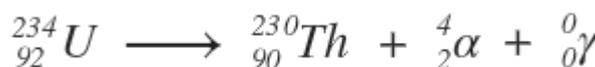
TABELA PERIÓDICA

		2 He
8 O	9 F	10 Ne
16 S	17 Cl	18 Ar



Justamente por ser muito pesada (com número de massa igual a quatro), a partícula alfa é muito pouco penetrante. Ou seja, sua capacidade de atravessar materiais é pequena. Na prática ela não consegue ultrapassar nem mesmo uma folha de papel. Em virtude disso ela não é muito perigosa para nós seres humanos.

Um exemplo deste tipo de decaimento é o que acontece com o Urânio-234 que decai pela emissão de uma partícula alfa e de um fóton, transformando-se no elemento Tório-230.



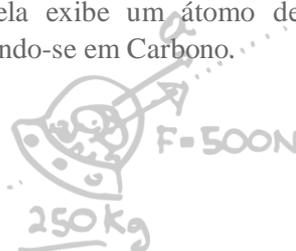
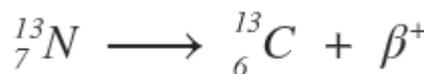
Vale observar que o elemento resultante do decaimento não é necessariamente estável. Ele pode ser apenas menos instável que o elemento original.

Vale a pena saber! Esse decaimento normalmente é seguido por um decaimento gama, ou seja, pela emissão de um fóton, como estudaremos em seguida!

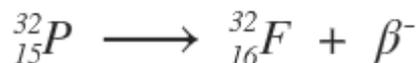


DECAIMENTO BETA (β)

Chamamos de decaimento beta quando o núcleo do átomo emite um elétron ou um pósitron. Mas espera aí, desde quando existe elétrons no núcleo? E o que é um pósitron? Aqui está a grande jogada deste tipo de decaimento! Quando um átomo sofre um decaimento beta positivo, ele emite um pósitron. Ao perder essa carga positiva, um próton do elemento se transforma em um nêutron e o número atômico desse elemento diminui em uma unidade. Te liga na expressão abaixo, ela exhibe um átomo de Nitrogênio sofrendo um decaimento beta positivo e transformando-se em Carbono.

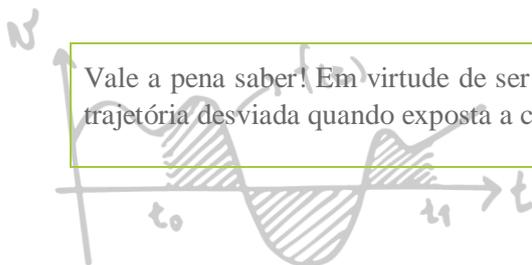


Já quando um elemento sofre um decaimento beta negativo, ele perde uma carga negativa (um elétron de origem nuclear). Ao emitir esse elétron, um nêutron se transforma em um próton e, conseqüentemente, o número atômico aumenta em uma unidade. Aqui abaixo temos a expressão de um átomo de Fósforo sofrendo um decaimento beta negativo e transformando-se no átomo de Flúor.



Percebeu que em nenhuma das reações que vimos sobre o decaimento beta o átomo perde massa? Mas espera aí, se o elétron possui massa, como não ocorre alteração no número de massa do elemento? É simples! Como aprendemos lá na Química, a massa do elétron é muito, mas muito menor do que a massa do próton e do nêutron. Ou seja, ela é desprezível! Na prática o átomo realmente perde uma fração muito pequena de massa, entretanto, ela é tão pequena que não altera seu número de massa. Outro fato importante é que, por possuir pouca massa, o poder de penetração dessa partícula é maior do que o da partícula alfa!

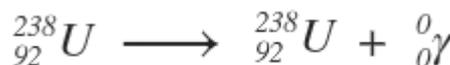
Vale a pena saber! Em virtude de ser eletricamente carregada, essa partícula tem sua trajetória desviada quando exposta a campos elétricos e magnéticos.



DECAIMENTO GAMA (γ)

Esse decaimento é basicamente a emissão de energia por um átomo instável. Mas aqui a grande jogada é que essa energia é emitida através de fótons de luz! Como já vimos lá no Efeito fotoelétrico, um fóton não é eletricamente carregado e nem possui massa alguma. Devido a essas características este é o tipo mais penetrante de radiação. Muito mais que os dois tipos anteriores! E é justamente por isso que este tipo de decaimento é o mais perigoso para os seres vivos. Ela é tão poderosa que tem a capacidade de alterar o material genético de qualquer ser que ela atingir.

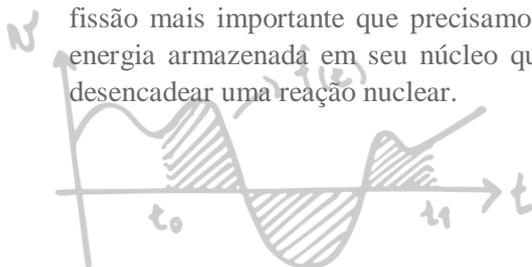
Vale reforçar que quando um átomo sofre exclusivamente este decaimento não ocorre variação em seu número de massa e nem em seu número atômico. Ou seja, o elemento se mantém o mesmo. Exatamente isso é mostrado na reação abaixo!

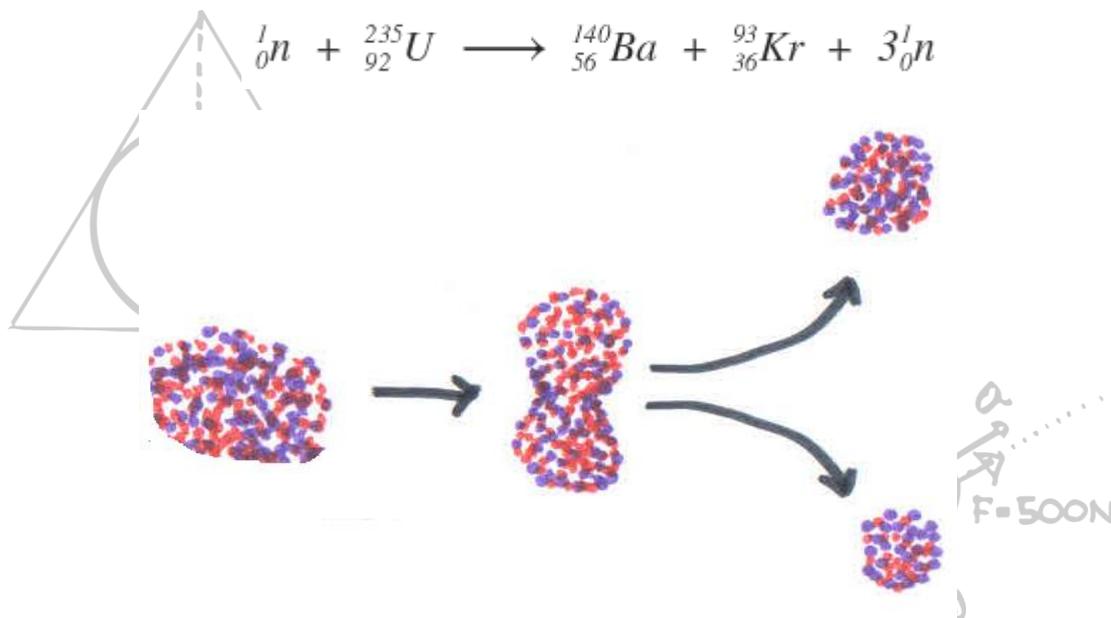


Não esqueça! Todos os três decaimentos que vimos são emitidos pelo núcleo do átomo instável!

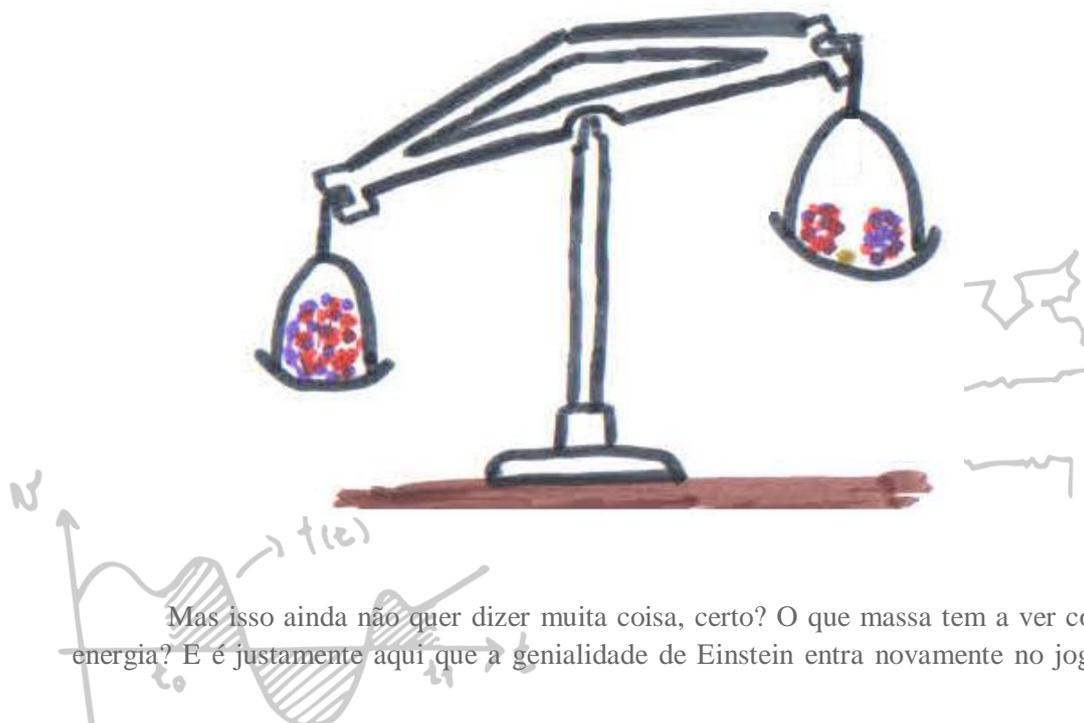
FISSÃO NUCLEAR

E agora finalmente vamos entender como é gerada energia em uma usina nuclear, iremos estudar a fissão nuclear! Mas espera aí, o que significa fissão? A mesma coisa que divisão! A fissão de um átomo nada mais é do que a sua divisão em outros átomos! Intuitivamente já conseguimos imaginar que deve ser difícil romper o núcleo de um átomo, não é? Com certeza! Mas existe um truque por trás da reação de fissão utilizada nas usinas nucleares. Normalmente os átomos utilizados nos reatores possuem muita energia acumulada, ou seja, eles são extremamente instáveis! Assim basta um pequeno “empurrãozinho” para desencadear a fragmentação desse átomo. A reação de fissão mais importante que precisamos conhecer é a do Urânio-235. Ele possui tanta energia armazenada em seu núcleo que basta apenas a absorção de um nêutron para desencadear uma reação nuclear.





Mas espera aí, de onde surge a energia dessa reação? Aqui vem a grande jogada deste tipo de reação nuclear! A massa dos átomos que surgem após a fissão é um pouco menor do que a massa do átomo original. Ou seja, nesta reação uma parte da massa acabou “sumindo”. Chamamos isso de defeito de massa.



Mas isso ainda não quer dizer muita coisa, certo? O que massa tem a ver com energia? E é justamente aqui que a genialidade de Einstein entra novamente no jogo!



Ele conseguiu encontrar essa equivalência entre massa e energia formulando a sua clássica equação:

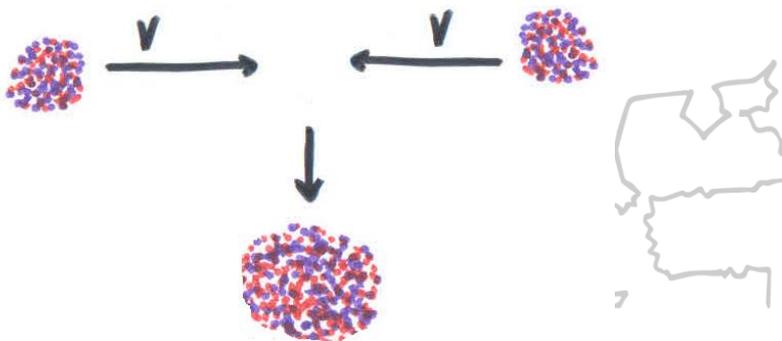
$$E = mc^2$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo. Através desta equação conseguimos encontrar exatamente qual é o valor de energia gerada em uma reação nuclear! Basta substituímos o termo “ m ” pela diferença entre a massa do átomo original e a massa dos átomos gerados depois da fissão!

Atenção! Se você precisar calcular a energia gerada na fissão de um átomo de urânio-235, não se esqueça de considerar a massa dos três nêutrons que surgem após a reação!

FUSÃO NUCLEAR

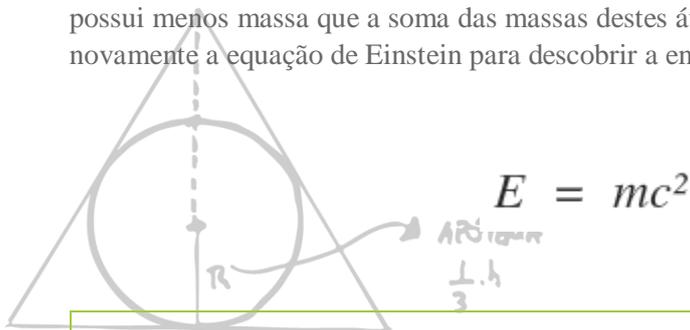
A reação de fusão nuclear é exatamente o contrário da reação de fissão! Ela é a união de dois ou mais núcleos, resultando em um núcleo maior e mais estável. Um detalhe muito importante e curioso é que uma reação de fusão libera até dez vezes mais energia que a fissão! Mas espera aí, se essa reação libera muito mais energia, porque ela não é utilizada nas usinas nucleares? Ótima pergunta! Porque são necessárias velocidades muito, mas muito altas para dois átomos fundirem. Na prática, a energia resultante da fusão não compensaria a grande energia gasta para acelerar os átomos.



E a energia dessa reação vem de onde? Podemos seguir a mesma lógica da fissão para entender isso! Quando dois um mais átomos se fundem, o átomo resultante



possui menos massa que a soma das massas destes átomos originais. Ou seja, utilizamos novamente a equação de Einstein para descobrir a energia gerada!

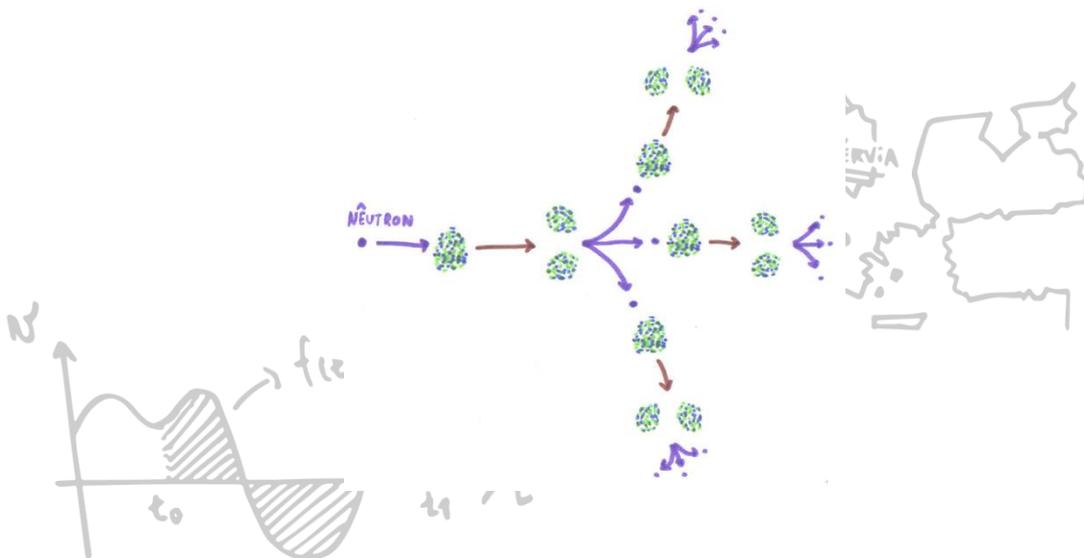


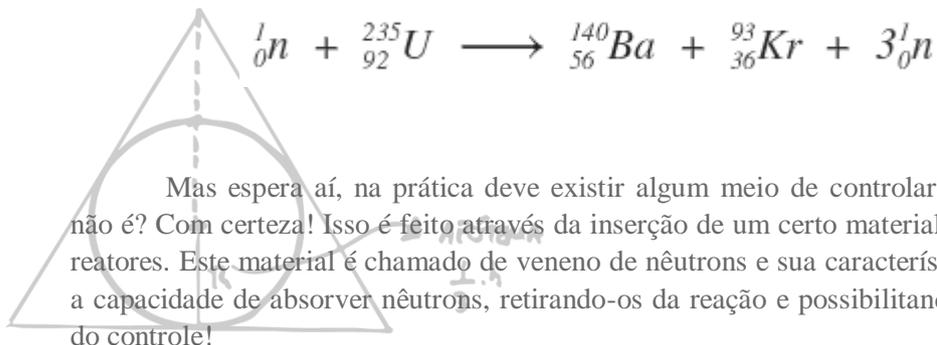
Curioso! A energia emanada pelo Sol vem justamente da fusão nuclear. Em seu interior existem milhões de átomos de hidrogênio que sofrem fusão, liberando grandes quantidades de energia e se transformando em átomos de Hélio.



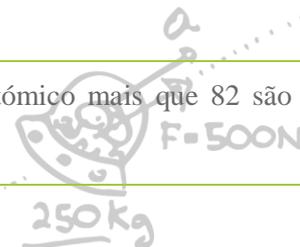
AS USINAS NUCLEARES E A REAÇÃO DE CADEIA

As reações em cadeia são basicamente o segredo por trás da produção de energia nas usinas nucleares! Vamos entender como elas funcionam! Uma reação em cadeia é basicamente uma reação que, após ser iniciada, consegue se manter sozinha. Mas como isso acontece? Te liga no exemplo do urânio, que é o elemento radioativo mais utilizado para produção de energia. Como estudamos anteriormente, para que aconteça a fissão de um átomo de urânio-235, é necessário que ele absorva um nêutron, certo? Pois então, o que não falamos antes é quando acontece essa reação de fissão, três nêutrons são emitidos! Já entendeu onde vamos chegar, não é? Dentro de um reator nuclear esses três nêutrons irão causar a fissão de outros três átomos de urânio-235. E isso prosseguirá acontecendo, fazendo com que o número de reações cresça exponencialmente.





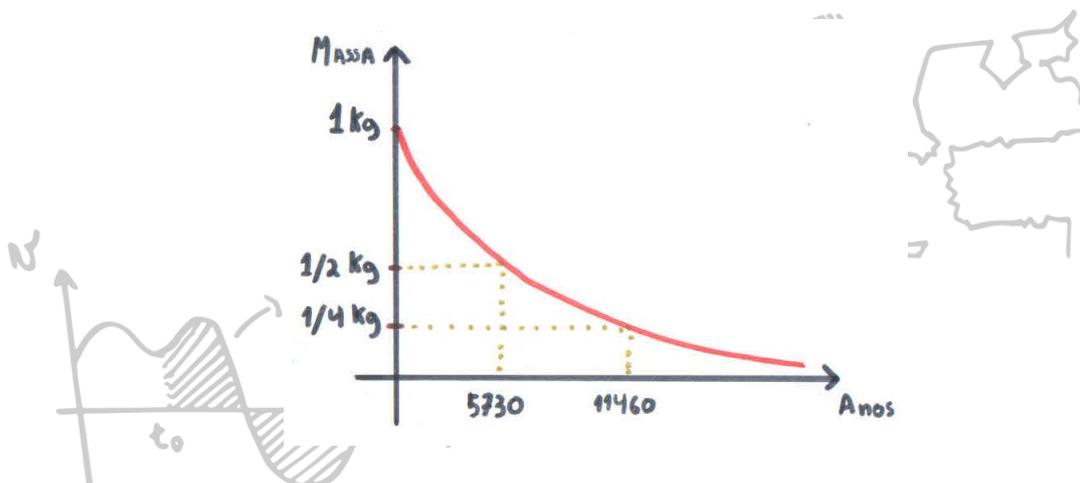
Bom saber! Todos os elementos químicos com número atômico mais que 82 são radioativos!



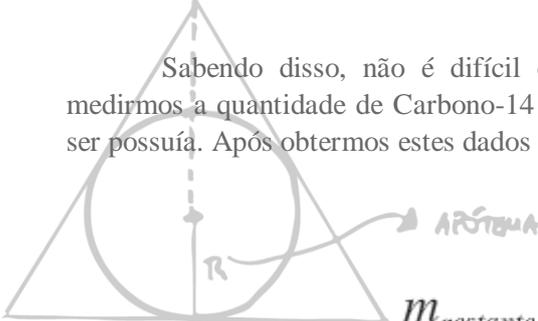
TEMPO DE MEIA VIDA

Alguma vez você já parou para pensar em como os cientistas conseguiram descobrir quantos antes de nós os dinossauros viveram? Muito provavelmente você pensou que era através dos fósseis, certo? E é exatamente isso. Mas o que exatamente eles fazem com os ossos para descobrir isso? Eles analisam quanto de um elemento ainda resta nos ossos e a partir disso conseguem estimar a idade em que o dinossauro morreu. Mas espera aí, como isso é feito? Você já vai entender isso!

Como vimos lá em Biologia, todos os seres vivos possuem o elemento Carbono-14 em seus tecidos. Um fato interessante é que, a partir do momento em que qualquer ser morre, a quantidade do elemento Carbono-14 existente começa a cair. Mais precisamente, essa quantidade cairá pela metade a cada 5.730 anos. E esse tempo é justamente a meia vida do Carbono-14! O tempo de meia vida de um elemento é o tempo necessário para que uma amostra desse elemento reduza sua massa pela metade.



Sabendo disso, não é difícil entender como os fósseis são datados! Basta medirmos a quantidade de Carbono-14 e compararmos com a quantidade inicial que o ser possuía. Após obtermos estes dados nos resta apenas aplicar a seguinte equação:



$$m_{restante} = \frac{m_{inicial}}{2^n}$$

onde n é o número de meias vidas. Conhecendo o número de meias vidas decorridos, para encontrarmos a idade do fóssil basta multiplicarmos esse número pelo tempo de meia vida do elemento!

Muito importante! Utilizamos o exemplo do Carbono-14 para entender o conceito de tempo de meia vida. Entretanto, podemos aplicar essa mesma ideia para todos os outros elementos que sofrem decaimentos!

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Você percebeu quantas vezes citamos Einstein até aqui? Muitas, não é? E se te dissermos que todas descobertas dele que aprendemos até aqui são minúsculas perto do que vamos estudar agora? Sim, é isso mesmo! A Teoria da relatividade proposta por ele simplesmente revolucionou toda Física conhecida.

Quando Einstein entrou na universidade, no início do século 20, praticamente todas as áreas da Física, como a Mecânica, a Eletricidade e o Eletromagnetismo, já haviam sido estudadas e estavam consolidadas. E foi justamente em cima disso que Einstein se questionou: se todos os estudos estivessem corretos, então as análises feitas em uma destas áreas da Física devia funcionar em outra. Faz sentido, certo? Mas felizmente, Einstein percebeu um problema: a Mecânica descrevia bem a cinemática de praticamente todas as coisas do nosso cotidiano, menos da luz. Já o estudo do Eletromagnetismo descrevia perfeitamente o movimento da luz e não servia para o estudo de outras coisas. Foi então que Einstein percebeu que isso não fazia sentido, que deveria haver um modo de unificar tudo que já havia sido descoberto e confirmado. E deste pensamento surgiu a magnífica Teoria da relatividade.



Espera aí, mas por que esse nome ‘relatividade’? Porque nesta teoria Einstein revolucionou o mundo que conhecíamos! Ele propôs que, coisas antes tidas como absolutas (como a massa, o comprimento e até mesmo o tempo!) na verdade elas eram relativas. Espera aí, o tempo é relativo? Sim, isso mesmo! Loucura não é? Mas não se preocupe, vamos entender tudo isso em seguida!



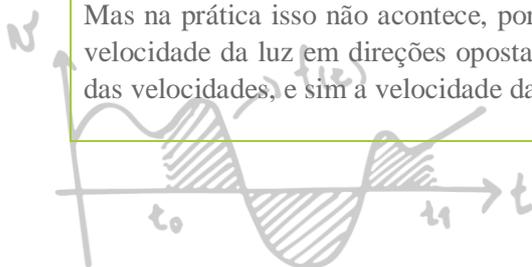
POSTULADOS DA RELATIVIDADE

Para formar sua teoria, Einstein se baseou em dois postulados. Mas espera aí, o que é um postulado? É basicamente uma suposição que serve como regra para tudo que será proposto. Einstein se baseia nestas duas afirmações para criar toda a Teoria da relatividade. Te liga em quais são eles:

- ✓ **1º postulado:** As leis da física são as mesmas para todos os observadores em quaisquer sistemas de referenciais.
- ✓ **2º Postulado:** Em qualquer referencial inercial, a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma, seja emitida por um corpo em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme.

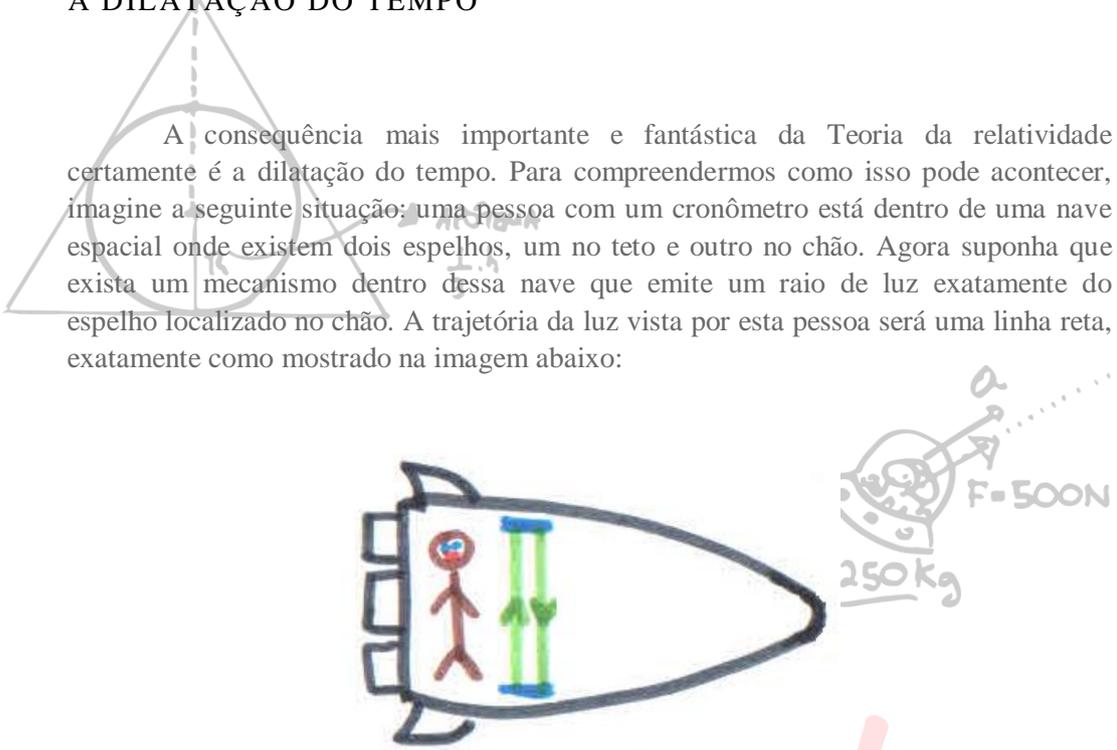
E foi justamente as consequência destes postulados que revolucionaram a Física. Vamos estudar cada uma delas individualmente em seguida!

Entendendo o 2º postulado! Suponha que você está em uma estrada dentro de um carro que se move a uma velocidade de 100 km/h. Então, por algum motivo obscuro, você arremessa uma pedra a 20km/h para trás. Conforme vimos lá na Cinemática, a velocidade do seu carro em relação a pedra deveria ser 120Km/h, certo? Exatamente! Agora imagine a mesma situação, só que substituindo a pedra por raios de luz de uma lanterna e o carro por uma nave espacial viajando na velocidade da luz (c). Se você apontasse a luz na direção contrária, faz sentido dizer que a velocidade relativa entre a nave e os raios de luz seria duas vezes a velocidade da luz ($2c$), não é? Pois então, aqui entra o grande problema. De acordo com a Física Clássica realmente faz sentido. Mas na prática isso não acontece, por mais que ambas as coisas estejam viajando na velocidade da luz em direções opostas, a velocidade relativa entre elas não é a soma das velocidades, e sim a velocidade da luz! Complexo, não é?

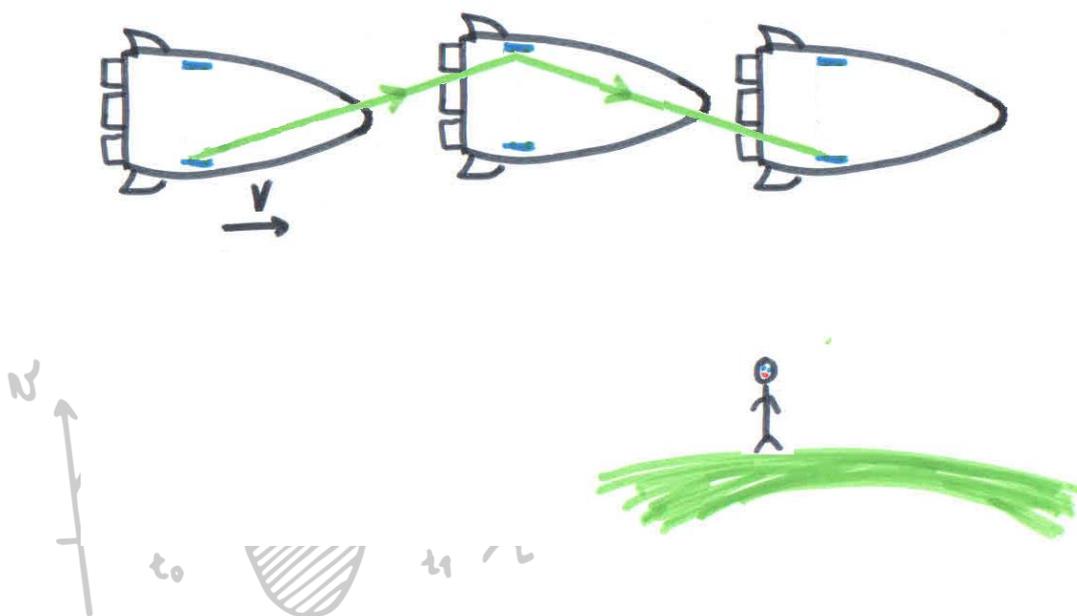


A DILATAÇÃO DO TEMPO

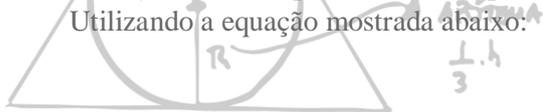
A consequência mais importante e fantástica da Teoria da relatividade certamente é a dilatação do tempo. Para compreendermos como isso pode acontecer, imagine a seguinte situação: uma pessoa com um cronômetro está dentro de uma nave espacial onde existem dois espelhos, um no teto e outro no chão. Agora suponha que exista um mecanismo dentro dessa nave que emite um raio de luz exatamente do espelho localizado no chão. A trajetória da luz vista por esta pessoa será uma linha reta, exatamente como mostrado na imagem abaixo:



A ideia básica é que a pessoa cronometre o tempo que a luz demora para refletir no espelho do teto e voltar ao espelho do chão. Até aí tudo bem, certo? Mas agora suponha que outra pessoa com um cronômetro, parada no planeta Terra, também esteja acompanhando o movimento desse raio de luz. A trajetória que ela irá ver é diferente daquela vista pela pessoa dentro da nave, não é mesmo? A distância percorrida pelo raio de luz será maior!



E aqui vem a grande jogada! Como a velocidade da luz é a mesma independente do referencial e as distâncias observadas pelas pessoas são diferentes, então podemos deduzir que alguma coisa aconteceu com o tempo, concorda? Exatamente isso! Os cronômetros marcaram tempos diferentes, para o observador fora da nave o tempo medido foi numericamente maior! Isso nos leva a concluir que o tempo sofreu uma dilatação! Mas espera aí, como podemos descobrir de quanto foi essa dilatação? Utilizando a equação mostrada abaixo:



$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

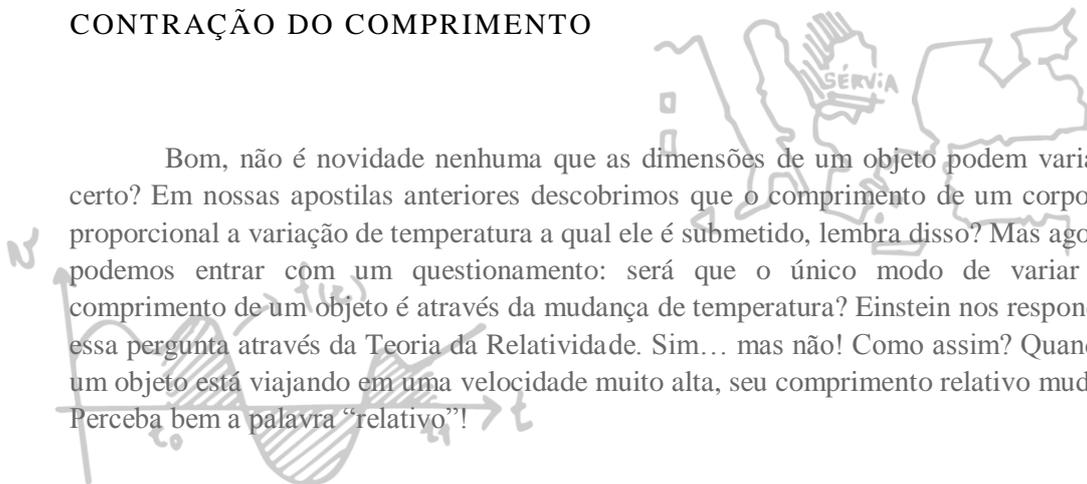


onde Δt_0 e Δt são, respectivamente, o intervalo de tempo marcado pelo observador dentro da nave (parado) e o intervalo de tempo marcado pelo observador fora da nave (em movimento), (v) é a velocidade da nave e (c) é a velocidade da luz (aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s).

Importante! Vale notar que para velocidades muito menores que a da luz o denominador desta equação se torna muito próximo de 1. Ou seja, os tempos medidos pelos cronômetros se tornam muito, mas muito próximos. Isso é o principal motivo pelo qual não notamos essas mudanças no tempo e no espaço!

CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

Bom, não é novidade nenhuma que as dimensões de um objeto podem variar, certo? Em nossas apostilas anteriores descobrimos que o comprimento de um corpo é proporcional a variação de temperatura a qual ele é submetido, lembra disso? Mas agora podemos entrar com um questionamento: será que o único modo de variar o comprimento de um objeto é através da mudança de temperatura? Einstein nos responde essa pergunta através da Teoria da Relatividade. Sim... mas não! Como assim? Quando um objeto está viajando em uma velocidade muito alta, seu comprimento relativo muda! Perceba bem a palavra “relativo”!



Voltando novamente àquele exemplo da nave e dos dois observadores. Se a pessoa dentro da nave estivesse segurando uma régua de 30 cm, a pessoa localizada fora da nave, na superfície da Terra, iria enxergar uma régua medindo menos do que os 30 cm. Mas aqui entra algo muito importante! A dilatação não acontece no objeto em si, mas sim no espaço em torno dele! Mas espera aí, isso não quer dizer que a contração do comprimento é uma ilusão óptica. Se houve realmente um jeito do observador na Terra medir o comprimento dela, ele iria obter uma medida menor que 30cm. Mas qual menor? Podemos calcular isso através da seguinte equação:

$$L_0 = L \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

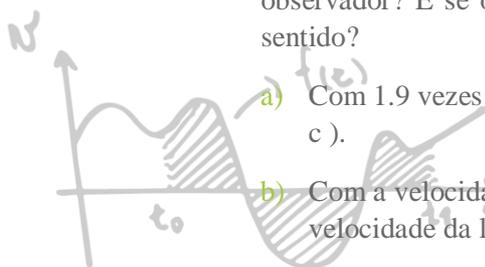


onde L_0 e L são, respectivamente, comprimento do objeto medido pelo observador fora da nave e o comprimento do objeto medido pelo observador dentro da nave (em repouso em relação ao objeto), (v) é a velocidade da nave e (c) é a velocidade da luz (aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s).

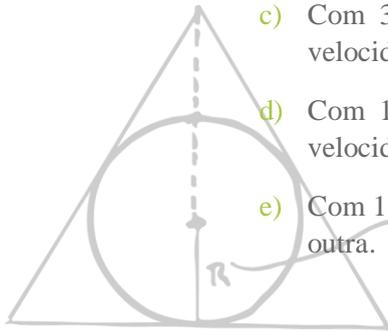
Vale destacar! Perceba que, quando medido por um observador em movimento, o comprimento de um objeto será sempre **menor** do que esse comprimento medido por um observador que se move junto com o objeto, ou seja, que está em repouso relativo. Além disso, essa contração do comprimento ocorre apenas na dimensão que é paralela à direção do movimento: um objeto que se move horizontalmente terá apenas suas dimensões horizontais contraídas, ou seja, não haverá contração vertical.

Agora é sua vez de praticar. Aproveite estes exercícios para testar o seu conhecimento sobre a Teoria da relatividade restrita!

Exercício 03: Considere um feixe de luz no vácuo e um observador que alcança 90% da velocidade da luz, na primeira situação eles estão a uma distância extremamente grande. Com o referencial inercial no observador, quando se aproximam, qual a velocidade percebida pelo observador? E se o feixe e o observador viajasse na mesma direção e sentido?



- a) Com 1.9 vezes a velocidade da luz (c) - Com a velocidade da Luz (c).
- b) Com a velocidade da luz (c) - Com a velocidade da luz (c) Com a velocidade da luz (c).



- c) Com 3.6 vezes a velocidade da luz (c).- Com duas vezes a velocidade da Luz (c).
- d) Com 1.9 vezes a velocidade da luz (c) - Com duas vezes a velocidade da Luz (c).
- e) Com 1.9 vezes velocidade da luz (c) - Estaria parada em relação a outra.

Correta: B

Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA02EX1

Exercício 04: A dilatação do tempo é uma das consequências dos postulados de Einstein. Em uma situação onde o tempo medido fora de uma espaçonave é 20 min e dentro da espaçonave é medido 10 min, qual a porcentagem da velocidade da luz a espaçonave deve ter?

Considere que a raiz de três seja igual 1,73.

- a) 25 %
- b) 13 %
- c) 50 %
- d) 87 %
- e) 90 %

Correta: D

Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA04EX1

Exercício 05: Se o tempo medido fora da espaçonave é 75% maior do que o tempo medido dentro da espaçonave, qual a porcentagem da velocidade da luz que a espaçonave tem?

Considere a raiz de 0,67 igual a 0,821.

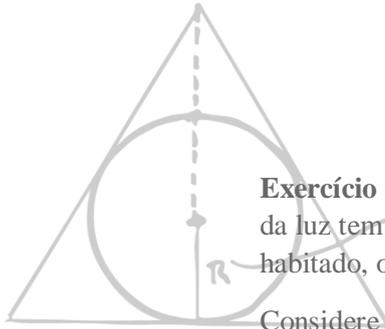
- a) 25 %
- b) 90 %
- c) 75 %
- d) 67 %
- e) 82 %



Correta: E



Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA04EX2



Exercício 06: Uma cápsula que viaja no espaço a 50 % da velocidade da luz tem comprimento de 10 metros. Quando ela passa por um planeta habitado, os observadores percebem que comprimento?

Considere que a raiz de três seja igual 1,73.

- a) 1,44 metros
- b) 4,33 metros
- c) 2,50 metros
- d) 8,66 metros
- e) 9,56 metros



Correta: D

Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA06EX1

Exercício 07: Qual deve ser a porcentagem da velocidade da luz aproximadamente, que uma nave deve ter para que seja percebido apenas um quarto do comprimento real de uma espaçonave?

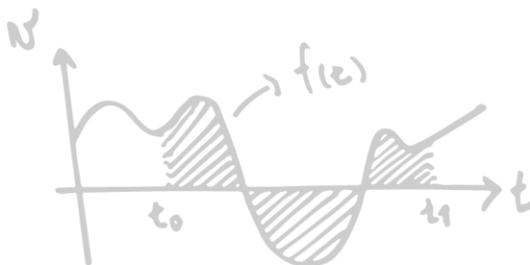
Considere raiz de quinze igual a 3,87.

- a) 10 %
- b) 25 %
- c) 97 %
- d) 87%
- e) 95%



Correta: C

Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA06EX2





Exercício 08: Um cosmonauta deixa a terra e viaja com velocidade 60 % da velocidade da luz. Depois de 12 anos viajando em direção ao centro da galáxia ele resolve voltar, totalizando 24 anos nesta mesma velocidade no referencial do cosmonauta, quanto tempo se passou na terra?

- a) 24 anos *ARISTOIA*
 b) 30 anos $\frac{1}{3} \cdot h$
 c) 60 anos
 d) 192 anos
 e) 45 anos



Correta: B

Resolução na plataforma do MeSalva!: TRRA08EX1

CONCLUSÃO

E aí, curtii toda essa viagem que fizemos pela Física Moderna? Esperamos que sim! Aqui aprendemos vários conceitos novos, e justamente por isso é muito importante que você não deixe de revisar o conteúdo. Dê uma atenção especial para a história por trás de todas as descobertas, ele é tão importante quanto a parte teórica!

E é com a Física Moderna que terminamos o estudo da nossa querida Física. Para chegar aqui temos certeza de que você se dedicou muito, então parabéns! Mas nada está acabado ainda, agora é focar em resolver exercícios e manter o conteúdo na ponta da língua.

PARA SABER MAIS!

SITES:

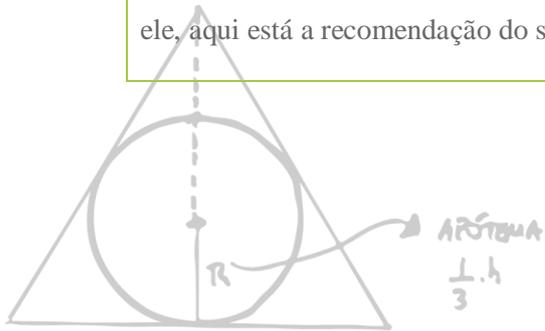
✓ <http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>



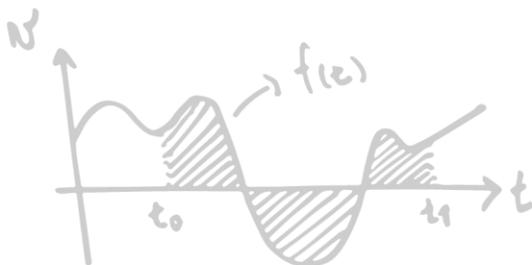
Lembra o que citamos sobre o experimento de Young ter provado o caráter ondulatório da luz? Pois então, se você tiver curiosidade de entender mais sobre



ele, aqui está a recomendação do site que você pode utilizar para isso!

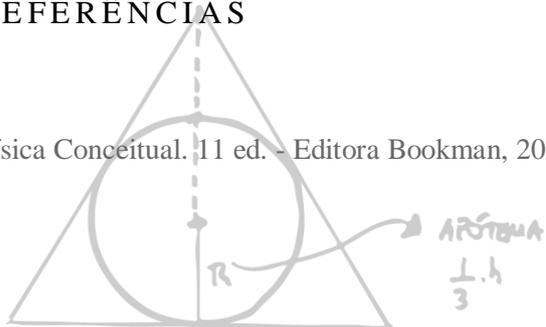


meSalva!



REFERÊNCIAS

Física Conceitual. 11 ed. - Editora Bookman, 2011 - Porto Alegre. Hewitt, Paul G.



meSalva!

