



SIRIUS: A LUZ DA CIÊNCIA BRASILERA

LAIS ESTEVÃO MORAES
DÉBORA COIMBRA

Título: Sirius: A luz da Ciência Brasileira

**Edição de texto: Laís Estevão Moraes e Débora
Coimbra**

Revisão: Débora Coimbra

Revisão Gramatical: Scarlett Sarah A. Arcanjo

Diagramação: Scarlett Sarah A. Arcanjo

Imagem da Capa: Carlos Eduardo de Moura Luz

SUMÁRIO

1. Ímãs

2. Campo magnético

3. Força magnética

4. Exercícios de aplicação: força e energia magnéticas

5. Uma máquina que nos permite enxergar: o Síncrotron

6. Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?

7. O Sirius

8. Questionário final

9. Bibliografia

APRESENTAÇÃO

A tecnologia é uma realidade recorrente na vida dos jovens, e é uma forte aliada para tornar as tarefas cotidianas mais simples, rápidas e eficientes. A Física Moderna e Contemporânea é responsável pelo desenvolvimento de muitas dessas tecnologias, como fornos micro-ondas, termômetro infravermelho, lasers, exame de raio-x, leitores de códigos de barras e *QR codes*.

De acordo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), a física dos primórdios do século XX não está acessível na educação básica, pela forma atual de se pensar os currículos, pela formação inicial docente que é engessada em nível nacional e pela oferta escassa de ferramentas para o desenvolvimento do trabalho do professor, que de tão raras são designadas inovações curriculares. Amplos são os clamores na literatura especializada pelo desenvolvimento de instrumentos didáticos bem fundamentados, que contribuam para aproximar os conteúdos vistos em salas de aula com esses temas mais atuais, de forma a facilitar e engajar professoras/es e alunas/os.

Durante a trajetória no curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), que visa a inserção da educação científica e tecnológica em todos os espaços da educação formal e não formal e que busca desenvolvimento de ações sistemáticas de modo a proporcionar condições para abordagem diferentes temas, projetos e produtos educacionais, desenvolvemos uma sequência didática. Articulando conceitos eletromagnéticos, essa foi pensada tendo o acelerador de partículas Sirius e as pesquisas desenvolvidas em seu laboratório correlato como cenário.

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) abrigou a primeira fonte de luz síncrotron do Brasil, chamada UVX, no período entre 1997 e 2019, atualmente é o responsável pela operação do Sirius, inaugurado em 2018. Trata-se de um acelerador de partículas de quarta geração, acelerando elétrons a uma velocidade muito próxima à da luz. As pesquisas são variadas, desde a observação de

combustíveis fósseis armazenados no espaço poroso de rochas carbonáticas (linha de luz de micro e nanotomografia de raio-X), até pesquisas pioneiras na área da agricultura com o desenvolvimento de sensores, que possibilitam o monitoramento da quantidade de água e nutrientes no solo, tecnologia voltada ao plantio de soja e cana de açúcar.

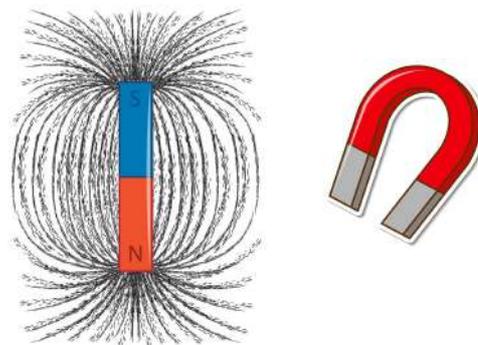
Nossa sequência didática foi desenvolvida em conformidade à metodologia de pesquisa baseada em design, que consiste no desenho, aplicação, redesenho e então validação das atividades. Esse ebook é a sistematização do redesenho e esse processo todo foi relatado na dissertação de mestrado intitulada INTERAÇÃO RADIAÇÃO MATÉRIA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE O SIRIUS. A aplicação foi realizada inicialmente junto a trinta alunos e posteriormente com grupo distinto de trinta e um estudantes no contra turno, ao longo das aulas do itinerário formativo de uma escola particular de Uberlândia-MG.

Considerando o Sirius um espaço no qual as aplicações da Física Moderna e Contemporânea são pujantes, acreditamos que esse material pode subsidiar diversas atividades, podendo ser utilizado integral ou parcialmente de acordo com as necessidades do/a professor/a. Se preciso, o docente poderá realizar adaptações do material, adequando-o quando necessário em função das diferentes contingências de sua realidade escolar.

As autoras

1. Ímãs

1. Para começo de conversa ...



Você já assistiu ao filme X-Men?

Ian McKellen em X-Men: O Confronto Final (2006)

O poder do super Vilão Magneto permite que ele possua controle sobre os campos magnéticos e funcione, essencialmente, como um “ímã” vivo, seja atraindo ou repelindo elementos afetados por esses campos.



Disponível em: <https://acesse.dev/magneto>

2. Explorando a atração dos ímãs pelos materiais

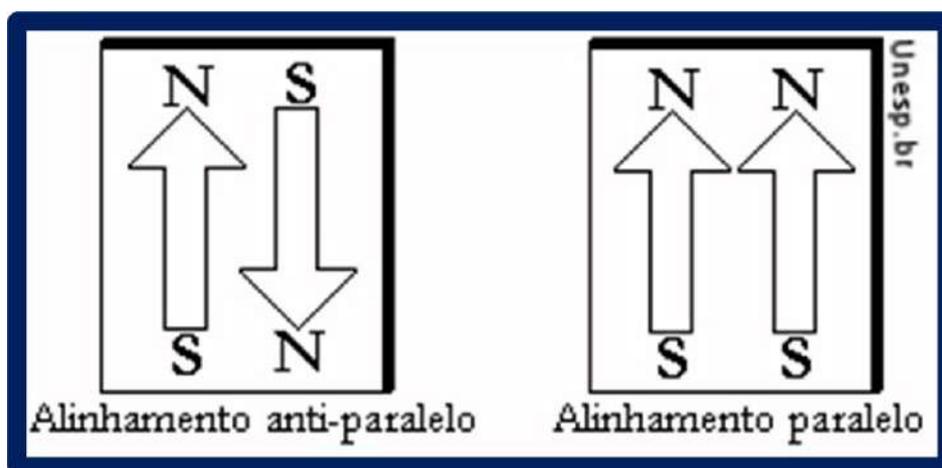


Utilize o ímã fornecido pelo professor e explore os materiais presentes na sala de aula.

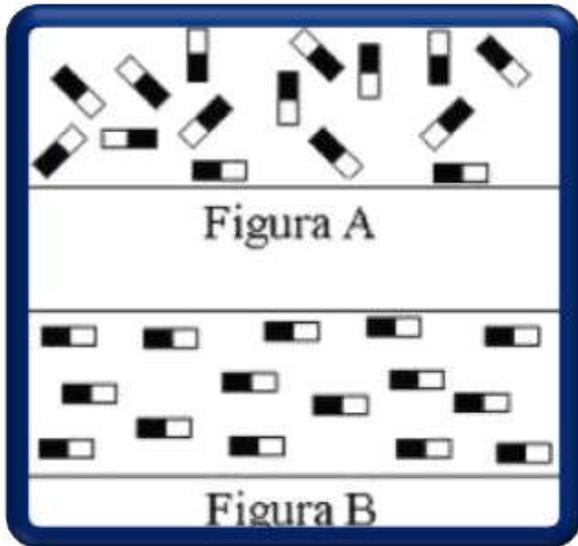
- Qual ou quais dos materiais disponíveis na sala de aula são atraídos pelo ímã?

- ❖ Se um ímã natural possui propriedades magnéticas, então todos os materiais que ele atrair ou repelir também terão propriedades magnéticas.
- ❖ Essas propriedades têm sua origem nos átomos, pois quase todos os átomos são dipolos magnéticos naturais e podem ser considerados como pequenos ímãs, com polos norte e sul.

É a interação entre os átomos que determina como os dipolos magnéticos estarão alinhados. Sabe-se que dois dipolos próximos e de igual intensidade anulam seus efeitos se estiverem alinhados antiparalelamente, e somam seus efeitos se estiverem alinhados paralelamente.



- **Propriedades importantes:**



- Se sob quaisquer condições os dipolos permanecem desalinhados, o material é considerado não-magnético.

- Se os dipolos permanecem alinhados, o material é dito ferromagnético ou ímã permanente.

- **O que ocorre no espaço entre o ímã e o objeto?**

Os domínios magnéticos se caracterizam pelo alinhamento cooperativo entre os momentos de dipolo magnético atômicos em todo seu volume . Os dipolos somente se alinham na presença de um outro ímã em três os casos:

Diamagnéticos

São materiais que, se colocados na presença de um campo magnético externo, estabelecem em seus átomos um campo magnético em sentido contrário ao que foi submetido, mas que desaparece assim que o campo externo é removido. Em razão desse comportamento, esse tipo de material não é atraído por ímãs. São exemplos: mercúrio, ouro, bismuto, chumbo, prata etc.

Paramagnéticos

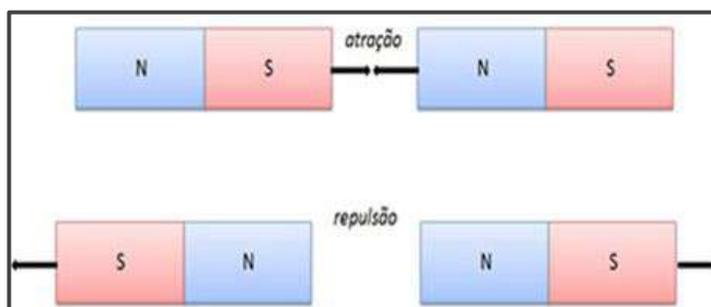
Pertencem a esse grupo os materiais que possuem elétrons desemparelhados, que, ao serem submetidos a um campo magnético externo, ficam alinhados no mesmo sentido do campo ao qual foram submetidos, que desaparece assim que o campo externo é retirado. São objetos fracamente atraídos pelos ímãs, como: alumínio, sódio, magnésio, cálcio etc.

Ferromagnéticos

Quando esses materiais são submetidos a um campo magnético externo, adquirem campo magnético no mesmo sentido do campo ao qual foram submetidos, que permanece quando o material é removido. É como se possuíssem uma memória magnética. Eles são fortemente atraídos pelos ímãs, e esse comportamento é observado em poucas substâncias, entre elas estão: ferro, níquel, cobalto e alguns de seus compostos.

3. Determinando os pólos de um ímã

Todo ímã apresenta duas regiões distintas, em que a influência magnética se manifesta com maior intensidade. Essas regiões são chamadas de polos do ímã. Esses polos possuem comportamentos diferentes na presença de outros ímãs, e são denominados Norte (N) e Sul (S).



Disponível em: <https://encurtador.com.br/dzTX3>



- ❖ *Existe monopolo magnético, um ímã com apenas um polo?*
- ❖ *Ainda que quebrems um ímã ele ainda continuará tendo um polo Sul e um polo Norte?*

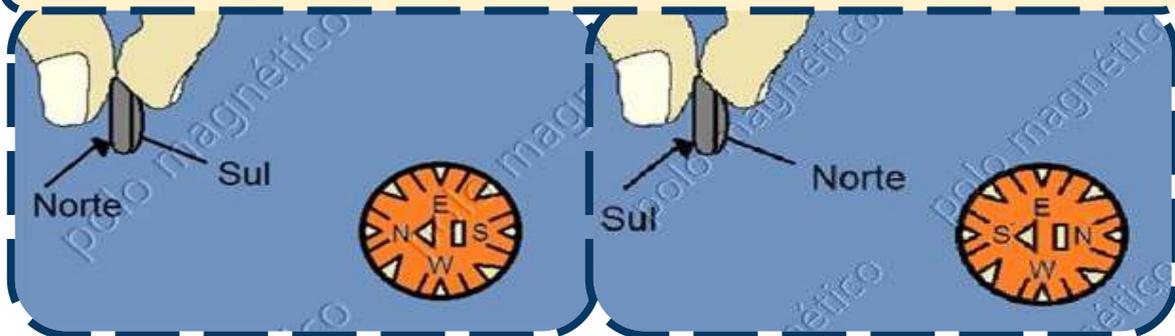


Inseparabilidade dos polos magnéticos

4. Experimentação:

- 1 Bússola
- 1 ímã

Aproximar as extremidades dos ímãs da bússola e analisar o seu comportamento.



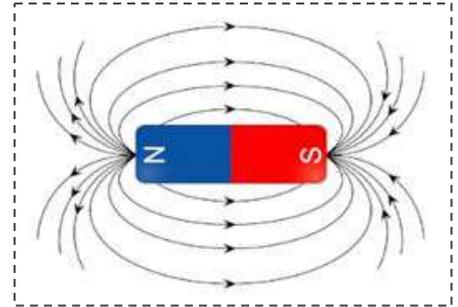
Note que a bússola varia à medida que aproximamos as extremidades diferentes do ímã, ou seja, quando a bússola apontar o polo sul para o ímã aquela extremidade do ímã será o polo norte e quando a bússola apontar o polo norte para o ímã aquela extremidade do ímã será o polo Sul.

Linhas de campo magnético

É possível enxergarmos as linhas de campo de um ímã?

O campo magnético é representado com linhas, para facilitar seu estudo. Essas linhas, por convenção, seguem uma direção: saem do polo norte e entram no polo sul. Cada ponto que constrói essa linha possui um módulo (valor), uma direção e um sentido. Essas linhas não se cruzam.

Linhas de campo magnético saindo do polo norte e entrando no polo sul em um ímã.



Disponível em:
<https://acesse.one/cam/pomagnetico>

O campo magnético distorce o espaço, portanto nesses pontos o campo pode ser identificado ou interagir com cargas em movimento, no qual as cargas elétricas sofrem interferência de forças. Ele é representado por linhas e é uma grandeza vetorial (possui intensidade, direção e sentido).

Experimentação:

- 1 ímã
- 1 Folha de papel
- Limalha de ferro.

Ao colocar o ímã embaixo da folha de papel e espalhar limalha de ferro por cima, nota-se uma curvatura na limalha de ferro que corresponde às linhas campo magnético.

Indicação de Vídeo:

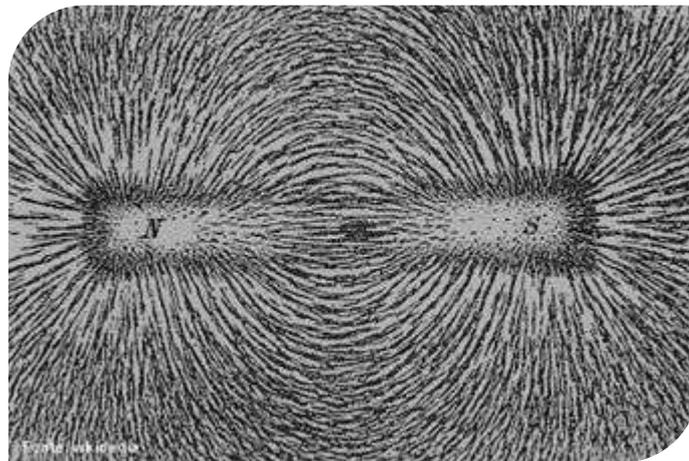
Como é feito um ímã? Disponível no Canal Manual do mundo.
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=jCL2dLh5MME>



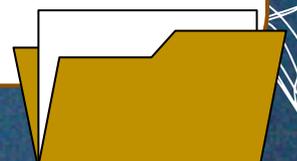
Material de apoio à/ao professora/professor:

- É aconselhável que durante essa aula, além de ímãs o professor leve outros objetos de diferentes materiais como: alumínio, plástico, cobre.
- Materiais como bússola, agulha e ímãs podem ser pedidos previamente às/aos estudantes.
- Após a experimentação, a limalha de ferro representará as linhas de campo conforme a imagem abaixo:

Representação das linhas de campo magnético



Disponível em:<https://acesse.dev/4xLN7>



2. Campo Magnético

1. Para começo de conversa ...

Você já ouviu falar ou já viu Aurora Boreal?

Trata-se de um fenômeno óptico que colore os céus nas regiões polares.

As auroras boreais são consequência da ação magnetosfera sobre as partículas solares. Elas aparecem quando os ventos solares entram em contato com o campo magnético terrestre.

Mas afinal, como as auroras boreais se formam? O que é o campo magnético tem a ver com as formação das auroras boreais?

Aurora Boreal



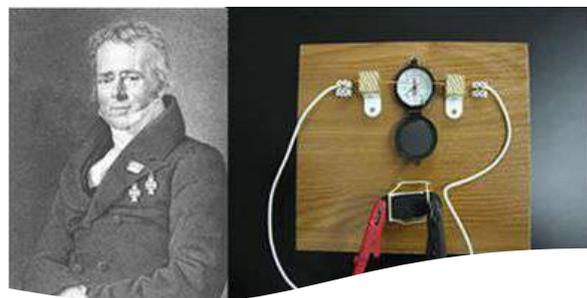
Disponível em: <https://abrir.link/WKxBt>

Mas afinal, como as auroras boreais se formam? O que é o campo magnético tem a ver com as formação das auroras boreais?

2. Campo Magnético e Corrente elétrica

Em 1820 Hans C. Oersted, percebeu que uma corrente elétrica ao percorrer um fio condutor, gera em torno dele um campo magnético

Hans Oersted e o seu experimento



Disponível em: <https://acesse.one/linkimagem3>

3. Sugestão didática: Simulador Phet.

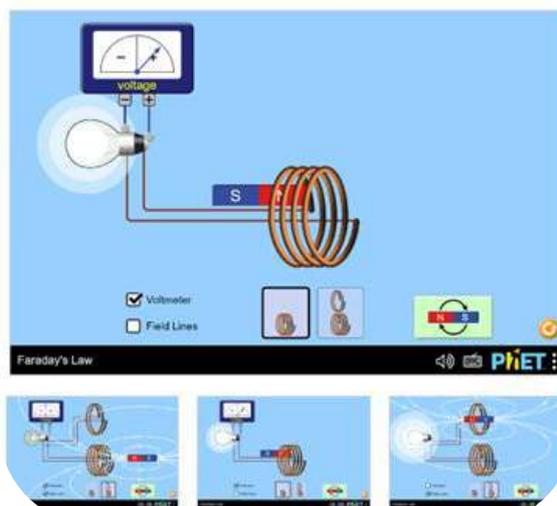
Em 1821, atraído pelo trabalho de Oersted, Faraday verificou, invertendo a experiência do físico dinamarquês, que os magnetos exercem ação mecânica sobre os condutores percorridos pela corrente elétrica. Foi graças a essa conclusão que Faraday criou o primeiro motor eletromagnético.

Faraday percebeu que, quando a bateria era ligada ou desligada, formava-se uma corrente no galvanômetro, no entanto, essa corrente cessava e só voltava a surgir quando a bateria era conectada ou desconectada. Faraday realizou diferentes experimentos, em um deles descobriu que, quando se move um ímã em direção a uma bobina condutora (também conhecida como solenoide), uma corrente elétrica percorre-a. Ele havia descoberto o princípio da indução eletromagnética.

O surgimento ou a interrupção da corrente elétrica fazia o ponteiro do galvanômetro mover-se.

Michael Faraday havia descoberto que a movimentação relativa entre um ímã e uma bobina era capaz de produzir uma corrente elétrica, Simulações da Lei de Faraday podem ser visualizadas através do Simulador interativo Phet disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law>

Experimentação lei de Faraday Lei de Faraday

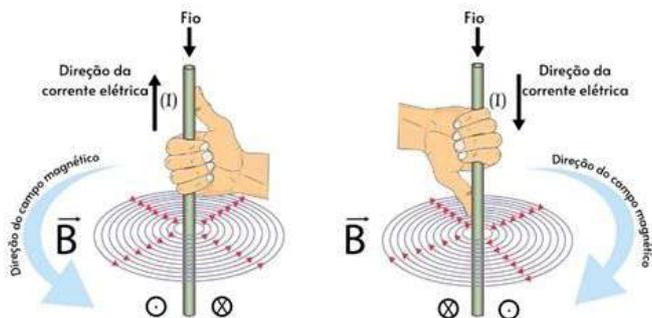


Disponível em: <https://acesse.dev/linkimagem2>

4. Vetor Campo Magnético \vec{B}

Observe a figura abaixo:

Representação da Regra da mão direita



O polegar está indicando o sentido da corrente elétrica que está atravessando o fio, enquanto os demais dedos estão dobrados envolvendo o condutor em uma região onde seria colocada a bússola. Observamos aqui que os dedos indicam o giro do polo norte da agulha da bússola.

Disponível em:

<https://brainly.com.br/tarefa/54296105>

Para calcularmos a intensidade do campo magnético produzido por um fio condutor, atravessado por uma corrente elétrica, utilizamos:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

B – campo magnético (T)

μ_0 – permeabilidade magnética do vácuo ($4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A)

i – corrente elétrica (A)

d – distância do ponto até o fio (m)

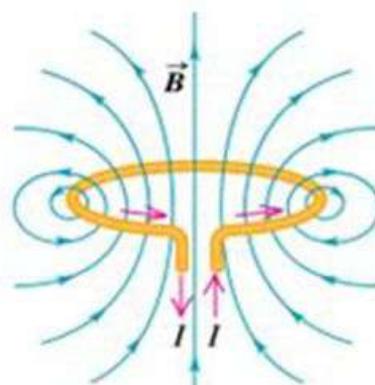
Campo magnético gerado por uma espira circular

O campo magnético gerado por uma espira circular pode ser calculado por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

R – raio da espira (m)

Campo magnético na espira circular



Disponível em:

<https://acesse.one/linkimagem1>

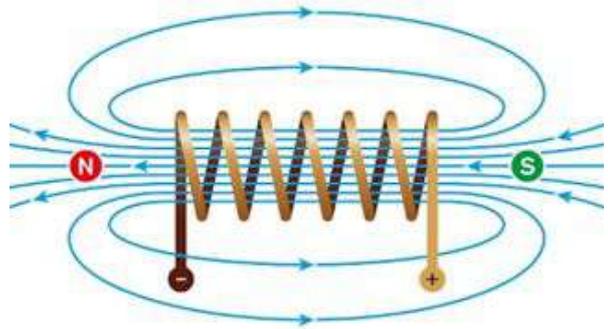
Campo magnético gerado por uma bobina

Bobinas são formadas por um conjunto de espiras condutoras. O cálculo do campo magnético produzido por uma bobina é bastante similar àquele feito para as espiras. Nesse caso, a diferença fica com o inteiro n – o número de espiras que forma a bobina:

$$B = \frac{n\mu_0 i}{2R}$$

n - número de espiras

Campo magnético gerado por uma espira circular



Disponível em: <https://acesse.one/linkimagem>

E a Aurora Boreal?

As auroras boreais são consequência da ação da magnetosfera sobre as partículas solares, elas aparecem quando os ventos solares entram em contato com o campo magnético terrestre. As luzes vistas são a concretização do fenômeno "carga acelerada irradia".

Campo magnético responsável pela formação da Aurora Boreal



Disponível em: <https://acesse.dev/linkimagem4>

As auroras polares ocorrem somente nas áreas de elevada latitude em razão da força do campo magnético da Terra. O que acontece é que os ventos solares carregados de elétrons movem-se a cerca de 1,6 milhões de km/h e, quando chegam ao nosso planeta, acabam sendo facilmente guiados pela força magnética gerada pelo núcleo terrestre, seguindo para as áreas polares.

Aplicações do uso de um ímã e Campo Magnético

Graças aos nossos ouvidos conseguimos ouvir sons produzidos por diversos dispositivos como buzinas, campainhas, alto-falantes, etc.

Os alto-falantes hoje estão em diversos aparelhos eletrônicos, sendo muito utilizados para incrementar carros de sons (figura).

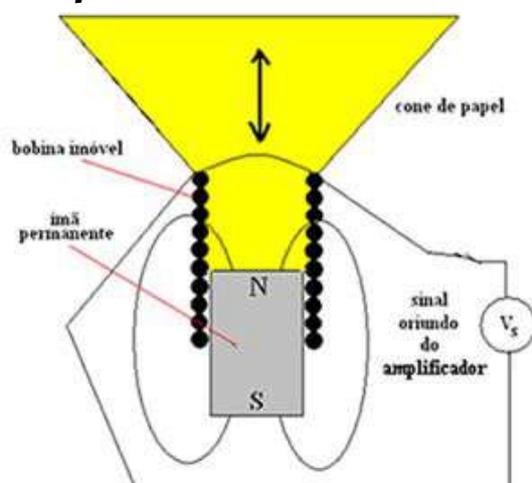
Alto falante



Disponível em:
<https://encr.pw/linkaltofalante>

Os alto-falantes funcionam a partir da conversão de energia elétrica em energia mecânica (movimento).

Componentes de um alto falante



Quando uma corrente elétrica é enviada através de uma bobina de fio, um campo magnético é induzido. Em alto-falantes, uma corrente é enviada através de uma bobina que produzindo um campo elétrico que interage com o campo magnético do ímã permanente existente no interior do alto-falante.

Disponível em: <https://l1nk.dev/linkaltofalante1>

Cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem. Quando um sinal de áudio é enviado através de uma bobina e a forma de onda musical se move para baixo a para cima, a bobina é atraída e repelida pelo ímã permanente.

Isso faz com que o cone ao qual a bobina está anexa mova-se para frente e para trás. Esse movimento cria ondas de pressão no ar que ***nós percebemos como som.***



Exercícios

1.UFB- Há três barras, AB, CD e EF, aparentemente idênticas. Experimentalmente, constata-se que:



- I – A extremidade A atrai a extremidade D;**
- II – A atrai a extremidade C;**
- III – D repele a extremidade E.**

Então:

- a) AB, CD e EF são ímãs.
- b) AB é ímã, CD e EF são de ferro.
- c) AB é de ferro, CD e EF são ímãs.
- d) AB e CD são de ferro, EF é ímã.
- e) CD é ímã, AB e EF são de ferro.

2. ITA - Um pedaço de ferro é posto nas proximidades de um ímã, conforme o esquema abaixo.

Qual é a única afirmação correta relativa à situação em apreço?

- a) É o ímã que atrai o ferro.
- b) É o ferro que atrai o ímã.
- c) A atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro.
- d) A atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- e) A atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro.

3. As bússolas são dispositivos usados ao longo dos séculos para facilitar a navegação. Assinale a alternativa correta em relação às bússolas.

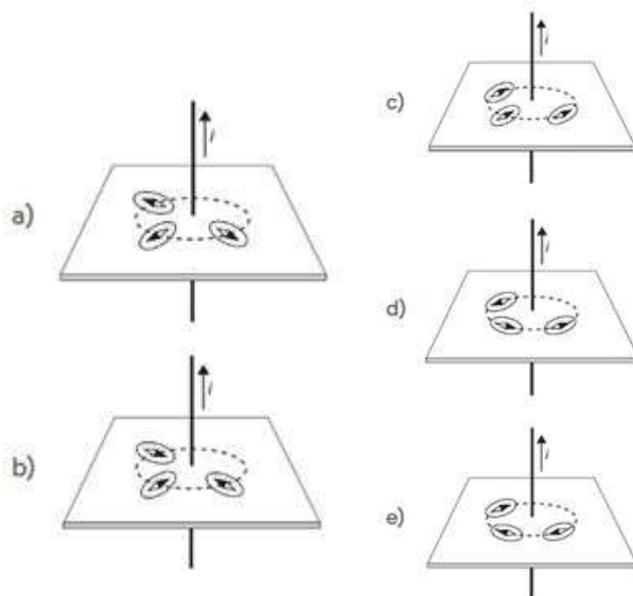
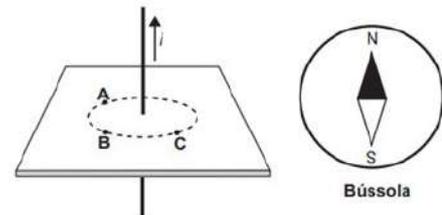
- a) As bússolas são pequenos ímãs que se orientam de acordo com o campo elétrico da Terra.
- b) As bússolas são capazes de apontar na direção exata do Norte geográfico.
- c) As bússolas são úteis em qualquer região do planeta Terra.
- d) As bússolas são agulhas magnetizadas que se alinham de acordo com o campo magnético da Terra.

4. (UFRGS) O primário de um transformador alimentado por uma corrente elétrica alternada tem mais espiras do que o secundário. Nesse caso, comparado com o primário, no secundário:

- a) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é contínua
- b) a diferença de potencial é a mesma e a corrente elétrica é alternada
- c) a diferença de potencial é menor e a corrente elétrica é alternada
- d) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é alternada
- e) a diferença de potencial é maior e a corrente elétrica é contínua

5. ENEM 2022- O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica.

A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para Cima. Os pontos A, B e C estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.



Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente i , as respectivas configurações das bússolas nos pontos **A**, **B** e **C** serão:



Material de apoio à/ao professora/professor:

Você pode sugerir à/ao estudante trazer altos falantes, caso tenha algum em casa.

O/A professor/a pode ter fácil acesso a ímãs de HD em locais que descartam lixo eletrônico

Gabarito:

1. Letra A

Para resolver essa questão, precisamos lembrar que os ímãs atraem o ferro, independentemente de qual polarização esteja mais próxima dele. No entanto, polos iguais do ímã repelem-se mutuamente. Portanto, as barras CD e EF são ímãs, já que elas se repelem, enquanto a barra A é somente atraída pelas duas extremidades da barra CD, tratando-se, dessa forma, de uma barra de ferro.

2. Letra E

Segundo a Terceira Lei de Newton, conhecida como Lei da Ação e Reação, quando um corpo exerce uma força sobre outro corpo, surge entre eles uma força de reação, de mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário. Logo, as forças exercidas sobre o ímã e o pedaço de ferro são iguais, mas com sentidos opostos. Dessa forma, a alternativa correta é a letra E.

3. Letra D

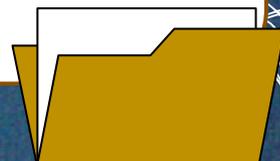
O campo magnético da Terra faz com que as agulhas magnetizadas no interior das bússolas alinhem-se e indiquem a direção Norte ou Sul.

4. Letra C

O enrolamento primário do transformador possui mais espiras do que o secundário, sendo assim, o transformador é um rebaixador de tensão, ou seja, a tensão é menor no enrolamento secundário do transformador

5. Letra D

Utilizando a regra da mão direita, podemos identificar como o sentido da corrente elétrica interfere no sentido do campo magnético gerado nas redondezas do fio retilíneo. Para uma corrente com sentido para cima, o campo magnético circular em volta do fio tem sentido anti-horário. Como a bússola segue com o seu polo Norte acompanhando o sentido do vetor campo magnético, a alternativa de demonstrar o sentido anti-horário está na letra [D].



3. Força Magnética



1. Para começo de conversa ...



- ❖ *Imagine-se num dia de muito calor, logo vem à sua mente ligar um ventilador, não é mesmo? Ou para subir lugares muito altos, você imagina haver um elevador para ajudá-lo a dispensar as escadas?*
- ❖ *Dentre tantas aplicações dos motores elétricos presentes no nosso dia-a-dia, você já se perguntou como eles funcionam?*
- ❖ *Para isso precisamos estudar a Força Magnética, em física, a Força magnética (F_m), também chamada de Força de Lorentz, representa a força de atração e/ou repulsão exercida pelos ímãs ou objetos magnéticos.*

2. Força Magnética

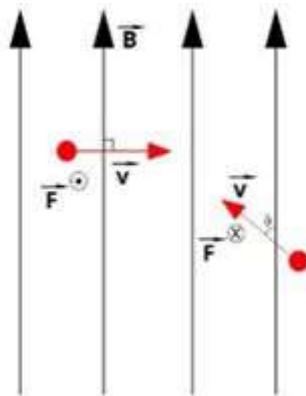
A equação que descreve a força magnética em um ponto carregado que se move em um campo magnético é dada pela Lei de Lorentz:

$$F = q.v.B.\text{sen}(\theta)$$



Para que essa força seja medida em Newtons (N), o módulo da carga líquida (q) do corpo, ou seja, a carga em excesso ou falta, deve ser dado em Coulombs; a velocidade da partícula (v) em relação ao campo magnético deve ser dada em m/s; o ângulo (θ) formado entre a velocidade (v) e o campo magnético (B), em Tesla (T), deve ser dado em graus ($^\circ$).

Observe a figura para entender melhor essa relação:



Vetores representando a força magnético

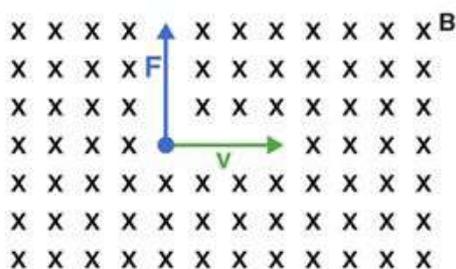
Na figura acima, temos duas partículas carregadas (em vermelho) deslocando-se com velocidade v em uma região onde o campo magnético é constante e vertical para cima. O sentido da força magnética depende da regra da mão direita. Além disso, se ela estiver "saindo" do plano do papel, usamos um círculo com um ponto no centro; se ela estiver "entrando" no plano do papel, usamos um círculo com um "X" no centro.

Para relacionar o campo magnético, o sentido do deslocamento do corpo e a força magnética, utiliza-se a regra da mão esquerda.

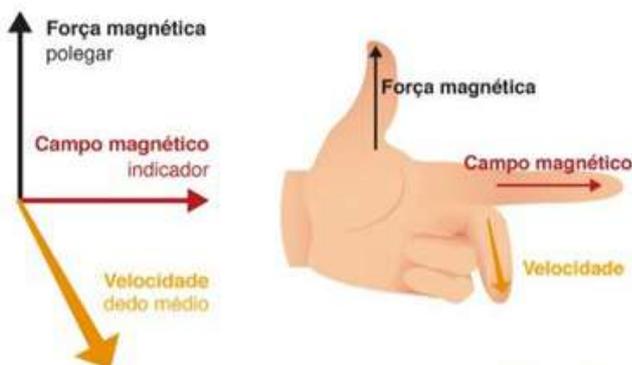
Utiliza-se a regra da mão esquerda para designar as devidas direções e sentidos na análise da força magnética de um corpo carregado positivamente. Nessa regra, o dedo médio representa a velocidade, o dedo indicador representa o campo magnético e o polegar representa a força magnética.

Regra da mão esquerda:

A imagem a seguir é a representação da força magnética, velocidade do corpo e campo magnético seguindo a regra da mão esquerda.



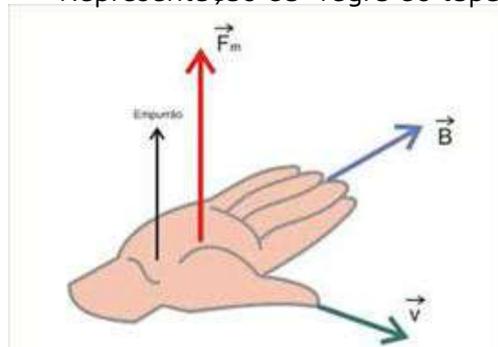
Campo entrando na folha, força para cima e velocidade para a direita. Na figura anterior, o campo magnético (B) está entrando na folha, e a velocidade (v) está para a direita. Logo, a força estará para cima, seguindo a regra da mão esquerda — lembrando que a carga é positiva. Caso a carga for negativa, deve-se inverter o sentido do componente calculado. Isso não implica inverter o sentido de todos os componentes, mas apenas do componente procurado.



Regra da mão direita ou regra do tapa:

Usamos a "regra do tapa" quando tratamos da força magnética sobre um condutor que está sendo percorrido por corrente elétrica. Considerando a mão direita, o polegar representa o sentido da corrente elétrica, os demais dedos unidos representam o sentido do campo magnético e a palma da mão representa o sentido da força.

Representação da "regra do tapa"



Disponível em: <https://encr.pw/pbYtA>

Força de Lorentz

Quando determinada carga q fica sob ação de um campo elétrico e é inserida perpendicularmente a um campo magnético, é possível que haja superposição entre os campos e que ocorra a combinação entre a força magnética e a força elétrica.

$$F_{el} = q \cdot E$$

$$F_{mag} = q \cdot v \cdot B \text{ (para } \text{sen } a = \text{sen } 90^\circ = 1)$$

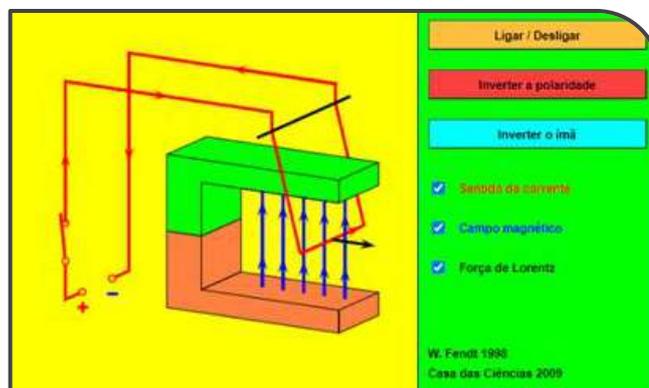
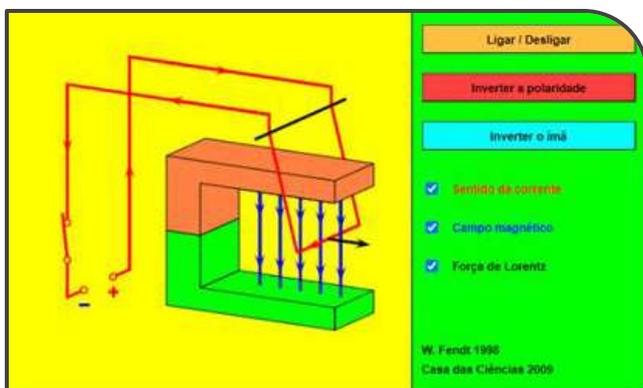
$$F_{Lorentz} = F_{el} + F_{mag} = q \cdot E + q \cdot v \cdot B$$

$$F_{Lorentz} = q(E + v \cdot B)$$

3. Sugestão didática: Simulador Water Fendt

https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/lorentzforce_pt.htm

Representação da força magnética por simulador Water Fendt

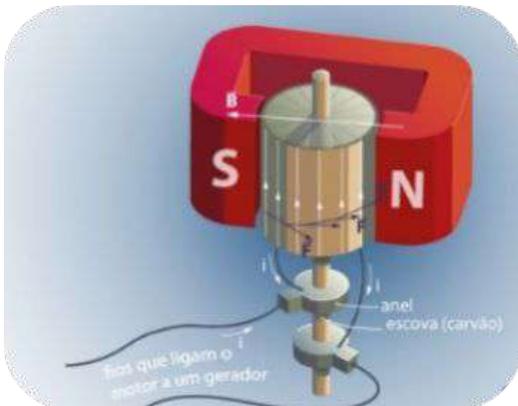


Disponível em: <https://encr.pw/IA826>

Como funciona o motor elétrico?

O motor elétrico funciona por meio dos dois princípios fundamentais do eletromagnetismo: o princípio que os campos magnéticos possuem mesma polaridade se repelem e a princípio que cargas elétricas em movimento (corrente elétrica) criam um campo magnético.

Representação de um motor elétrico (corrente elétrica) conseguem criar um campo magnético.



Disponível em: <https://acesse.one/Hv4SS>

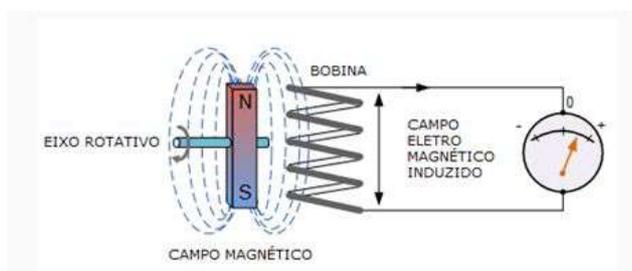
Quando ligamos o aparelho elétrico na tomada, ele passa a ser percorrido por uma corrente elétrica que energiza as escovas e bobinas do estator, gerando um campo magnético de igual polaridade àquela dos ímãs fixados no interior da sua carcaça, fazendo o motor elétrico rotacionar e, conseqüentemente, gerar energia mecânica.

4. Energia Magnética

Lei de Faraday, também conhecida como lei da indução eletromagnética, afirma que a variação no fluxo de campo magnético através de materiais condutores induz o surgimento de uma corrente elétrica..

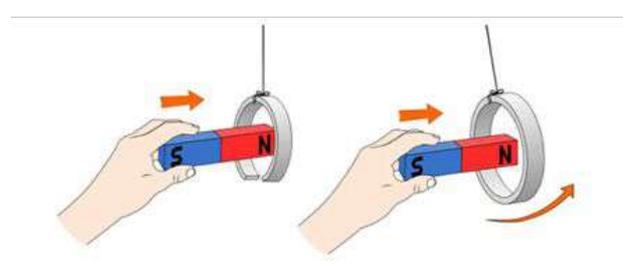
A lei de Lenz considerou que o sentido da corrente elétrica induzida nos condutores fosse tal que o campo magnético gerado por essa corrente opõe-se à variação do fluxo magnético.

Campo elétrico magnético



Disponível em: <https://acesse.dev/LSyRK>

Lei de Lenz



Disponível em: <https://l1nk.dev/saaaG>

Pega essa dica!

Construindo um trem magnético caseiro – Disponível no canal manual do mundo.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=eTjrWF8sOHw>

Experimentação: Lei de Lenz

- *Imã de neodímio (de preferência esférico)*
- *Esfera de alumínio*
- *Tubo de cobre, cujo diâmetro comporte a espessura da esfera.*

A experiência pode ser observada em:

<https://www.youtube.com/watch?v=keMpUaoA3Tg&t=12s>



❖ ***O que ocorre quando passamos o ímã por dentro do tubo de cobre? Quais as explicações possíveis? Explique sua resposta.***

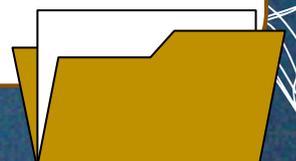


Material de apoio à/ao professora/professor:

Explicação do experimento: “Comprovando a Lei de Lenz”

O cobre interfere no campo magnético do ímã. Ao inserir o ímã de neodímio dentro de um material não magnético e condutor de eletricidade, o ímã induz uma corrente elétrica no metal.

A corrente elétrica gera um campo magnético próprio, logo, os dois campos (corrente elétrica e ímã) se opõem, resultando na diminuição da velocidade da queda do ímã.



4. Força e Energia Magnética

Exercícios

1. (MED – Itajubá) A respeito de carga elétrica, campo magnético e força magnética analise as sentenças abaixo:

- I. Uma carga elétrica submetida a um campo magnético sofre sempre a ação de uma força magnética.
- II. Uma carga elétrica submetida a um campo elétrico sofre sempre a ação de uma força elétrica.
- III. A força magnética que atua sobre uma carga elétrica em movimento dentro de um campo magnético é sempre perpendicular à velocidade da carga.

Aponte abaixo a opção correta:

- a) Somente I está correta.
- b) Somente II está correta.
- c) Somente III está correta.
- d) II e III estão corretas.
- e) Todas estão corretas.

2. (UFU) Uma carga q movendo-se com velocidade v imersa em um campo magnético B está sujeita a uma força magnética F_{mag} . Se v não é paralela a B , marque a alternativa que apresenta as características corretas da força magnética F_{mag} .

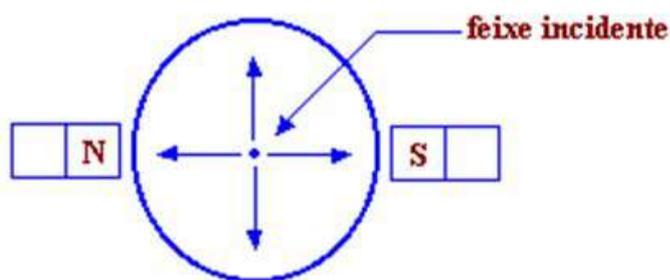
- A) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é nulo, pois F_{mag} é perpendicular ao plano formado por v e B .
- B) O trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v e B , pois F_{mag} é perpendicular a v .
- C) O valor de F_{mag} não depende de v , somente de B , portanto F_{mag} não realiza trabalho algum sobre q .
- D) O valor de F_{mag} é proporcional a v e B , sendo paralela a v , portanto o trabalho realizado por F_{mag} sobre q é proporcional a v .

5. (UNIP) Uma aplicação dos eletroímãs supercondutores é no trem de transporte levitado magneticamente, ou maglev. Esse trem usa o campo magnético gerado pelos eletroímãs para produzir forças de repulsão entre o trem e o trilho. Assim, ele flutua acima dos trilhos e pode atingir velocidades superiores a 300 km/h. HEWITT, P. Física conceitual. São Paulo: Artmed, 2002 (adaptado).

O maglev consegue atingir altas velocidades porque

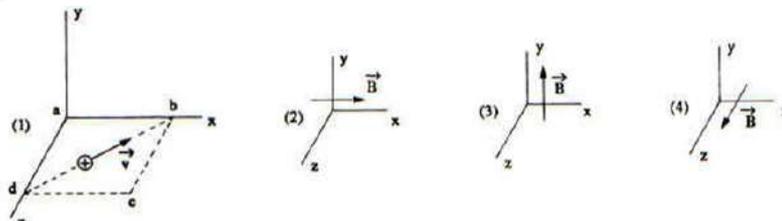
- a) O maglev consegue atingir altas velocidades porque não ocorre resistência elétrica nos trilhos.
- b) Não há atrito entre o trem e os trilhos.
- c) O trem é construído de material muito leve.
- d) O campo magnético gerado é capaz de impulsionar o trem.

6. (UFU) A figura mostra a tela de um osciloscópio onde um feixe de elétrons, que provém perpendicularmente da página para seus olhos, incide no centro da tela. Aproximando-se lateralmente da tela dois ímãs iguais com seus respectivos polos mostrados, verificar-se-á que o feixe:



- a) será desviado para cima ↑
- b) será desviado para baixo ↓
- c) será desviado para a esquerda ←
- d) será desviado para a direita →
- e) não será desviado.

7. (UNESP) Uma partícula com carga elétrica positiva desloca-se no plano $Z - X$ na direção $d - b$, que é diagonal do quadrado a, b, c, d indicado na figura (1). É possível aplicar na região do movimento da carga um campo magnético uniforme nas direções dos eixos (um de cada vez), como é mostrado nas figuras (2), (3) e (4).



Em quais casos a força sobre a partícula será no sentido negativo do eixo Y?

- a) Somente no caso 2.
- b) Nos casos 2 e 4.
- c) Somente no caso 3.
- d) Nos casos 3 e 4.
- e) Somente no caso 4.

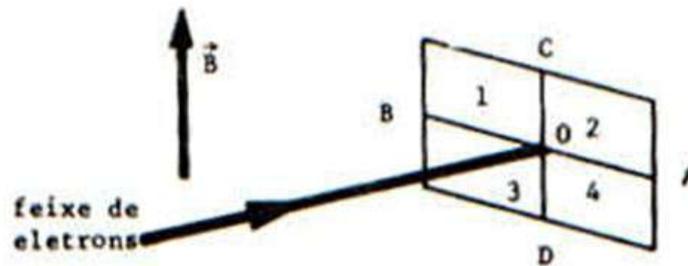
8. (UFRS) No interior de um acelerador de partículas existe um campo magnético muito mais intenso que o campo magnético terrestre, orientado de tal maneira que um elétron lançado horizontalmente do sul para o norte, através do acelerador é desviado para o oeste. O campo magnético do acelerador aponta:

- a) do norte para o sul
- b) do leste para o oeste
- c) do oeste para o leste
- d) de cima para baixo
- e) de baixo para cima



9. (PUC) Um feixe de elétrons incide horizontalmente no centro do anteparo. Estabelecendo-se um sistema de eixos cartesianos com o eixo x de direção do feixe de elétrons e o eixo y de direção do campo magnético, o ponto de impacto do feixe de elétrons passa a atingir:

- a) região 1
- b) região 2
- c) segmento OB
- d) segmento OA
- e) região 3





Material de apoio à/ao professora/professor:

Gabarito:

1. Letra D

A afirmação I está incorreta pelo fato de a carga elétrica nem sempre sofrer ação de uma força magnética. Para uma carga elétrica lançada paralelamente as linhas de campo a força magnética será nula.

A afirmação II está correta, pois cargas elétricas lançadas em campos elétricos sempre sofrem a ação de uma força elétrica.

A afirmação III está correta, pois a força magnética é sempre perpendicular à velocidade da carga. Essa comprovação pode ser realizada através da regra do tapa.

2. Letra A

Como a velocidade v não é paralela ao campo magnético B , então o ângulo formado entre eles é de 90° . Assim, calcularemos o trabalho realizado pela força magnética por meio da sua fórmula:

$$W = v \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$W = F \cdot d \cdot \cos 90^\circ$$

$$W = F \cdot d \cdot 0$$

$$W = 0 \text{ J}$$

3. Letra B

Calcularemos a carga elétrica da partícula usando a fórmula da força magnética:

$$F_{mag} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

$$0,05 = |q| \cdot 200 \cdot 6 \cdot \sin 90^\circ$$

$$0,05 = |q| \cdot 1200$$

$$q = \frac{0,05}{1200}$$

$$q \cong 4,2 \cdot 10^{-5}$$

$$q \cong 42 \cdot 10^{-6}$$

$$q \cong 42 \mu\text{C}$$

4. Calcularemos o campo magnético em um condutor retilíneo usando a fórmula da força magnética sobre o fio:

$$F_{mag} = B \cdot i \cdot l \cdot \sin \theta$$

$$8,75 = B \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot \sin 45^\circ$$

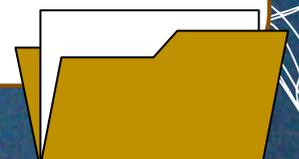
$$8,75 = B \cdot 2,5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$8,75 = B \cdot 2,5 \cdot \frac{1,4}{2}$$

$$8,75 = B \cdot 1,75$$

$$B = \frac{8,75}{1,75}$$

$$B = 5 \text{ T}$$



5. Letra B

Como não existe o contato entre o trem e o trilho, logo não há atrito.

6. Letra B

O campo magnético atua sempre do polo norte para o polo sul do ímã, portanto, nesse caso ele é horizontal para a direita. A força magnética, o campo magnético e a velocidade do feixe de elétrons devem ser perpendiculares entre si, aplicando a regra da mão direita, percebe-se que a força magnética deve ser vertical e para baixo ↓.

7. Letra B

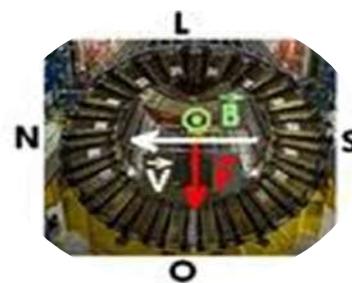
Utilizando a regra da mão esquerda, o dedo indicador deve apontar no sentido do campo magnético, o médio no sentido da carga e o polegar no sentido da força magnética

8. Letra E

Observe na figura abaixo que utilizando a regra da mão esquerda o vetor campo magnético estaria entrando na folha, mas como se trata de elétron (carga negativa), estará saindo.

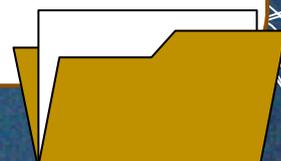
8. Letra E

Observe na figura abaixo que utilizando a regra da mão esquerda o vetor campo magnético estaria entrando na folha, mas como se trata de elétron (carga negativa), estará saindo.



9. Letra C

Utilizando a regra da mão esquerda, observamos a incidência na região 2



5. Uma máquina que nos permite enxergar: o Síncrotron



❖ *É possível “enxergar” algo muito pequeno? Será que existem máquinas capazes de fazer isso?*

Investigação: A seguir responda ao questionário disponível no QRcode abaixo:



**Capa do filme
Anjos e Demônio**

Assista aos primeiros dez minutos do filme “Anjos e Demônios” (disponível em Amazon Prime), neste é possível observar o protagonista um acadêmico de Harvard que investiga uma tentativa criminosa de destruir o Vaticano. Os criminosos usariam 0,25 gramas de anti-matéria roubadas do laboratório, LHC (Large Hadron Collider), Grande Colisor de Hádrons.



Disponível
em: <https://link.dev/gLHWK>

**Capa do filme
O homem do futuro**



Disponível em:
<https://acesse.one/GfQTZ>

Assista também aos primeiros dez minutos do filme "O Homem do Futuro" (disponível no Youtube). O laboratório do protagonista é ambientado no LNLS em Campinas-SP.

<https://l1nk.dev/glHWK>



- ❖ ***Após assistir aos trechos dos filmes, faça uma breve análise, não da história do filme, mas do local onde inicialmente se passa o filme Anjos e Demônios e o Homem do Futuro. Você sabe do que se trata esses lugares?***

**O LABORATÓRIO NACIONAL DE LUZ SÍNCROTRON –
PANORAMA HISTÓRICO**

A luz, que é uma radiação eletromagnética, é espalhada pelos objetos e detectada pelo nosso olho. Muda-se o tipo de radiação e o tipo de detector, mas o processo é essencialmente o mesmo. Para observar objetos microscópicos, por exemplo, podemos usar a luz como radiação e o microscópio ótico como detector, com um conjunto de lentes capaz de ampliar a imagem. No caso de objetos nanométricos, uma boa opção é a luz síncrotron, produzida em grandes máquinas que aceleram partículas.

Panorama Histórico:

O Brasil é o único país da América Latina a contar com equipamentos geradores de luz síncrotron, instalados na cidade de Campinas, SP. Ali se encontra o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, projetado em 1983 e inaugurado em 1997.

LNLS Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

1982

Roberto Lobo é nomeado coordenador do LNRS

1983

Reunião de 221 pesquisadores

1985

A cidade de Campinas-SP é escolhida para a construção do LNRS.

1986

Laboratório Nacional de LUZ Síncrotron

1987

Implementação do LNLS
1988 - Maquete do projeto do LNLS

1995

Em outubro, a construção do Prédio do Anel é concluída e a equipe do LNLS começa a se transferir para o local para o início da instalação do síncrotron.

Maquete Projeto UVX - LNLS



Disponível em: <https://l1nq.com/mruiV>

Primeira fase do laboratório UVX- LNLS



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/uvx/acceleradores/>

1997

Inauguração do LNLS

Criado em 1984, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron foi responsável pela construção e operação da primeira fonte de luz síncrotron do Hemisfério Sul. Chamada UVX (acelerador de partículas de segunda geração), a fonte de luz operou de 1997 a 2019, beneficiando cerca de mil pesquisadores a cada ano. Ao longo desta trajetória, o LNLS buscou atrair pesquisadores e engenheiros, cuja capacitação promovesse o desenvolvimento de campos tecnológicos importantes para o País.

Interior do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/uvx/aceleradores/>

O LNLS também desenvolveu localmente o conhecimento sobre a construção dos aceleradores e das linhas de luz, com a produção de componentes e equipamentos no Brasil, sempre que possível. Essa estratégia reduziu o custo de construção de sua primeira fonte de luz síncrotron, além de permitir o domínio do conhecimento para a manutenção e atualização da máquina e da instrumentação científica ligada a ela.

O conhecimento técnico-científico acumulado ao longo dessas três décadas, por cientistas, engenheiros, técnicos e especialistas em diversas áreas do conhecimento, tornou possível o desenvolvimento do Sirius, um equipamento científico extremamente sofisticado e mundialmente competitivo.



Material de apoio à/ao professora/professor:

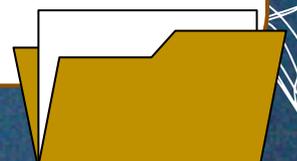
- Slides sobre o panorama histórico do LNLS, disponível publicamente em:

https://docs.google.com/presentation/d/1lodC8AxBMNbD-I568i7wK7_LTC57dbjc/edit?usp=sharing&ouid=106066975092087957455&rtpof=true&sd=true

- *Google Forms*, poderá ser acessado por meio do link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLfYFVEZ_EblQdQAmdnXtKuFXhBBWnFCtpUXmiy_Cy-3vIvg/viewform?usp=sharing.

Ao acessar o formulário, o/a professor/a poderá formatá-lo como preferir e direcionar as respostas das/dos estudantes para o seu próprio endereço de e-mail.



6. Espectros eletromagnéticos: Raio-X, como o enxergamos?

Pega essa Dica! Assista ao esquete Raio-X Porta dos Fundos
- disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=_L6Jrp3y1DQ

Para começo de conversa

A verdade por trás dos poderes do Super Homem

O olho humano é apenas um receptor de luz, por isso não há nenhum tipo de "raio" que possa ser disparado. Quando estamos em um quarto totalmente escuro (nenhuma fonte de luz) nós não enxergamos nada. Na verdade você vê o preto, que é a cor do nosso cérebro associado à falta de luz.

Nunca foi dada uma explicação "oficial" sobre o funcionamento da visão de raio X do Superman, por isso, vamos começar as suposições!

Embora seja chamada de visão de raio-X, esse poder tem pouco a ver com o efeito real dos raios-X. Geralmente, este superpoder é apresentado como a capacidade de ver seletivamente através de certos objetos como se fossem invisíveis ou translúcidos. Assim, o Superman pode ver através das paredes o número de criminosos. Nesses casos, as visões são geralmente em cores e tridimensionais.

Super- homem e o Raio-X

A visão de raios X dos super-heróis é possível?



Disponível em: <https://encr.pw/zPSEk>

Você já fez algum exame de raio-X?

Imagens de raio-x

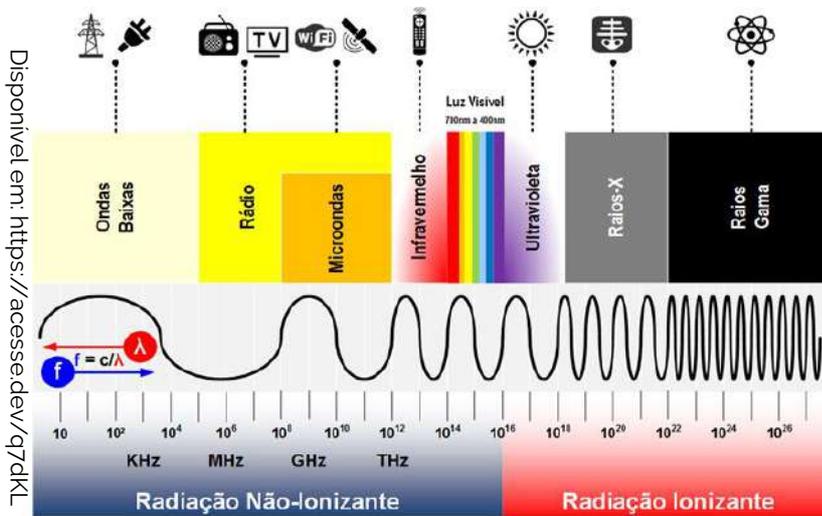


Equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f$

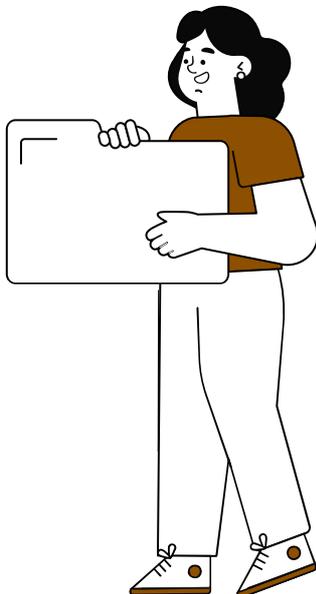
Velocidade da luz no Vácuo: $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Disponível em: <https://dapi.com.br/curiosidades-sobre-o-raio-x/>

Espectro eletromagnético



Relação entre energia e o comprimento de onda.



Disponível em: <https://1nq.com/dgDNV>

CONSTANTE DE PLANCK:
 $(6.626 \times 10^{-34} \text{ JOULE SEGUNDOS (J s)})$

VELOCIDADE DA LUZ
 $(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$

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

ENERGIA EM JOULES (J)

COMPRIMENTO DE ONDA EM METROS

Exercícios:

1. (Unicamp 2021) Um dos fatores que determinam a capacidade de armazenamento de dados nos discos laser é o comprimento de onda do laser usado para gravação e leitura (ver figura abaixo). Isto porque o diâmetro d do feixe laser no ponto de leitura no disco é diretamente proporcional ao comprimento de onda, λ . No caso do Blu-Ray, usa-se um comprimento de onda na faixa azul (daí o nome, em inglês), que é menor que o do CD e o do DVD. As lentes usadas no leitor de Blu-Ray são tais que vale a relação $d_{BR} \equiv 1,2\lambda_{BR}$.

A partir das informações da figura, conclui-se que a frequência do laser usado no leitor Blu-Ray é

- a) $3,2 \times 10^{14}$ Hz.
- b) $5,2 \times 10^{14}$ Hz.
- c) $6,2 \times 10^{14}$ Hz.
- d) $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

2. (Unilago) A luz visível, com comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm, constitui apenas uma pequena “janela” de todo o espectro eletromagnético. Em outros intervalos de comprimento de onda, a radiação eletromagnética recebe outros nomes. Com relação a esses nomes, considere as afirmativas a seguir.

- I. Corrente elétrica e radiação ultravioleta.
- II. Radiação beta (β) e radiação de fundo.
- III. Radiação gama (γ) e ondas de rádio.
- IV. Radiação infravermelha e raios X.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

Rontgen e a imagem do primeiro Raio-X

O raio X é um tipo de radiação eletromagnética com frequências superiores a da radiação ultravioleta, ou seja, maiores que 10^{18} Hz. A descoberta do raio X e a primeira radiografia da história ocorreram em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Rontgen, fato esse que lhe rendeu o prêmio Nobel de Física em 1901.



Disponível em :
<https://medimagemguarapari.com.br/raio-x/>

a) Afinal, como funciona o equipamento de raio X?

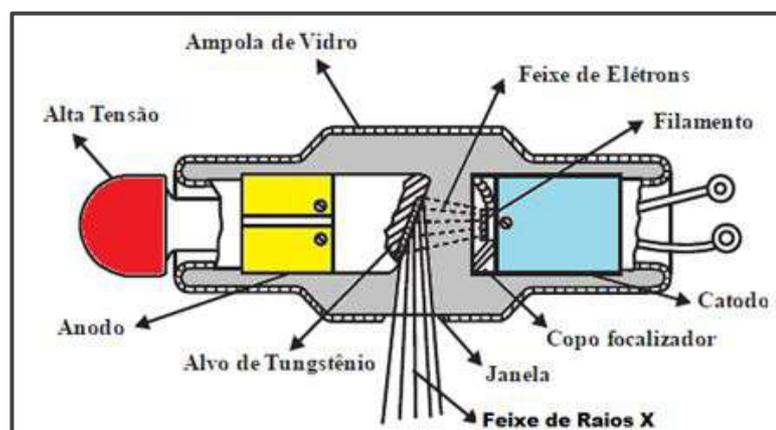
Quando o aparelho é ligado, o gerador de raios X produz um feixe de freando elétrons gerados por um filamento aquecido. Essas partículas saem pela abertura do equipamento e são irradiadas até atingirem a parte do corpo que será examinada.

Em seguida, a radiação atravessa o corpo do paciente, e uma parte dela é absorvida pelas estruturas anatômicas.

Os raios não absorvidos se chocam contra uma chapa feita de material sensível à radiação, que pode estar sob o paciente ou atrás da parte do corpo estudada, e é nesse momento que as imagens, a parte absorvida pelas estruturas corresponde à parte esbranquiçada nas radiografias, o aos ossos da mão na figura, e a parte que se chocou na chapa forma o contraste registradas.

Esquema da máquina de Raio-X

Disponível em: <https://encr.pw/00Q11>



b) E a ressonância Magnética?

A ressonância magnética é um pouco mais complicada. Um próton era como um pequeno ímã por causa da rotação nuclear e seu spin. Quando você aplica um campo magnético gigantesco, esses prótons terão seus “ pólos magnéticos ” ao campo. Os prótons são então “ excitados ” e depois relaxam. É neste ponto onde eles emitem radiação. A ressonância magnética detecta essa radiação e usa para fazer um mapa 3D de onde todo o Hidrogênio está no corpo.

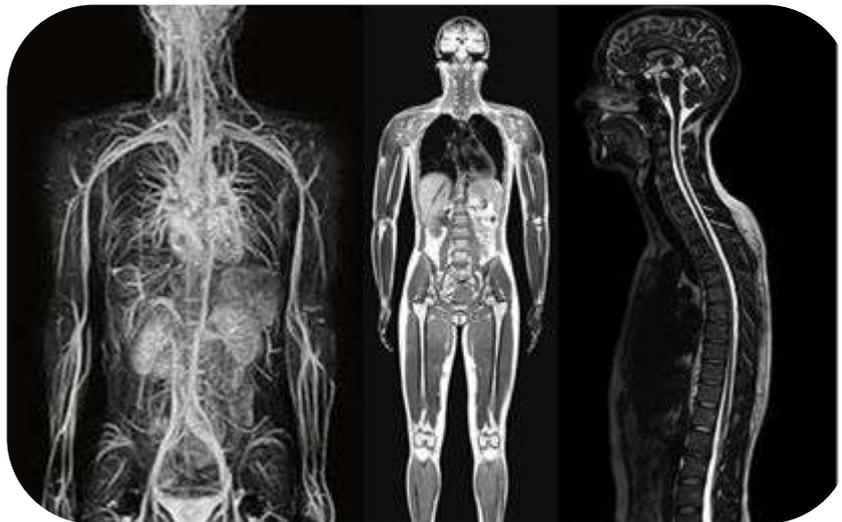
Máquina de ressonância magnética

Disponível em: <https://acesse.dev/Vo8wu>



Imagens obtidas na ressonância magnética

Disponível em: <https://encrpxw/gm8XR>



Radiação ionizante e não ionizante

A radiação ionizante é a que produz a ionização, e ionização é o processo por meio do qual um átomo ou uma molécula perde ou ganha elétrons para formar íons.

Exemplos de radiação ionizante

- Raio X.
- Radiação alfa (α),
- Radiação beta (β)
- Radiação gama (γ)

A radiação ionizante penetra de acordo com seu tipo e energia. Enquanto partículas alfa podem ser bloqueadas por uma folha de papel, partículas beta requerem alguns milímetros de, por exemplo, alumínio, para bloqueá-las, ao passo que a radiação gama de alta energia requer materiais densos para bloqueá-la, como por exemplo, chumbo ou concreto.

Radiação não ionizante

A radiação não ionizante é menos energética além de não ter poder de penetração, age principalmente sobre a superfície onde os raios incidem.

Exemplos de radiação não ionizante:

- Radiação ultravioleta
- Radiação Infravermelha
- Radiofrequência
- Lasers no espectro visível.
- Micro-ondas

Exercícios:

3.(UFSC 2016) Os Raios X são ondas eletromagnéticas que, por suas características peculiares, começaram a ser utilizados na medicina apenas alguns meses após a sua descoberta. Hoje, suas aplicações são muito mais amplas, pois se estendem de consultórios odontológicos, nos quais são utilizados aparelhos que operam com uma tensão da ordem de 50 kV, até aeroportos.

Sobre os Raios X, é CORRETO afirmar que:

- 1.foram detectados pela primeira vez em 1895, pelo cientista alemão Röntgen, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos.
- 2.receberam este nome porque formavam um X quando eram detectados.
- 4.como eles têm pouco poder de penetração, para que um operador de máquina de Raios X tenha proteção adequada é suficiente que fique atrás de uma fina barreira de madeira.
- 8.um dos efeitos biológicos possíveis da exposição aos Raios X é a morte celular.
- 16.permanecem no corpo humano, criando um efeito cumulativo, incrementado a cada nova exposição.

Soma:

4. (UFRGS) Os raios X são produzidos em tubos de vidro a vácuo, nos quais elétrons sofrem uma brusca desaceleração quando colidem contra um alvo feito de metal. Desta forma podemos dizer que os raios X constituem um feixe de:

- a) elétrons
- b) fótons
- c) prótons
- d) nêutrons
- e) pósitrons

5. Porque os raios- X não atravessa os ossos?

6.O que são radiações ionizantes e não ionizantes?



Material de apoio à/ao professora/professor:

Gabarito

1.Letra D

Segundo a equação da ondulatória temos:

2.Letra C

Observando o espectro eletromagnético concluímos que se trata de radiação Beta e Raio-x

3.Somatória: 9

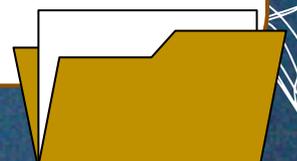
Apenas 1 e 8 estão corretas.

4.Letra B

Fótons

5. Espera-se que os estudantes se atentem que os tecidos do corpo humano têm diferentes densidades que irão determinar a imagem da radiografia. Os raios X não conseguem atravessar os ossos, então eles aparecem brancos na imagem, como sombras, pois bloqueiam a radiação.

6. Espera-se que os estudantes discutam que a radiação ionizante tem energia suficiente para remover um elétron de um átomo e, assim, produzir íons. Já a radiação não ionizante tem capacidade de elevar a temperatura e causa agitação das moléculas, mas não altera a estrutura do material.



7. O Sirius

Para começo de conversa...

Como vimos na aula 5, entre os anos de 1997 a 2019 o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) operou o acelerador de partículas UVX, que foi substituído por uma fonte de luz mais potente e precisa: o Sirius.

Foto Sirius



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/>

Localizado na cidade de Campinas- SP, o Sirius foi inaugurado em 2018 e abriga a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no Brasil e uma das mais avançadas fontes de luz síncrotron do mundo.

Como vimos na aula 5, entre os anos de 1997 a 2019 o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) operou o acelerador de partículas UVX, que foi substituído por uma fonte de luz mais potente e precisa: o Sirius.

O que é a Luz Síncrotron?

A luz ou radiação síncrotron é um tipo de radiação eletromagnética com velocidade próximas a da luz, extremamente brilhante que se estende por um amplo espectro, isto é, ela é composta por diversos tipos de luz, desde o infravermelho, passando pela luz visível e pela radiação ultravioleta e chegando aos raios X.

A faixa do espectro eletromagnético da luz síncrotron.

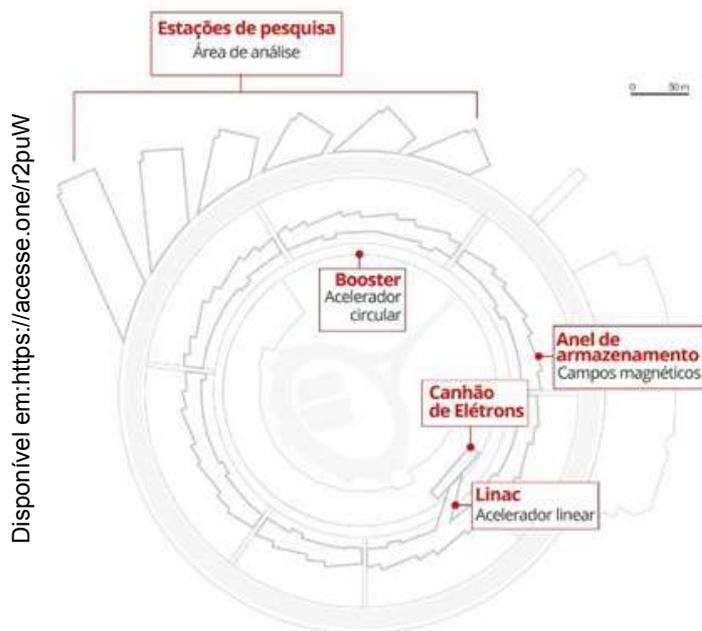


Disponível em:

<http://www.petquimica.ufc.br/projeto-sirius/>

Como funciona um acelerador de partículas?

Modelo esquemático do interior do Sirius.



Disponível em: <https://acesse.one/r2puW>

1. canhão de elétrons.
2. acelerador linear – linac
3. acelerador injetor – booster
4. acelerador principal – anel de armazenamento
5. estações de pesquisa – linhas de luz

1. Canhão de Elétrons:



Em um equipamento chamado Canhão de Elétrons, um filamento (geralmente de tungstênio) é aquecido até que comece a emitir elétrons,. Esse mecanismo é utilizado também em televisões e monitores com tecnologia de tubo e em como microscópios eletrônicos.



2. LINAC



Em um equipamento chamado Canhão de Elétrons, um filamento (geralmente de tungstênio) é aquecido até que comece a emitir elétrons,. A seguir, os elétrons são acelerados no interior do acelerador linear por campos elétricos oscilantes até velocidades próximas à da luz.

3. BOOSTER



Em seguida, as partículas são transferidas para o Acelerador Injetor, ou Booster, um anel circular menor, os elétrons vindos do Linac. A trajetória dessas partículas é controlada por um intenso campo magnético externo, responsável por focalizar o feixe de partículas, deixando-o cada vez mais estreito antes de entrar no anel de armazenamento.

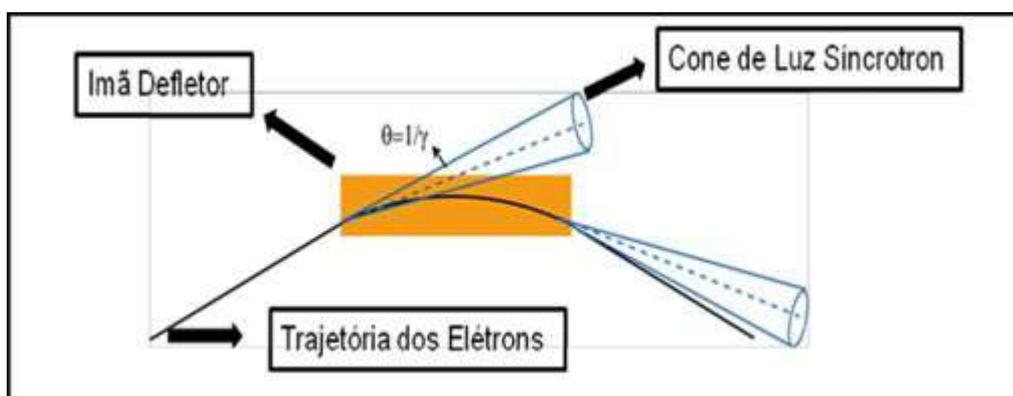
4. ANEL DE ARMAZENAMENTO

O feixe de elétrons entra no anel de armazenamento, onde percorrerá 600 mil voltas por segundo. O sentido e a direção dos elétrons são controlados por meio de campos magnéticos associados a ímãs gigantes colocados ao longo do acelerador.

Esses campos magnéticos precisam ser mais intensos à medida que a velocidade da partícula aumenta, pois, com a aceleração, os elétrons aumentam a sua energia cinética.

Ao passar pelos dipolos magnéticos o feixe de elétrons são "obrigados" a curvar sua trajetória emitindo radiação síncrotron que serão direcionadas as linhas de luz ou estações de pesquisa.

Ilustração da Emissão da Radiação Síncrotron através da deflexão magnética de um feixe de elétrons numa trajetória circular.

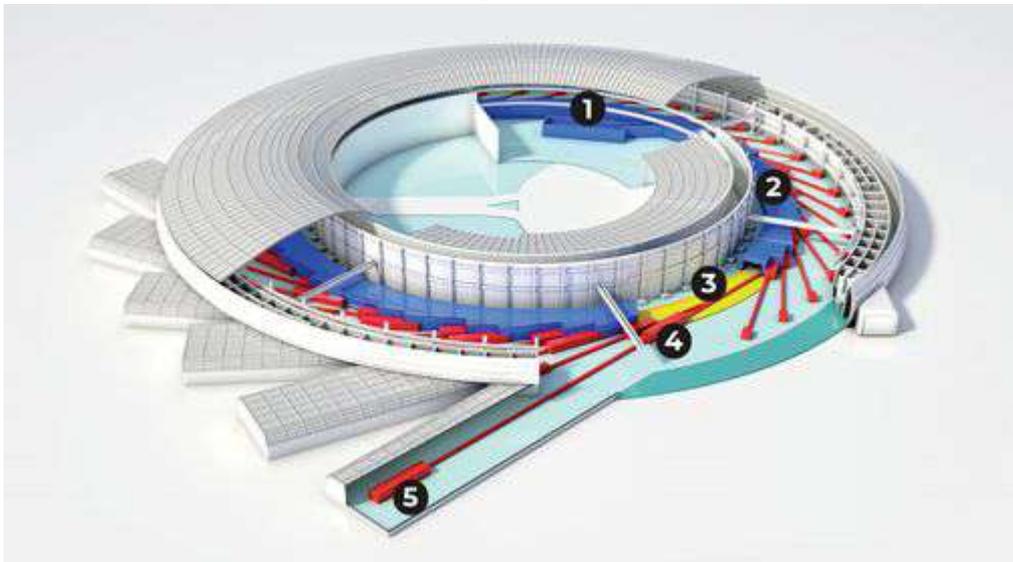


Disponível em: <https://l1nq.com/inrLv>

5. ESTAÇÃO DE PESQUISA OU LINHAS DE LUZ

A radiação sincrotron é destinada às linhas de luz, posicionadas tangentes ao anel de armazenamento. (número 5 na figura). As linhas de luz funcionam de forma independente entre si e são otimizadas para experimentos diversos, isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas.

Esquema do interior do Sirius
Ilustração: CNPEM



Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/sirius/como-funciona-o-sirius/>

6. Linhas de luz e a interação radiação matéria.

Através dessa luz especial é possível penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica para a investigação de todo tipo de material. O seu amplo espectro e diferentes faixas de energia permitem realizar diferentes tipos de análise. Já seu alto brilho permite experimentos rápidos e a investigação de detalhes dos materiais na escala de nanômetros.

As linhas de luz são como microscópios complexos, que condicionam e focalizam a luz síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais que se quer analisar.

Quanto menor for a emitância, maior será a qualidade e brilho da fonte de luz.

Uma vez que a radiação síncrotron é emitida, coletada e condicionada de forma apropriada para ser utilizada pelos pesquisadores, ela deve ter seu espectro eletromagnético "filtrado" de acordo com a técnica experimental que será adotada antes de chegar à amostra. Esta filtragem, feita por dispositivos chamados monocromadores, permite a seleção do comprimento de onda desejado, seja ele no comprimento de onda da radiação infravermelha, ultravioleta ou raios X.



Maior emitância, menor a qualidade do feixe de luz



Menor emitância, maior a qualidade do feixe de luz.

Mas porque é importante selecionar o comprimento de onda?

De forma análoga a luz que pode comportar-se tanto como partícula quanto como onda. Em 1924, de Broglie postulou que deveria existir uma dualidade entre matéria e onda.

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

λ = comprimento de onda

h = Constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

p = quantidade de movimento

p também é conhecido como momento linear e pode ser calculado pelo produto da massa m (em kg) do corpo pela velocidade V (em m/s), assim, podemos escrever a relação de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

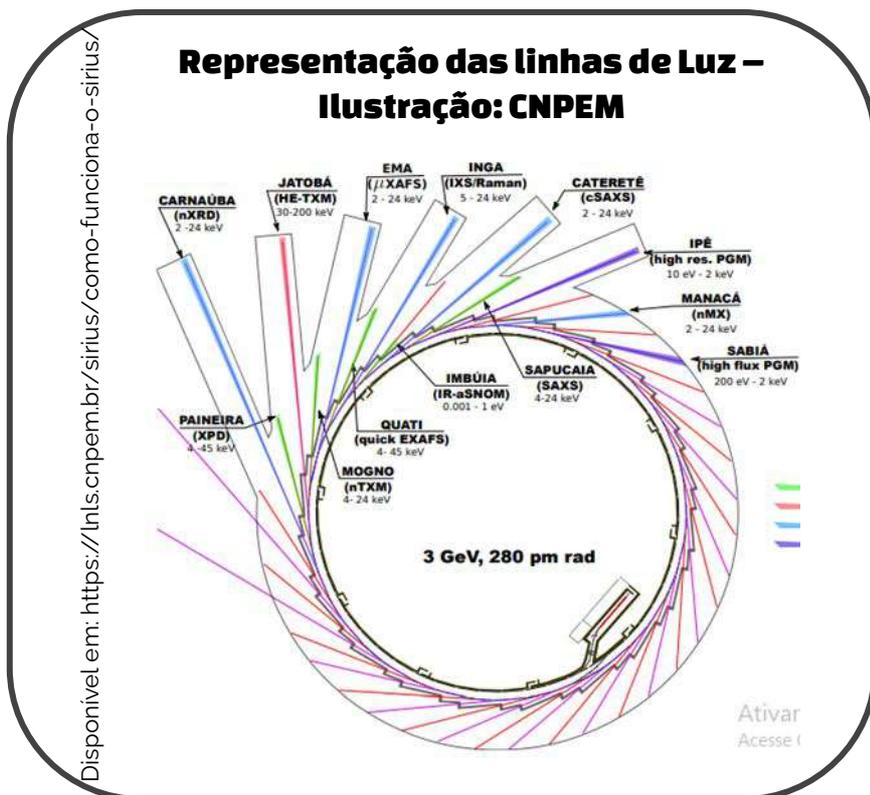
λ = comprimento de onda

h = Constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

$m \cdot v = p$

Assim, nota-se que o comprimento de onda associado a uma partícula varia inversamente com sua massa e velocidade. Essa relação explica por que o Sirius exibe diversas linhas de luz, uma vez que cada amostra apresenta estruturas de dimensões distintas. Quanto maiores essas estruturas, menores serão seus comprimentos de onda.

Atualmente o Sirius abriga conta com dezesseis linhas operantes, uma está em fase de projeto, uma em comissionamento e duas na fase de montagem. A longo prazo, o objetivo do Sirius será abrigar até 38 linhas de luz.



Os requisitos técnicos de uma linha de luz dependem das características do feixe de luz tais como resolução de energia, tamanho e divergência, que serão necessárias para iluminar as amostras nas análises que se pretende realizar.

Relação entre energia e o comprimento de onda.

CONSTANTE DE PLANCK:
 $(6.626 \times 10^{-34} \text{ JOULE SEGUNDOS (J s)})$

VELOCIDADE DA LUZ
 $(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$

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

ENERGIA EM JOULES (J)

COMPRIMENTO DE ONDA EM METROS

Disponível em:
<https://pt.wikihow.com/Calcular-Comprimento-de-Onda>

Linhas de luz atuantes no Sirius

LINHAS DE LUZ	TÉCNICA PRINCIPAL	FAIXA DE ENERGIA	SETOR	STATUS
CARNAÚBA	Nanosopia de Raios X	2,05 - 15 keV	06-ID	Aberta
CATERETÊ	Espalhamento Coerente de Raios X	3 - 24 keV	07-ID	Aberta
CEDRO	Dicroísmo Circular	3 - 9 eV	17-B2	Aberta
EMA	Espectroscopia e Difração de Raios X em Condições Extremas	2,7 - 30 keV	08-ID	Aberta
IMBUÍIA	Micro e Nanoespectroscopia de Infravermelho	70 - 400 meV	07-B2	Aberta
IPÊ	Espalhamento inelástico ressonante de raios X e Espectroscopia de Fotoelétrons	100 - 2000 eV	11-ID	Aberta
JATOBÁ	Espalhamento Total de Raios X e Análise de PDF	40 - 70 keV	14-BC	Projeto
MANACÁ	Micro e Nanocristalografia Macromolecular	5 - 20 keV	09-ID	Aberta
MOGNO	Micro e Nanotomografia de Raios X	22 39 67,5 keV	10-BC	Aberta
PAINEIRA	Difração de Raios X em Policristais	5 - 30 keV	14-ID	Aberta
QUATI	Espectroscopia de Raios X com Resolução Temporal	4,5 - 35 keV	13-BC	Montagem
SABIÁ	Espectroscopia de Fotoemissão e Absorção de Raios X Moles de Alto Fluxo	100 - 2000 eV	10-ID	Aberta
SAPÊ	Espectroscopia de Fotoemissão Resolvida em Ângulo	8 - 70 eV	13-B2	Comissionamento
SAPUCAIA	Espalhamento de Raios X a Baixos Ângulos	6 - 17 keV	17-ID	Montagem

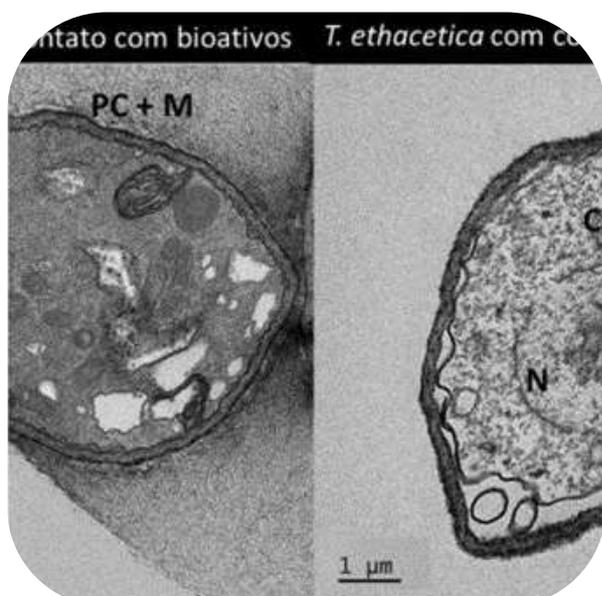
Disponível em: <https://lnls.cnpem.br/linhas-de-luz/>

7. Algumas pesquisas realizadas no Sirius

A radiação sincrotron é destinada às linhas de luz, posicionadas tangentes ao anel de armazenamento. (número 5 na figura). As linhas de luz funcionam de forma independente entre si e são otimizadas para experimentos diversos, isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas.

CIÊNCIA | 1º DE ABRIL DE 2022

BIOMOLÉCULAS PARA INIBIR FUNGO QUE ATACA CANAVIAIS



Recorte de uma das pesquisas realizadas na linha de luz Ibuía.

À esquerda, vemos o fungo controle, não tratado, com uma estrutura celular preservada, com várias organelas no seu interior (Núcleo=N, citoplasma=C, parede celular e membrana=PC + M).

À direita, vemos o interior da célula totalmente degradado, sem organelas e com o desprendimento da membrana da parede celular, culminando na morte do fungo.

A alta sensibilidade com uso de infravermelho realizadas na linha de luz Imbuia, do Sirius, confirmaram que a interação com as biomoléculas selecionadas foi capaz de produzir danos ao DNA do fitopatógeno.

CIÊNCIA | 26 DE OUTUBRO DE 2022

PESQUISADORES DO CNPEM INVESTIGAM A ORIGEM DA SUPERCONDUTIVIDADE



Interior da linha de luz
EMA

Primeiro artigo científico publicado com dados obtidos na linha de luz EMA estudou a relação entre as propriedades supercondutoras de escuderuditas e a distância entre seus átomos.

Pega essa dica!

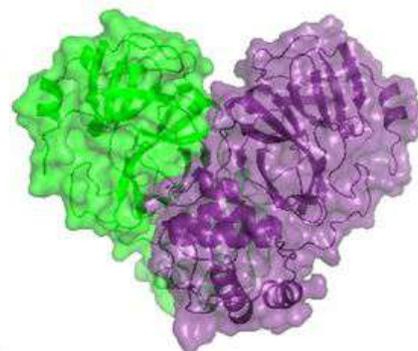
Acesse: <https://lnls.cnpem.br/ciencia/> e fique por dentro de todas as pesquisas já realizadas no Sirius.

Em 2021, o Sirius ganhou destaque na mídia em estudo sobre a replicação da proteína da Covid-19

Sirius estuda proteína que atua na replicação do Sars-CoV-2 no organismo

Cientistas brasileiros apresentam primeiros resultados de uma série de experimentos sobre o novo coronavírus realizados no acelerador de elétrons em Campinas (SP)

🕒 1 min de leitura



REDAÇÃO GALILEU

13 JUL 2020 - 11H56 | ATUALIZADO EM 13 JUL 2020 - 11H56

Estrutura da proteína 3CL Foto: CNPEM)

Os cientistas brasileiros utilizaram a difração de raios X na linha de Luz Manacá para analisar a proteína do vírus da covid-19. A enzima 3CL do coronavírus é uma protease responsável por quebrar uma cadeia de proteínas virais (poliproteína) em suas subunidades funcionais, e permitir a replicação viral e a montagem de novas partículas virais que infectarão outras células. De acordo com os dados publicados na revista FAPESP em agosto de 2021, que compreender a estrutura 3CL é importante , porque pode auxiliar no desenvolvimento de fármacos que barrem sua ação.

Acesse o QR code abaixo e faça uma visita virtual ao Sirius

<https://pages.cnpem.br/cnpem360/>



Após a visita virtual faça um relatório destacando os principais pontos abordados como: estrutura do Sirius, linhas de luz e pesquisas desenvolvidas no Sirius.



Material de apoio à/ao professora/professor:

- Após as aulas e a visita virtual ao Sirius, sugerimos a entrega do folder que divulga a escola de Ilum.

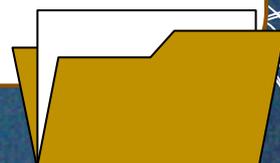
A Ilum é uma escola de ensino superior interdisciplinar em Ciência e Tecnologia com um modelo de ensino inovador, em que o aluno é protagonista da sua formação. É uma iniciativa do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), Organização Social que integra os laboratórios nacionais de referência para pesquisas em saúde, energia renovável, ciências agroambientais, materiais renováveis e tecnologias quânticas, e que abriga o Sirius, um dos mais modernos aceleradores de elétrons do mundo.

Ensino superior de excelência, em período integral, gratuito e com imersão no ambiente de pesquisa do CNPEM desde o primeiro semestre do curso. É assim que a Ilum pretende formar os futuros cientistas do nosso País. Fonte: <https://ilum.cnpem.br/>

Segue em anexo o folder de divulgação e o link com a revista “Por Dentro da Ilum”*

https://ilum.cnpem.br/wp-content/uploads/2022/10/REVISTA-ILUM_.pdf

*Todos os direitos de uso do folder e revista Ilum foram autorizados pela Ilum Comunica, responsável pela divulgação e imprensa da Escola Ilum.



O CNPEM



_imersão gradativa no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, ambiente de pesquisa único no país.

_berço do mais avançado projeto da ciência brasileira: o Sirius

_referência em pesquisa nas áreas de Biotecnologia, Nanotecnologia e Biorrenováveis

Acesse o QR Code e inscreva-se:

[f](#) [@](#) [t](#) [v](#) [in](#)

Rua Lauro Vannucci, 1.020
Pq. Santa Cândida | Campinas/SP | 13087-548
(19) 3756-9100 | WhatsApp: (19) 99674-0142
secretaria.ilum@ilum.cnpem.br
ilum.cnpem.br

ilum

**_Bacharelado em
Ciência e Tecnologia**



_estude problemas e não disciplinas

Conheça os benefícios do primeiro curso de ensino superior gratuito, integral e inovador:

+ MORADIA

+ ALIMENTAÇÃO

+ COMPUTADOR PESSOAL

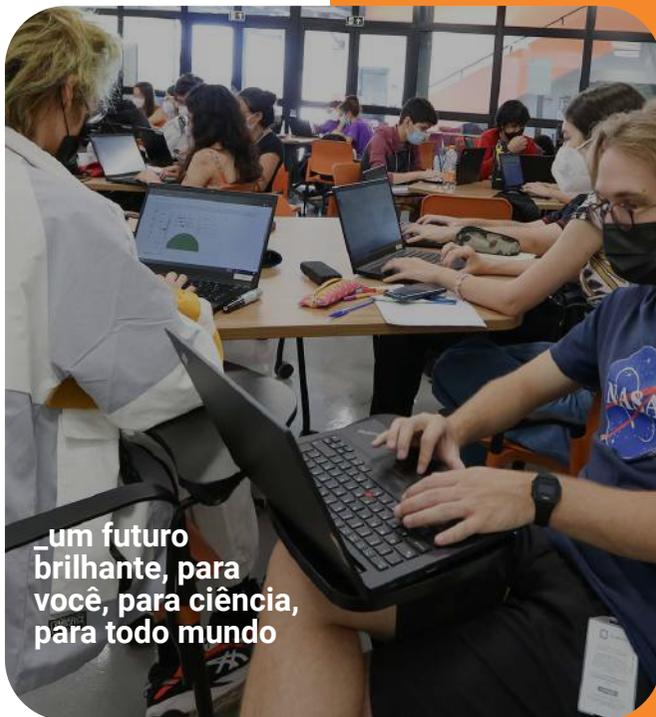
+ TRANSPORTE

+ AULAS DE INGLÊS

_3 anos de duração

_50% das vagas para estudantes do ensino público

_acesso às instalações do CNPEM



_um futuro brilhante, para você, para ciência, para todo mundo

_um convite aos curiosos e sonhadores

O CURSO

_ciências da vida:
biologia celular, biologia molecular, bioquímica, proteína, genética

_ciências da matéria:
mecânica clássica, termodinâmica, eletromagnetismo, mecânica quântica, sistemas orgânicos e inorgânicos, mecânica estatística, nanotecnologia

_linguagens matemáticas:
álgebra linear, probabilidade estatística, cálculo multivariado e biomatemática

_humanidades:
ciência moderna, ética, cultura digital, cultura e sociedade

_Ciência de dados:
aprendizado de máquina, mineração e análise de dados, lógica computacional e processamento de imagem

_traga toda sua vontade de fazer a diferença

PROCESSO DE INGRESSO

Dados pessoais
Manifestação de Interesse

Nota do ENEM

Entrevista com candidatos pré-selecionados

40 alunos convocados

 ilum escola de ciência

Confira o calendário completo: ilum.cnpem.br

8. Questionário final

Nome: _____

1. Durante nossas aulas, pudemos explorar mais a respeito do acelerador de partículas existente no Brasil.

a. Qual(is) ideia(s) você tinha a respeito de um acelerador de partículas antes das aulas sobre esse assunto?

b. O que você pensa/aprendeu sobre o acelerador de partículas após as aulas?

2. Inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, o Sirius, trabalhos na área de fármacos, exploração da indústria petroleira, análise da estrutura da matéria são alguns exemplos.

Explique a importância de desenvolver um acelerador de partículas feito por brasileiros e para brasileiros.

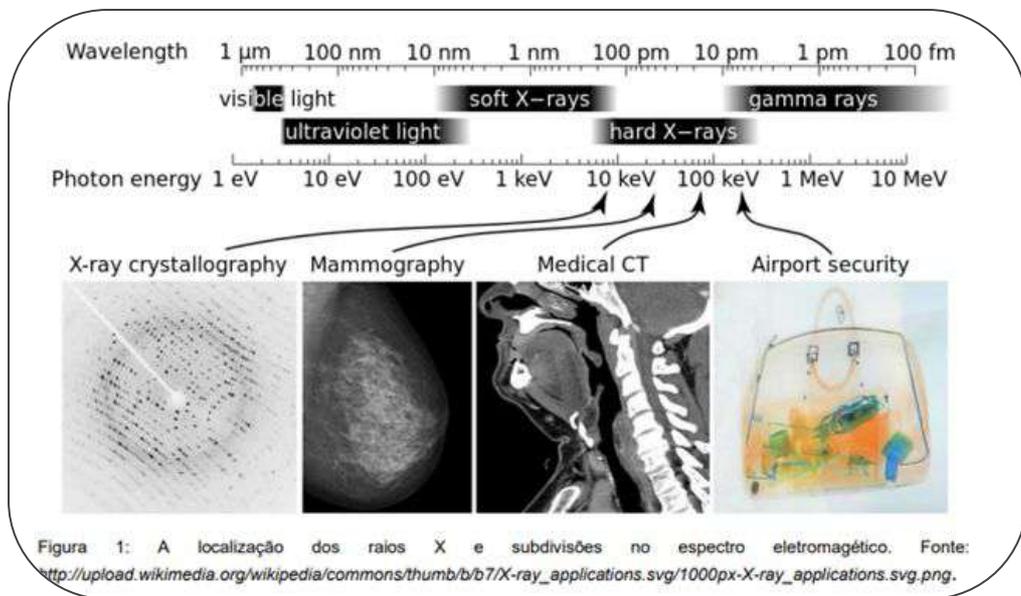
3. Das pesquisas citadas na questão anterior ou outras abordadas nas aulas, que são desenvolvidas no acelerador de partículas brasileiro, explique qual você identifica como determinante para o desenvolvimento tecnológico num futuro de médio prazo e justifique sua resposta.

4. No acelerador de partículas é produzida o que chamamos de radiação síncrotron. Toda radiação é prejudicial à nossa saúde? Explique e cite exemplos.

5. A tecnologia dos raios X permite que médicos vejam através dos tecidos humanos e examinem, com grande facilidade, ossos quebrados, cavidades, além de tornar possível o diagnóstico de várias doenças.

O raio-X trata-se de radiação ionizante ou não ionizante? O Raio-X oferece riscos à nossa saúde? Justifique sua resposta.

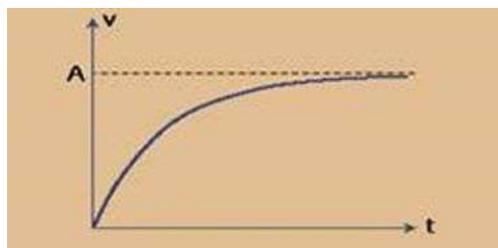
6. Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética localizada entre a radiação ultravioleta (comprimentos de onda maiores) e os raios gama (comprimentos de onda menores) no espectro eletromagnético. Tipicamente, suas energias estão na faixa entre 100 eV e 100 keV, apesar de algumas aplicações industriais e medicinais utilizarem raios X com energias da ordem e 1 MeV. Raios X com energias de até 5 keV são chamados de raios-X moles, e com energias acima disso, de raios-X duros.



Analisando a imagem e o que foi estudado, explique do que depende principalmente a forma com que os raios -X interagem com a matéria.

7. Aceleradores de partículas são o principal instrumento usado pelos cientistas para pesquisas em física de altas energias. No maior acelerador linear do mundo, localizado em Stanford, elétrons podem ser acelerados até uma energia da ordem de 50GeV (1 GeV =10⁹ eV).

Com essa energia, o comprimento de onda de De Broglie associado ao elétron vale 25 .10⁻¹⁸ m. O gráfico representado a seguir mostra como a velocidade v do elétron varia com o tempo t nesse acelerador:



Qual é o significado físico da ordenada A mostrada no gráfico, qual constante física ela representa?

8. Uma partícula eletricamente carregada penetra, com uma dada velocidade, em uma região de campo magnético uniforme. Leia as afirmações a seguir.

- I. A trajetória da partícula será circular se sua velocidade for perpendicular à direção do campo magnético.
- II. A trajetória da partícula será sempre circular.
- III. A força magnética que age sobre a partícula não altera sua velocidade vetorial.
- IV. A força magnética que age sobre a partícula não modifica sua energia cinética.

Assinale

- A) se III e IV são incorretas.
- B) se I e III são corretas.
- C) se I e II são incorretas
- D) se I e IV são corretas.

9. O tubo de televisão possui um canhão eletrônico que faz a varredura da tela fotoluminescente numa sucessão de linhas da esquerda para a direita e de cima para baixo.



Tubo de vidro de uma televisão de tubo

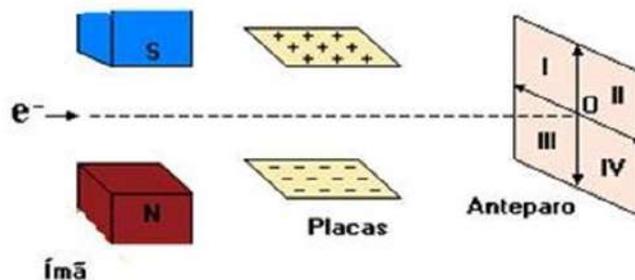
Tal varredura é feita com rapidez suficiente para que nossos olhos não percebam o desaparecimento de uma linha e o surgimento de outra e, além disso, nos dê a sensação de movimento da imagem. Sobre a força responsável por esse movimento de varredura da tela de TV, é correto afirmar:

- a) É uma força eletrostática que atua na direção do feixe eletrônico.
- b) É uma força magnética que atua na direção perpendicular ao feixe eletrônico.
- c) É uma força eletrofraca que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- d) É uma força elétrica que atua nos neutrinos do feixe eletrônico.
- e) É uma força eletromagnética que atua nos nêutrons do feixe eletrônico.

10. Uma partícula de massa m , eletrizada com carga q , descreve uma trajetória circular com velocidade escalar constante v , sob a ação exclusiva de um campo magnético uniforme de intensidade B , cuja direção é sempre perpendicular ao plano do movimento da partícula. Nesse caso, a intensidade da força magnética que age sobre a partícula depende de:

- a) m e B , apenas.
- b) q e B , apenas.
- c) q , v e B , apenas.
- d) m , v e B , apenas.
- e) m , q , v e B .

11. Um feixe de elétrons passa inicialmente entre os polos de um ímã e, a seguir, entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de sinais contrários, dispostos conforme a figura a seguir. Na ausência do ímã e das placas, o feixe de elétrons atinge o ponto O do anteparo.



Em virtude das opções dos campos magnético e elétrico, pode-se concluir que o feixe

- a) passará a atingir a região I do anteparo.
- b) passará a atingir a região II do anteparo.
- c) passará a atingir a região III do anteparo.
- d) passará a atingir a região IV do anteparo.
- e) continuará a atingir o ponto O do anteparo.



Material de apoio à/ao professora/professor:

- Essas questões podem ser inseridas no Google Forms de forma a facilitar a correção.

Gabarito:

7. Velocidade da luz

8. Letra D:

Velocidade perpendicular ao campo fará a carga descrever sempre uma trajetória circular, uma vez que haverá o aparecimento da força magnética centrípeta, apontado sempre para o centro, variando a velocidade vetorial (direção e sentido) mas não o módulo da velocidade, fazendo com que a energia cinética não se altere.

9. Letra B

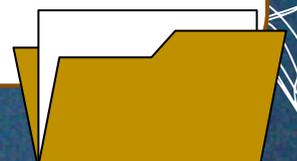
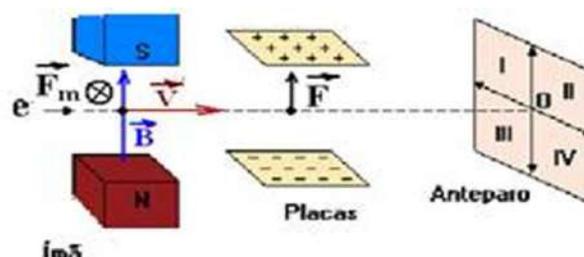
10. Letra C

A força magnética sobre uma partícula eletricamente carregada, em movimento no interior de um campo magnético é dada pela seguinte equação:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

11. Letra A

Entre os pólos do imã a força magnética estaria saindo da folha, mas como a carga é negativa está penetrando e desviando a carga para trás da folha — quando a carga negativa passa entre as placas ela é desviada para cima (atraída pela placa positiva e repelida pela negativa).



À/ao professora/professor,

A relação entre educação, jovens e tecnologia é uma interação dinâmica que molda significativamente o panorama educacional contemporâneo. A rápida evolução tecnológica tem transformado a forma como os jovens aprendem, interagem e se engajam no processo educativo. Essa convergência entre educação e tecnologia apresenta desafios, mas também oportunidades para criar ambientes de aprendizagem mais eficazes e relevantes.

O papel do professor/a é fundamental e está em constante evolução, refletindo as mudanças na sociedade, educação e nas necessidades das/dos estudantes. Aqui desenvolvemos uma sequência didática que aborda aspectos da Física Moderna atrelados às pesquisas desenvolvidas no laboratório Sirius, além da sequência didática, buscamos promover e divulgar o laboratório para as/os estudantes do ensino médio.

O Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM), em conjunto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF) se unem para realizar a Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM). Este evento é destinado a professores/as de Física, Química e Biologia que atuam tanto na rede pública quanto privada. O curso é composto por aulas teóricas e práticas ministradas pelos especialistas do CNPEM, inclui também palestras de convidados renomados nas áreas de educação e ciências

Saiba mais em: <https://pages.cnpem.br/espem/> .



9. BIBLIOGRAFIA

ABDALA, M. C.B. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006. BROWN, D.

ALMEIDA, Raquel de Silva. **Os Principais Aceleradores de Partículas: Um relato histórico da busca por altas energias**. TCC de Física - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019. Disponível em: Acesso em: 18 maio 2023.

Anjos e Demônios. Tradução de Maria Luiza Newlands da Silveira. Rio de Janeiro: Sextante, 2004.

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. **Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 37, n. 4, 4206, 2015.

BARROS, A. L. L. **Uma abordagem sobre o espectro eletromagnético por meio de estudos de caso**. 226f. Dissertação. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Sociedade Brasileira de Física Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense). Campos dos Goytacazes/RJ. 2018. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacao_alice.pdf. Acesso em: 27/04/2023.

BONJORNIO, J; BONJORNIO, R; BONJORNIO, V; RAMOS, C. **Física Fundamental**. Volume 3. São Paulo: FTD 2015.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília: MEC, 2000.

Caruso, F. e Oguri V., **Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **Partículas Elementares: 100 anos de descobertas**. São Paulo: Editora e Livraria da Física, 2012
Ciência e Natureza: Forças Físicas. Pedro Paulo Poppovic
Consultores Editoriais. Rio de Janeiro – Abril Coleções. 1996.

CNPEM - A. **Por dentro do CNPEM: O novo acelerador de elétrons brasileiro**. Revista Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas 2018. Disponível em: Acesso em: 29 maio 2023.

CNPEM - B. **Projeto Sirius: A nova fonte de luz Síncrotron brasileira**. Livro Projeto Sirius - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Campinas, 2014. Disponível em: Acesso em: 22 maio 2023.

Eisberg, R.M., **Fundamentos da Física Moderna**, Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1979 5.

GOMES, E. C. **Ondas eletromagnéticas: possibilidades da aplicação no ensino médio a partir das relações cts**. (Centro de Ciências Exatas Programa de PósGraduação Em Educação para a Ciência e a Matemática) Universidade Estadual De Maringá. Maringá, 2017. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br>. Acesso em: 27/04/2023.

Guerra e A.V. Moraes, **História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio**.
<https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100018>

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3;

KERST, D. W. **Acceleration of electrons by magnetic induction**. Physical Review Journals Archive, [s. l.], v. 58, n. 9, nov. 1940. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.58.841>. Disponível em: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.58.841>. Acesso em: 13 abr. 2023.

O. GUIMARÃES, J. PIQUEIRA e W. CARRON, **Física 3** (Ática, São Paulo, 2016), 2ª ed.



PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos, 3: ensino médio.** São Paulo, SP: Do Brasil, 2016. 288 p., il. color., 35 cm. (Física em contextos). ISBN 9788510062657.

RAPPOPORT, T. G. **Spintrônica: uma palestra introdutória.** In: ESCOLA BRASILEIRA DE MAGNETISMO, 7., Natal, 2009. Disponível em:
<http://www.if.ufrj.br/~joras/disciplinas/07.1/topicos/tatiana.pdf>.
Acesso em: 07 abr. 2023.

RODRIGUES, A. **Levitação magnética.** 2009. Disponível em:
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOw4AB/levitacao-magnetica>. Acesso em: 27 abr. 2023.

SANTOS, Alberto Carlos dos. **Luz Síncrotron, o que é isso?:** Ciência hoje. Artigo - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: . Acesso em: 07 maio 2023.



Sobre as autoras:



Laís Estevão Moraes nasceu em Sorocaba-SP. Atualmente é professora de Física em um colégio particular na cidade de Uberlândia. Formou-se em Física na Universidade Federal de São Carlos e atualmente (2024) faz parte do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Uberlândia.



Débora Coimbra nasceu em Araraquara-SP. É professora associada da Universidade Federal de Uberlândia desde 2007. Formada em Física pela Universidade de São Carlos, possui mestrado na mesma instituição.

Doutorado realizado na UFSCAR em 2002: estudo de propriedades eletrônicas de um sistema de filmes de He sobre substratos sólidos – uma proposta de protótipos de computadores quânticos. E pós-doutorado na UFABC em 2018 sobre elaboração de Desenho de Sequência Didática para o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio.