

Gilvan Chaves Filho
Luiz Antônio Bastos Bernardes



**"PEPPER'S GHOST": Como Ensinar/Aprender
Conceitos de Física Através de uma Simples
Ilusão de Óptica
Caderno do Professor**

SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física

SÉRIE:
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

Volume 29 Tomo I

GILVAN CHAVES FILHO
LUIZ ANTÔNIO BASTOS BERNARDES

**“PEPPER’S GHOST”: Como
Ensinar/Aprender Conceitos
de Física Através de uma
Simples Ilusão de Óptica.
Caderno do Professor.**

Silvio Luiz Rutz da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Antônio Sérgio Magalhães de Castro
Jeremias Borges da Silva

(ORGANIZADORES)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Prof. Dr. Miguel Sanches Neto
REITOR

Prof. Dr. Everson Augusto Krum
VICE-REITOR

Profa. Dra. Edina Schimanski
PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS

Prof. Dr. Giovani Marino Favero
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA MNPEF - POLO 35 – UEPG MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Colegiado

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (Coordenador)
Prof. Dr. André Maurício Brinatti (*Vice-Coordenador*)
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (*Titular*)
Prof. Dr. Antônio Sérgio Magalhães de Castro (*Titular*)
Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva (*Titular*)
Prof. Dr. Lucas Stori de Lara (*Suplente*)
Prof. Dr. Marcelo Emilio (*Suplente*)

SÉRIE:

PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

CONSELHO EDITORIAL

SÉRIE:

PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

Profa. Dra. Agueda Maria Turatti (FURG)
Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)
Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)
Prof. Dr. Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos (UNICENTRO)
Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)
Prof. Dr. Gérson Kniphoff da Cruz (UEPG)
Prof. Dr. Gustavo Vinicius Bassi Lukasiewicz (UTFPR)
Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)
Profa. Dra. Jaqueline Aparecida Ribaski Borges (FATEB)
Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)
Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)
Prof. Dr. Lucas Stori de Lara (UEPG)
Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)
Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)
Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)
Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin (UPF)
Prof. Dr. Mário Jose Van Thienen Silva (UTFPR)
Prof. Dr. Michel Corci Batista (UTFPR)
Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)
Prof. Dr. Rafael Ribaski Borges (UTFPR)
Prof. Dr. Ricardo Costa de Santana (UFG)
Prof. Dr. Romeu Miqueias Szmoski (UTFPR)
Profa. Dra. Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto Silveira (UTFPR)
Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta (UNESPAR)
Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)

Ficha catalográfica



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A Série: **Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física

a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a Série: **Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdo para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz da Silva

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Antônio Sérgio Magalhães de Castro

Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

Organizadores

SUMÁRIO

	APRESENTAÇÃO	8
	COMO USAR ESTE CADERNO	9
I	CAPÍTULO I: "O QUE É UM HOLOGRAMA?"	10
	COMO SE EXPLICA A FORMAÇÃO DE UM HOLOGRAMA	12
	BREVE HISTÓRIA DO FANTASMA DE PEPPER (PEPPER'S GHOST)	16
II	CAPÍTULO II: O FANTASMA DE PEPPER	22
	O FUNCIONAMENTO DO FANTASMA DE PEPPER	23
	A MONTAGEM SIMPLIFICADA DO FANTASMA DE PEPPER	24
	"MONGA, A MULHER MACACO"	25
	A UTILIZAÇÃO DE MONGA, A MULHER MACACO NO FILME "LISBELA E O PRISIONEIRO"	26
	A MONTAGEM ENGENHOSA DO FANTASMA DE PEPPER	28
III	CAPÍTULO III: "A ÓPTICA DO FANTASMA DE PEPPER"	35
	INTRODUÇÃO TEÓRICA	36
	FORMAÇÃO DE IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS	39
IV	CAPÍTULO IV: A ELETRODINÂMICA DO FANTASMA DE PEPPER	44
	INTRODUÇÃO TEÓRICA	45
	CIRCUITO SIMPLES COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL	52
V	CAPÍTULO V: "OS HOLOGRAMAS DO SÉCULO XXI"	56
	REFERÊNCIAS	58

APRESENTAÇÃO

Este material é um produto educacional, parte integrante da dissertação realizada junto ao Programa de Pós-Graduação Ensino de Física e ao mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 35, da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Este caderno didático a ser aplicado através de uma sequência didática planejada para abordar, através de atividades e experimentos relacionados com uma ilusão de ótica chamada "Pepper's Ghost" (Fantasma de Pepper), precursora da atual holografia, conteúdos como leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial e resistividade.

Este caderno está dividido em cinco capítulos: no primeiro, definimos o que é um holograma, levando em consideração relações históricas; no segundo, realizamos a montagem de um Fantasma de Pepper simplificado e relataremos eventos do século XX e XXI que ainda se apropriam dele; no terceiro, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da óptica envolvida no Fantasma de Pepper; no quarto, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da eletrodinâmica envolvida no Fantasma de Pepper; no quinto, são abordadas outras técnicas de holografia mais atuais, além disso, é proposta a criação de mapas mentais, com o intuito de verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos no final do processo.

COMO USAR ESTE CADERNO...

Este caderno foi elaborado com o intuito de auxiliar professores do Ensino Médio no ensino-aprendizagem dos conceitos de Física presentes em uma técnica de ilusão de óptica conhecida como "Pepper's Ghost",

A abordagem deste caderno segue a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem como finalidade auxiliá-lo a elaborar algumas de suas aulas, sugerindo algumas atividades e experimentos sobre os conteúdos de leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial, resistência e resistividade.

I

CAPÍTULO I: "O QUE É UM HOLOGRAMA?"

ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema HOLOGRAMA.

- ✓ Elaborar um mapa conceitual, abaixo, partindo do tema HOLOGRAMA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

COMO SE EXPLICA A FORMAÇÃO DE UM HOLOGRAMA

Segundo o dicionário Michaelisⁱ a definição de holograma é:

Fotografia que apresenta uma imagem tridimensional e inclui informação sobre a intensidade e o período de radiação refletida, transmitida pelo objeto fotografado, e que se obtém com o uso de radiação coerente¹ de um laser².

O processo utilizado para gerar um holograma é conhecido como holografia. Esse termo foi cunhado em 1948 pelo físico húngaro Dennis Gaborⁱⁱ. Em seus trabalhos, utilizando luz branca normal, ele conseguiu desenvolver uma forma de fotografia que colhia uma grande quantidade de informações, como textura e relevo de um material. Como a luz branca tinha muitos padrões de interferência, sem coerência, a imagem gerada por Dennis Gabor não era de boa qualidade. A descoberta da holografia fez com que Dennis Gabor ganhasse o prêmio Nobel da Física em 1971. Para melhorar a qualidade da imagem da holografia, um aparato foi montado, por Emmett Leith & Juris Upatnieksⁱⁱⁱ, para gerar padrões de interferência com radiação coerente. Esse aparato era constituído por: um laser, um separador de feixes, duas lentes divergentes, um espelho, uma placa fotográfica e o objeto, como indicado na figura 1 abaixo.

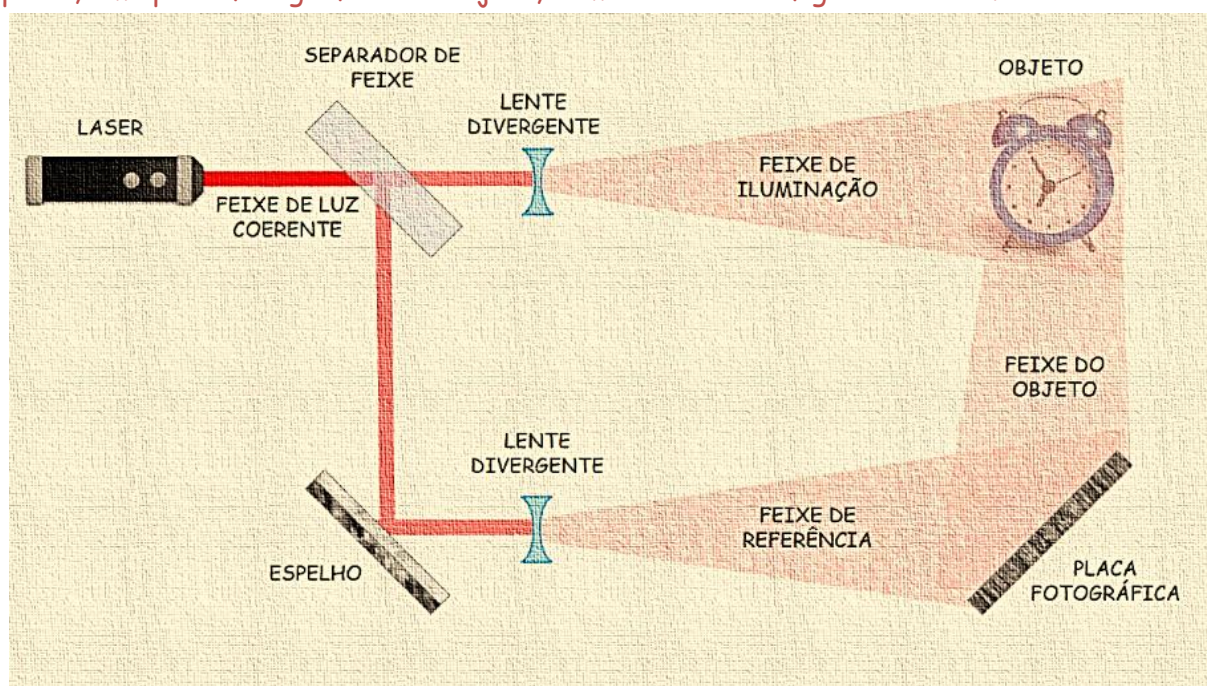





Figura 1: Aparato para gerar os padrões de interferência que podem ser utilizados para formar um holograma.

<p>(1) RADIAÇÃO COERENTE</p> <p>LUZ COERENTE É AQUELA FORMADA POR ONDAS DE MESMA FREQUÊNCIA E DIREÇÃO QUE MANTÉM UMA RELAÇÃO DE FASE CONSTANTE ENTRE SI.</p>	<p><i>Não coerente</i></p>  <p><i>Coerente</i></p> 	<p>(2) LASER</p> <p>QUALQUER APARELHO QUE PRODUZA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA MONOCROMÁTICA E COERENTE NAS REGIÕES VISÍVEL, INFRAVERMELHO OU ULTRAVIOLETA, POSSUINDO INÚMERAS APLICAÇÕES.</p>	<p><i>Exemplo de laser</i></p> 
--	---	--	--

Os padrões de interferência obtidos na figura 1 são utilizados para gerar um feixe reconstruído. Esse feixe, ao ser refletido por uma placa fotográfica, devido aos seus padrões de interferência, gera uma imagem virtual tridimensional, como ilustrado na figura 2:

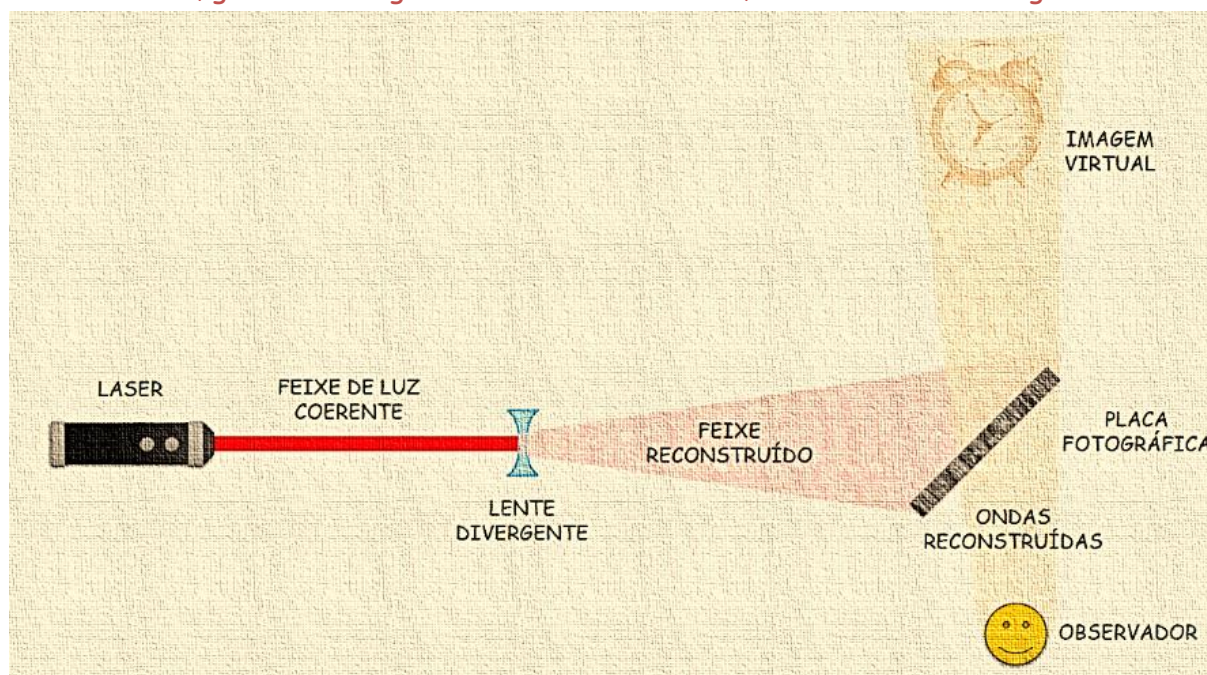


Figura 2: Imagem virtual gerada pela reflexão de um feixe reconstruído.

Quando um observador vê a placa fotográfica onde foi refletido o feixe reconstruído, ele observa uma frente de onda reconstruída. Nessa frente de onda cada ponto é resultante de uma interferência de dois comprimentos de onda diferentes. Desse modo, os dois olhos do observador enxergam comprimentos de onda diferentes para o mesmo ponto. Ou seja, é como se o observador conseguisse enxergar o mesmo ponto a partir de duas posições diferentes, como ocorre no fenômeno da "paralaxe"³. Essa paralaxe dá ao observador a ilusão de que o objeto observado é tridimensional. Esse fenômeno não ocorre na fotografia comum pois, para se obter esta fotografia, não é utilizado um feixe reconstruído a partir de padrões de interferência.



SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar quais subsunções podem ser desenvolvidos e entendidos com o auxílio de um vídeo que mostra a formação de um holograma.

PARTE A:

- ✓ Assistir o vídeo: "How 3D holograms work".
- ✓ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=Oics3RVSn9w>
- ✓ Listar eventos presentes no vídeo que mais chamam a atenção.
- ✓ Determinar, em cada evento, quais conceitos de Física estão presentes.
- ✓ Elaborar um mapa conceitual, partindo do tema HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

PARTE B:

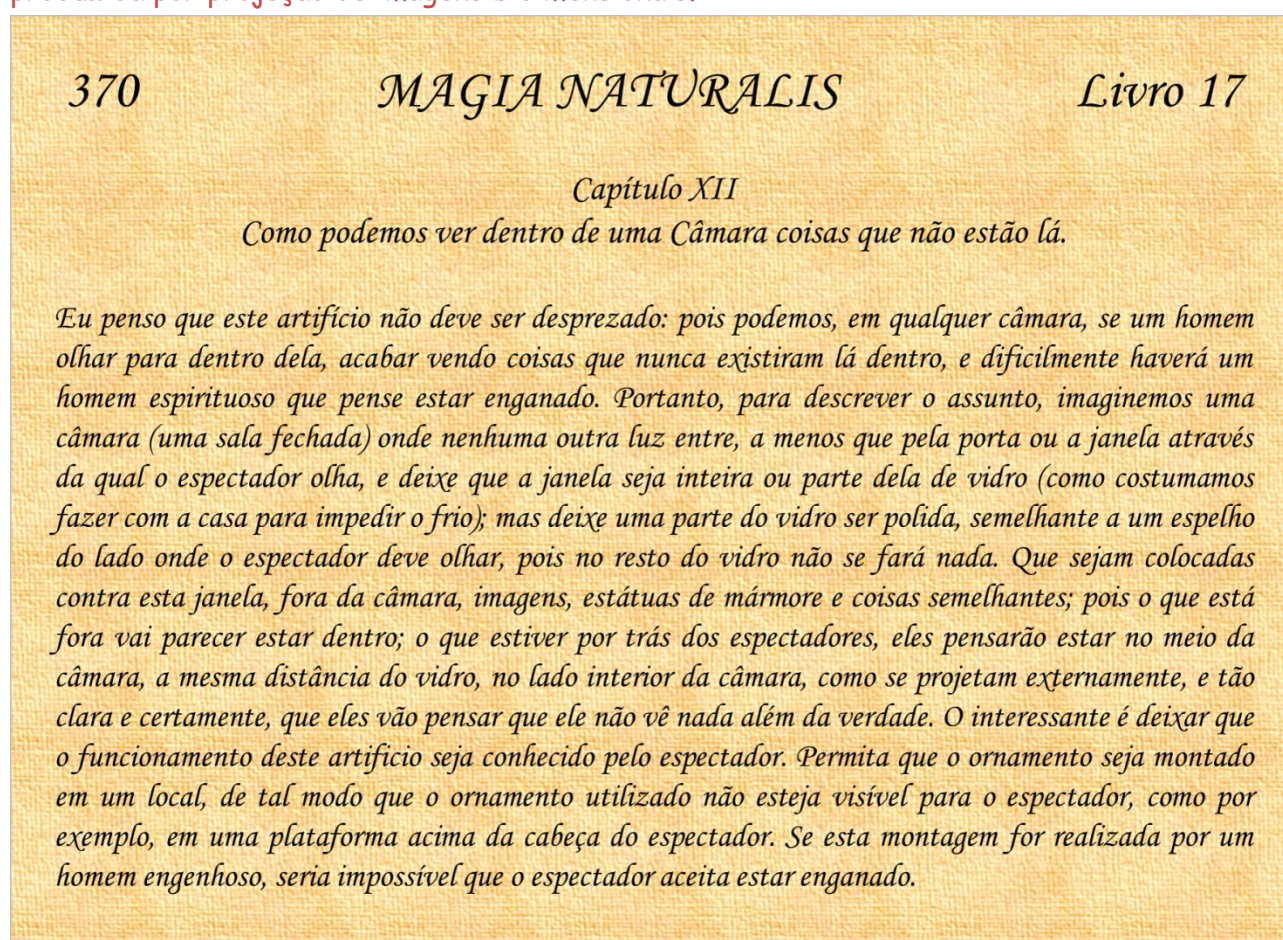
- ✓ Coloque um lápis sobre a mesa e olhe para ele. Primeiramente, olhe apenas com o olho direito (fechando ou tapando com a mão o olho esquerdo). Em seguida, olhe para o lápis apenas com o olho esquerdo. Faça isso várias vezes, ora olhando para o lápis com o olho direito, ora com o olho esquerdo. É importante que, quando você olhar o lápis de maneira alternada, a posição da sua cabeça ou do lápis na mesa não seja modificada. O que você percebe quando observa o lápis com o olho direito? E com o olho esquerdo? Essas observações foram iguais ou diferentes? Se houver diferença entre as observações, qual é esta diferença?
- ✓ Agora, pegue o lápis e fique segurando-o com o braço esticado, na frente do seu rosto. Observe inicialmente o lápis com o olho direito, fechando o esquerdo. Em seguida, com o braço ainda esticado, observe o lápis com o olho esquerdo, fechando o direito. Faça essas observações várias vezes, de maneira alternada. Em seguida, traga o lápis para uma posição mais próxima de seu rosto e observe-o novamente de maneira alternada, ora só com o olho direito, ora só com o olho esquerdo. Aproxime mais uma vez o lápis de seu rosto e repita a observação alternada. Em cada mudança de posição do lápis, a observação dele com o olho direito é diferente da observação dele com o olho esquerdo?

QUESTÕES:

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Qual o principal fenômeno que você percebeu nas observações acima realizadas com o lápis?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Esse fenômeno é o fator principal necessário para o ser humano conseguir visualizar formas de forma tridimensional, como no holograma?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Uma pessoa que enxergue só com um olho conseguiria ver um holograma? Justifique sua resposta.

BREVE HISTÓRIA DO FANTASMA DE PEPPER (PEPPER'S GHOST)

O termo HOLOGRAMA também pode ser utilizado para descrever ilusões de óptica que aparentam ter características tridimensionais, mesmo sendo obtidas através da projeção de imagens bidimensionais. Essa projeção de imagens bidimensionais pode ocorrer com as ilusões de óptica que produzem no observador a sensação de que um objeto está na sua frente; quando, na verdade, é apenas uma projeção de um objeto que aparenta estar na frente do observador. As primeiras observações desse tipo de ilusão de óptica datam do século XVI e foram registradas pelo filósofo natural italiano Giambattista Della Porta ^{iv}em seu livro *Magia Naturalis*. A figura 3 mostra a página 370 do livro citado, na qual se explica a ilusão de óptica produzida por projeção de imagens bidimensionais.



Figura^v 3: Tradução livre e adaptação para o português da página 370 do livro *Magia Naturalis*, realizadas pelo autor deste caderno.

O mesmo artefato, descrito por Della Porta no texto acima, serviu de inspiração para os ingleses John Henry Pepper e Henry Dircks elaborarem alguns aparatos que realizassem ilusões de óptica, chamando muita atenção de toda a Europa, durante o século XIX. O aparato nomeado como *Pepper's Ghost* (Fantasma de Pepper) foi o mais popular de todos os utilizados pelos dois ingleses para gerar ilusões de óptica.

A seguir, apresentamos nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente, biografias de Giambattista Della Porta, Henry Dircks, inventor do aparato citado, e de John Henry Pepper, que o adaptou para gerar ilusões de óptica através da projeção de imagens bidimensionais. A primeira biografia é uma tradução e adaptação, realizadas pelo autor do presente caderno, do texto da Enciclopédia Britânica. As outras duas biografias são traduções e adaptações, também realizadas pelo autor do presente caderno, de textos presentes no Dicionário Nacional de Biografias Britânico.

Giovanni Battista Della Porta

*Também chamado de Giambattista Della Porta, nasceu em 1535 e faleceu em 04/02/1615. Foi um filósofo natural italiano cuja pesquisa experimental em óptica e outros campos foi prejudicada por sua preocupação crédula com a magia e o milagroso. Della Porta fundou a Accademia dei Segreti, que posteriormente foi suprimida pela Inquisição, e em 1610 ele tomou parte na reconstituição da Accademia dei Lincei. Ele viajou largamente pela Itália, França e Espanha. Seu maior trabalho é *Magia Naturalis* (4 livros, 1558; “*Natural Magic*”; 2nd ed., em 20 livros, 1589), em que tratava as belezas e maravilhas do mundo natural como fenômenos subjacentes a uma ordem racional que pode ser adivinhada e manipulada pelo filósofo natural através da especulação teórica e do experimento prático. Esse trabalho discute temas como demonologia, magnetismo e a câmera obscura (protótipo da moderna câmera fotográfica), que fez de Della Porta um dos pioneiros no uso da lente. Seus outros trabalhos incluem:*

- * De furtivis literarum notis: Vulgo de ziferis (1563);*
- * Arte del ricordare (1566);*
- * Villae (1583–92), uma enciclopédia agrícola;*
- * De humana physiognomonia (1586);*
- * De refractione, optices parte (1593);*
- * Pneumaticorum (1601), que foi ampliado na tradução italiana (De’ spiritali, 1606), contém uma descrição de um motor a vapor que antecipa o de Thomas Savery de 1698;*
- * Caelestis physiognomoniae (1601), uma refutação da astrologia judicial;*
- * De distillatione (1609), contendo várias descobertas químicas.*

Figura^{vi} 4: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Giambattista Della Porta.

HENRY DIRCKS

Engenheiro civil e autor, nasceu em Liverpool (26/08/1806) e faleceu em Brighton (17/09/1873).



No início da vida se tornou aprendiz de uma empresa mercantil na cidade em que nasceu, mas dedicou seu tempo livre ao estudo da mecânica prática, da ciência química e da literatura geral, e antes de completar vinte e um cursos de palestras sobre química e eletricidade, escreveu artigos literários na imprensa local e artigos científicos na Revista 'Mecânica' e outras revistas.

Em 1837, tornou-se membro vitalício da Associação Britânica e depois contribuiu com artigos de seus trabalhos.

Ele escreveu um panfleto relativo a uma proposta de união de instituições mecânicas e literárias, de 1839, e um pequeno tratado intitulado "Educação Popular, uma série de Documentos sobre a Natureza, Objetos e Vantagens das Instituições Mecânicas", publicado em Liverpool em 1840, sendo reimpresso em Manchester

em 1841. Ao abandonar as atividades mercantis, tornou-se, a princípio, um engenheiro prático, conduzindo obras em ferroviárias, canais e minas, posteriormente atuou como engenheiro consultor.

Ele tirou patentes de várias invenções entre 1840 e 1857, e foi o inventor de um curioso delírio óptico, originalmente concebido como uma ilustração do "Haunted Man" de Charles Dickens, que foi exibido no Polytechnic sob o nome de "Pepper's Ghost".

Ele apresentou sua invenção na Associação Britânica em 1858. Ele se juntou à Royal Society of Literature e à Royal Society of Edinburgh, e a outros órgãos científicos, e em 1868 obteve o título de LL.D. da chamada faculdade de Tusculum no Tennessee, EUA. Seguiu sua vida publicando diversos trabalhos na área de metalurgia.

Figura^{vii} 5: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Henry Dircks.

JOHN HENRY PEPPER

Expositor do "Pepper's Ghost", nasceu em 17/06/1821 (Westminster, Londres, Inglaterra) e morreu em 29/03/1900 (Leytonstone, Londres, Inglaterra).



Em 1840, foi nomeado professor assistente de química na Granger School of Medicine, em 1847 deu sua primeira palestra na Royal Polytechnic em Regent Street (fundada em 1838), e em 1848 foi nomeado químico analítico e palestrante para essa instituição. Cerca de quatro anos depois, ele se tornou diretor "honorário" do Royal Polytechnic com um salário fixo, cargo que ocupou por vinte anos. Ele lecionou frequentemente no Royal Polytechnic e foi convidado para

várias escolas, nas quais ele encantava o público jovem com experiências populares, ilusões e exibições de lanternas mágicas. Ele também emitiu uma série de manuais despretensiosos de ciência popular, que tiveram uma ampla circulação.

Durante o inverno de 1862, quando o Royal Polytechnic sofria severamente com a reação que se seguiu aos negócios pesados devido à exposição daquele ano, Pepper conseguiu reviver a popularidade da instituição e garantir seu futuro por meio de uma ilusão de ótica, descrita pelo 'Times' como o mais maravilhoso já colocado diante do público.

Em setembro de 1858, Henry Dircks comunicou à Associação Britânica os detalhes de um aparelho para produzir "ilusões ópticas espectrais". A ideia foi rejeitada por vários artistas, mas Dircks tinha confiança nesse aparelho.

Pepper percebeu isso e acolheu a invenção, e, depois de algumas modificações não muito importantes, exibiu o "fantasma" pela primeira vez em 24 de dezembro de 1862, apresentando-o como uma ilustração do "Homem Assombrado" de Dickens.

Em 5 de fevereiro de 1863, o aparelho foi patenteado nos nomes conjuntos de Pepper e

Dircks, ambos renunciando a qualquer reivindicação monetária, em benefício da Royal Polytechnic.

Depois, Dircks queixou-se de que ele havia sido iludido nesse arranjo, e que seu nome como único inventor foi indevidamente obscurecido nos anúncios da exposição.

Conhecida popularmente como "O fantasma da Pepper", a ilusão teve uma enorme repercussão, foi visitada pelo Príncipe e a Princesa de Gales (19 de maio de 1863), enviada a Windsor e transferida para as diretorias de muitos teatros de Londres, para o Châtelet em Paris, para o Wallack's Theatre, em Nova York, e para o Crystal Palace Museum, famoso museu de Londres.

Em março de 1872, Pepper temporariamente transferiu sua exposição para o Egyptian Hall. Pouco depois, ele foi para a Austrália e foi nomeado analista público em Brisbane.

Em 1890 ele retornou à Inglaterra e reintroduziu seu "fantasma" no Royal Polytechnic, mas o espectro não conseguiu atrair um público sofisticado, e seu proprietário se retirou para a vida privada e escreveu "A verdadeira história do fantasma de Pepper" (1890).

Figura^{viii} 6: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de John Henry Pepper.

O funcionamento e montagem de um Fantasma de Pepper serão abordados no capítulo 2 deste caderno.

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Projeção de uma imagem virtual bidimensional - Exemplificando o funcionamento da câmara escura de Giambattista Della Porta

Observe a figura 7 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{ix} 7

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 5 está fazendo?
Esse homem está fora ou dentro do carro?

Observe a figura 8 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^x 8

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Qual é a semelhança entre a garota e o macaco?

Observe a figura 9 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xi} 9

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quem está dentro do imóvel: os objetos ou o fotógrafo?

Observe a figura 10 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xii} 10

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas cadeiras você vê na figura 8?

Elas estão dentro ou fora do consultório?

Observe a figura 11 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xiii} 11

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas velas aparecem na figura?

O dedo que está sobre uma das velas está sendo queimado?

A figura 12 que já foi analisada é uma parte da figura 10 abaixo.



Figura 12

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 10 está fazendo?

Esse homem está fora ou dentro do carro?

❖ QUESTIONAMENTO 04: Como podemos explicar, de forma sucinta, o efeito que verificamos em todas as figuras acima?

II

CAPÍTULO II: O FANTASMA DE PEPPER

O FUNCIONAMENTO DO FANTASMA DE PEPPER

Como já relatado do capítulo I, o Fantasma de Pepper foi um aparato que fez muito sucesso em apresentações do século XIX. Esse aparato foi utilizado para entreter o público em universidades, escolas técnicas, museus e teatros da Europa. Uma representação do Fantasma de Pepper, da maneira como ele era apresentado em teatros do século XIX, está mostrada na figura 13 abaixo.



Figura^{xiv} 13: Ilustração de uma peça de teatro que utiliza a técnica do Fantasma de Pepper para surpreender a plateia.

A explicação de seu funcionamento pode ser encontrada em um artigo de 2006, "A HISTÓRIA E A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER", escrito por MEDEIROS. Neste trabalho são relatados os projetos de Henry Dircks de um aparato que realizava ilusões de óptica e as modificações propostas por John Henry Pepper para melhorar sua aplicabilidade em outras situações. A situação vivenciada através do aparato é relativamente simples e antiga, observada em eventos cotidianos, como, por exemplo, entrar em um quarto com a luz acesa e olhar para fora da janela do quarto durante a noite. No momento que fazemos essa observação, podemos perceber que objetos iluminados pela luz dentro do quarto podem aparentar estar "flutuando" para fora da janela.

As adaptações feitas por Pepper envolviam utilizar uma grande placa de vidro colocada em um teatro com uma inclinação de 45°, como indicado na figura 13 acima. Com a alteração das iluminações dos ambientes embaixo e em cima do palco, era possível criar ilusões semelhantes a fantasmas na frente do público.

A MONTAGEM SIMPLIFICADA DO FANTASMA DE PEPPER

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Montagem simplificada de um Fantasma de Pepper para mostrar como pode ser produzida essa ilusão de óptica.

Para a montagem simplificada utilizaremos os seguintes materiais:

- Um celular com tela que permita assistir vídeos;
- Uma placa de acrílico (20 cm X 15 cm);
- Uma tira de papelão (30 cm X 5 cm);
- Uma tesoura;
- Um ambiente com baixa iluminação.

Realizando a montagem:

- Cortar da tira de papelão as partes especificadas na figura 14.

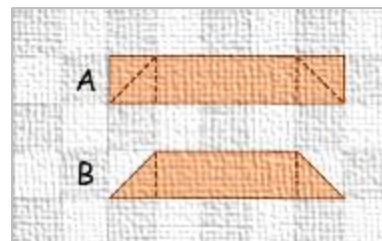


Figura 14: (A) Tira de papelão inteira, mas dobrada diagonalmente nas laterais; (B) Tira de papelão sem as partes superiores das diagonais.

- Aproveitar a marcação das dobras já realizadas e dobrar as pontas da tira de papelão, tornando-as ortogonais à parte central. O arranjo em pé tem a forma apresentada na figura 15.

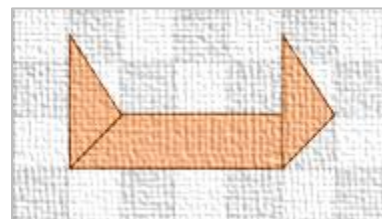


Figura 15: Tira de papelão após ser dobrada.

- Fixar o pedaço de papelão, cortado como no item b, na placa de acrílico com fita adesiva. A fixação deve ser feita do lado em que o papelão foi cortado de maneira diagonal nas suas partes laterais. O novo arranjo, quando visto de frente e de lado, tem o formato apresentado na figura 16.

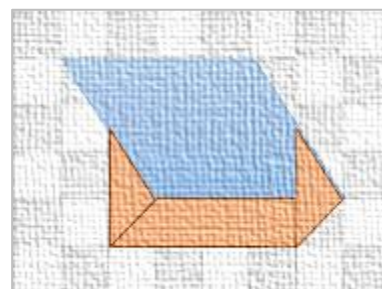


Figura 16: Placa de acrílico anexada à tira de papelão dobrada.

- Colocar o celular com um vídeo rodando sobre o papelão e voltado para a placa de acrílico, como mostrado na figura 17, abaixo.

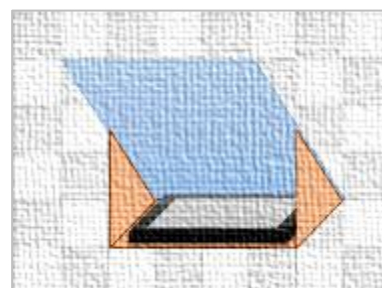


Figura 17: Celular colocado sobre a tira de papelão, mas embaixo da placa de acrílico.

- Agora escureça o ambiente e assista ao seu próprio Fantasma de Pepper.

"MONGA, A MULHER MACACO"

O nome "Fantasma de Pepper" não é muito famoso nas Américas, mas o nome "Monga" ou "Conga" fez e faz crianças deste continente sentirem um frio na espinha. A Monga realmente existiu no século XIX, mas se tornou um show circense apenas no século XX. Na reportagem a seguir, figura 18, da revista Superinteressante^{xv}, temos a história de vida da mulher que inspirou a criação deste espetáculo assustador.



MONGA, A VERDADEIRA MULHER-MACACO

COM O CORPO COBERTO DE PÊLOS, A MEXICANA JULIA PASTRANA ESTRELOU FREAKSHOWS, VIROU MÚMIA E INSPIROU UMA DAS ATRAÇÕES MAIS POPULARES DOS PARQUES DE DIVERSÃO.

Nos anos 80, um fenômeno aterrorizou crianças de todo o Brasil. O pânico chegava na bagagem de um parque de diversões, o boca-a-boca amplificava a lenda e filas se formavam para testemunhar o horror: uma mulher bonita – geralmente de biquíni – ficava presa dentro de uma jaula enquanto um narrador explicava a tenebrosa transformação pela qual ela passaria. Pêlos cresciam, garras apareciam e dentes viravam presas. No clímax da metamorfose, o monstro destruía grades e atacava o público, que fugia apavorado.

"Monga, a Mulher-Macaco" é atração tradicional até mesmo nos parques mais chifrins que correm o país. Tudo ilusão, claro. Mas o jogo de espelhos que garante a transformação de uma garota em um macaco gigante (alguém dentro de uma fantasia quase sempre bem gasta) nasceu de uma história real: a da mexicana Julia Pastrana. Nascida em 1834, Julia desenvolveu uma forma severa de hipertricose, doença raríssima que atinge uma em cada 300 milhões de pessoas, deixando o corpo coberto de pêlos pretos.

Também não ajudou muito o fato de Julia ter orelhas grandes, gengivas inchadas e mandíbulas estranhas – na época, chegaram a cogitar que ela teria duas fileiras de dentes, mas recentes exames de raios X na arcada dentária de seu corpo mumificado (calma, a gente chega lá) comprovaram que sua dentição era normal. Coloque essa aparência bizarra sob os cuidados de um homem explorador e você terá, na pior acepção da expressão, um show de horror. Descoberta pelo comerciante Theodor Lent (que depois se casaria com ela), Julia passou a ser exibida em freak shows, as caravanas de mulheres barbadas, pessoas deformadas e coisas estranhas que viajavam pela Europa e pelos EUA entre a 2ª metade do século 19 e a 1ª do 20. Tinha 20 anos quando estreloou seu primeiro espetáculo, A Incrível Híbrida ou Mulher-Urso. No show, além de de dar o ar de sua graça, Julia dançava e cantava – tinha uma voz bonita, dizem. A grossa pelagem escondia uma moça educada e inteligente – Julia falava espanhol e inglês, adorava cozinhar e costurar. Morreu aos 26 anos, de complicações no parto, depois de dar à luz um filho que sofria de hipertricose (e que morreu 3 dias depois de nascer). Nem isso preocupou Lent: o empresário mandou mumificar os dois cadáveres e continuou a

exibi-los até sua morte, em 1880. As múmias reapareceram em 1921 nas mãos de Haakon Lund, um showman norueguês que viajou com os cadáveres por duas décadas. Hoje, Julia e o filho descansam no Instituto Forense de Oslo, longe do público apavorado dos parques de diversão.

MOMENTOS:

- Julia Pastrana foi citada até por Charles Darwin. O naturalista usou o exemplo da moça para investigar o excesso de pêlos e dentes em mamíferos.
- Depois da morte de Julia, seu marido encontrou outra mulher com as mesmas características e se casou com ela! Antes de ser internado em um hospício, ele começou a dizer que as duas eram a mesma pessoa.
- Quando os nazistas invadiram a Noruega, o "dono" da múmia de Julia convenceu os alemães a mostrar o cadáver no território ocupado. Os lucros da turnê foram revertidos ao 3º Reich.

Figura 18: Reportagem da revista Superinteressante sobre Monga, a Mulher Macaco.

Na figura 19 abaixo, mostramos uma foto de Julia Pastrana. O funcionamento do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco, será trabalhado durante a "montagem engenhosa de um Fantasma de Pepper".



Figura^{xvi} 19: À esquerda temos uma foto de Julia Pastrana e à direita temos a múmia feita com o seu corpo ao lado da múmia feita com o corpo de seu filho recém-nascido.

A UTILIZAÇÃO DE MONGA, A MULHER MACACO NO FILME "LISBELA E O PRISIONEIRO"

ATIVIDADE 02: Análise do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco por meio de um vídeo referente a uma parte do filme "Lisbela e o Prisioneiro", com o cartaz mostrado na figura 20. Através dessa análise feita pelos alunos, espera-se verificar suas capacidades para formular teorias e solucionar o fenômeno apresentado.



Figura^{xvii} 20: Cartaz do filme "Lisbela e o Prisioneiro".

- ✓ Assistir apenas os primeiros 50 segundos do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Explique, com suas palavras, como a mulher do vídeo se tornou um macaco?
- ✓ Anote e compare sua resposta com as respostas dadas pelos seus colegas.
- ✓ Assistir ao restante do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: A sua resposta foi semelhante ou diferente da explicação dada pelo personagem do filme? Você conseguiu compreender como a atração do filme funciona apenas com a explicação dada pelo personagem?

A MONTAGEM ENGENHOSA DO FANTASMA DE PEPPER

SUGESTÃO ATIVIDADE 03: Montagem do Fantasma de Pepper para mostrar Monga, A Mulher Macaco. Essa montagem será utilizada nos capítulos III e IV para desenvolver os subsunçores necessários à compreensão da Monga, de acordo com as leis da reflexão da luz, as regras de formação de imagens em espelhos planos e a relação entre resistência e resistividade.

Esta montagem mais engenhosa é a mesma do Fantasma de Pepper conhecido como Monga, a Mulher Macaco, comentada anteriormente. Para a realizarmos precisaremos de alguns materiais:

- Um pedaço de papelão (60 cm X 20 cm);
- Papel preto, equivalente a três folhas A4;
- Régua;
- Fita adesiva;
- Tesoura;
- Cola;
- Um pedaço de vidro (6 cm X 3,5 cm);
- Duas tampas de refrigerante;
- Um prego com espessura de 5 mm;
- Dois LEDs Brancos de 5 mm;
- Duas pilhas AA;
- Um pedaço de papel-alumínio;
- Fio elétrico - 30 centímetros;
- Um potenciômetro;
- Um transistor (não obrigatório);
- Uma foto de uma mulher;
- Uma foto de um macaco.

Realizando a montagem da nossa "Mini-Monga", passo a passo.

PARTE A:

- ✓ Cortar tiras de papelão, como na figura 21, com as seguintes medidas: uma tira de 12,5 cm X 12,5 cm; quatro tiras de 12,5 cm X 1 cm; uma tira de 12 cm X 12 cm; quatro tiras de 12 cm X 4,5 cm; uma tira de 8 cm X 8 cm; duas tiras de 8 cm X 4 cm; duas tiras de 7,8 cm X 4 cm.

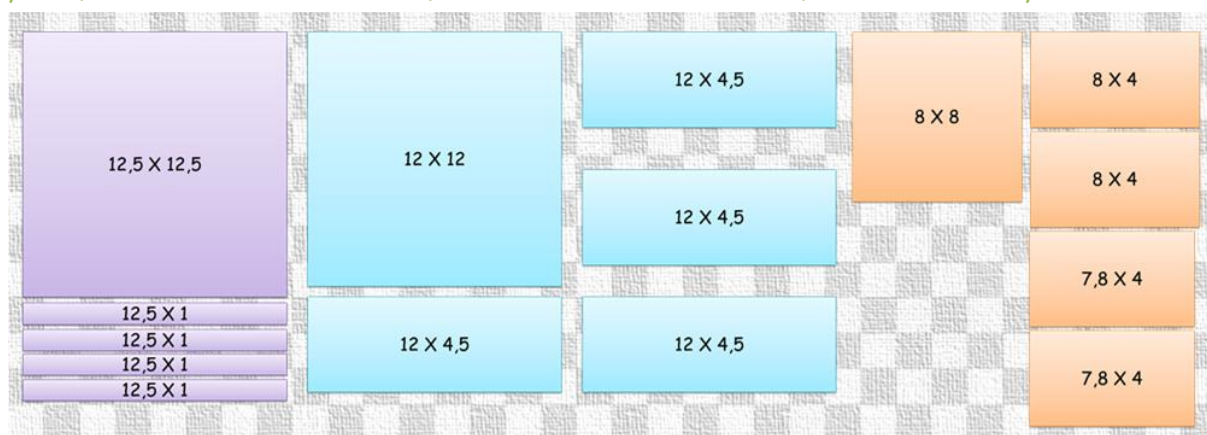


Figura 21: Tiras de papelão, cortadas nas suas respectivas medidas marcadas.

- ✓ Posicionar as tiras de 12,5 cm X 12,5 cm e 12,5 cm X 1 cm da forma mostrada abaixo na figura 22. Logo em seguida, fixar as tiras mais estreitas com fita adesiva, como mostrado na figura 23. Passar um pouco de cola na montagem da figura 23 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 24.

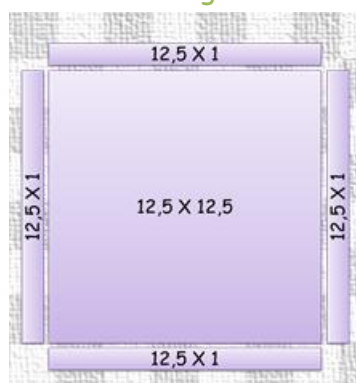


Figura 22: Posição das tiras de papelão.

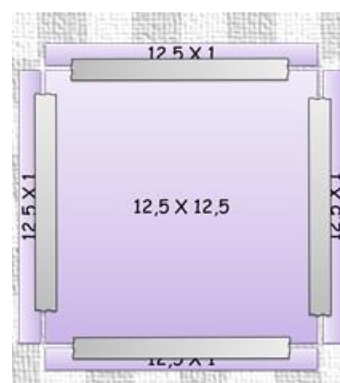


Figura 23: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

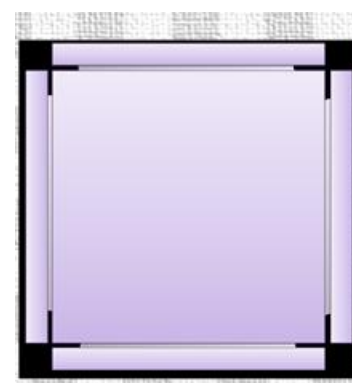


Figura 24: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais da montagem feita na figura 24, como indicado na figura 25. A fixação deve ser feita com fita adesiva para que as bordas fiquem firmes, como em uma tampa de caixa. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).

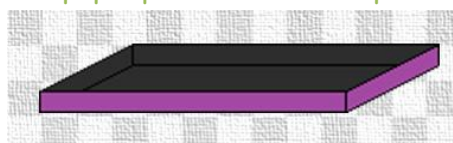


Figura 25: Vista de frente e de lado da tampa da caixa.

- ✓ Posicionar as tiras de 12 cm X 12 cm e 12 cm X 4,5 cm da seguinte forma, como indicado na figura 26. Logo em seguida, devemos fixá-las com fita adesiva, como indicado na figura 27. Passar um pouco de cola sobre a montagem da figura 26 e fixá-la sobre o papel preto, como indicado na figura 28.

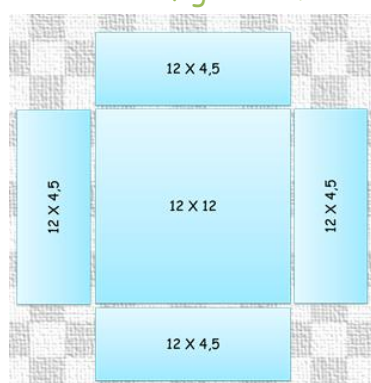


Figura 26: Posição das tiras de papelão.

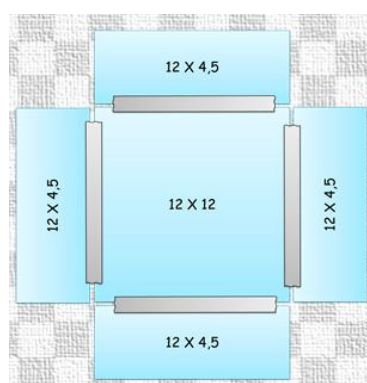


Figura 27: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

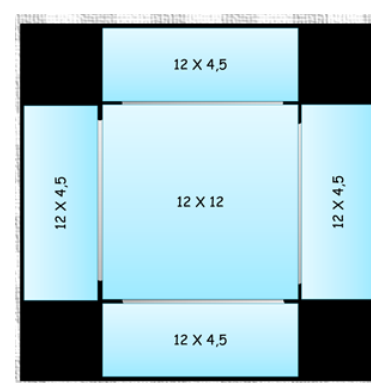


Figura 28: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva. Esta montagem deve ficar semelhante à figura 29. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).

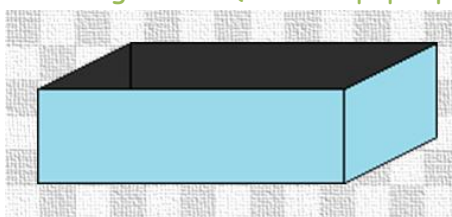


Figura 29: Vista de frente e de lado da caixa.

- ✓ Fazer um buraco com o prego nas duas tiras de 7,8 cm X 4 cm e em uma das tiras de 8 cm X 4 cm. Esses buracos devem estar na posição mostrada na figura 30, abaixo.

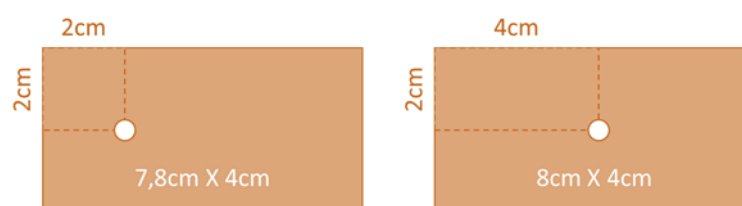


Figura 30: Furo nas tiras de papelão.

- ✓ Posicionar as tiras de 8 cm X 8 cm, 8 cm X 4 cm e 7,8 cm X 4 cm, como na figura 31. Logo em seguida, fixar as tiras com fita adesiva, como mostrado na figura 32 abaixo. Passar um pouco de cola na montagem da figura 32 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 33.

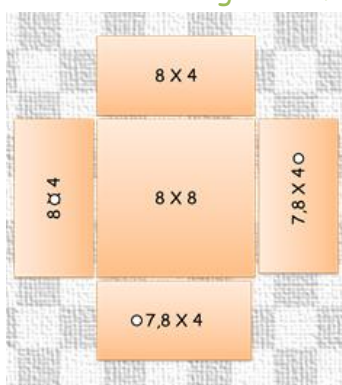


Figura 31: Posição das tiras de papelão.

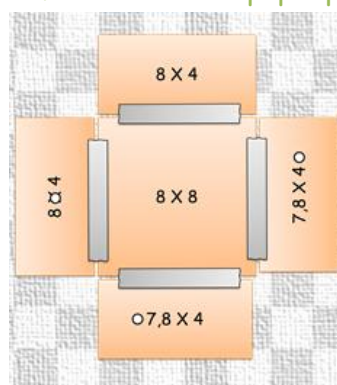


Figura 32: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

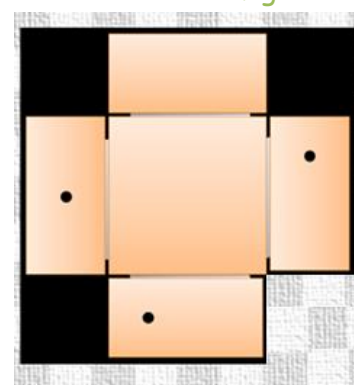


Figura 33: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva, como na figura 34. (OBS.: O papel preto deve ficar para fora).

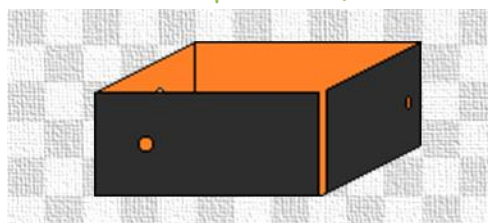


Figura 34: Vista de frente e de lado da caixa interna menor.

PARTE B:

- ✓ Conectar cada ponta dos LEDs em um fio condutor de 5 cm, como na figura 35. Conectar o fio negativo de um LED na extremidade do potenciômetro e o fio negativo do outro LED na outra extremidade do potenciômetro, como na figura 36.

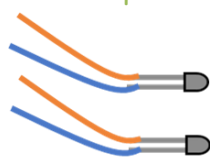


Figura 35: LEDs com fio condutor.

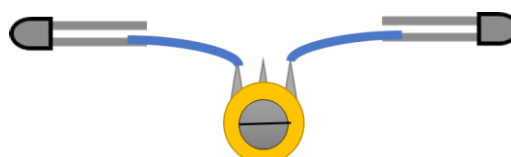


Figura 36: LEDs ligados ao potenciômetro.

- ✓ Unir os fios positivos de cada um dos LEDs às extremidades do transístor, como na figura 37.

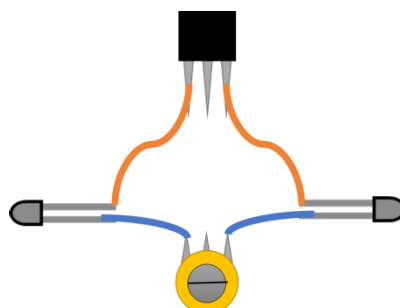


Figura 37: LEDs ligados ao potenciômetro e ao transístor.

- ✓ Conectar a parte central do transístor no fio positivo (vermelho) do suporte das pilhas AA, como na figura 38.

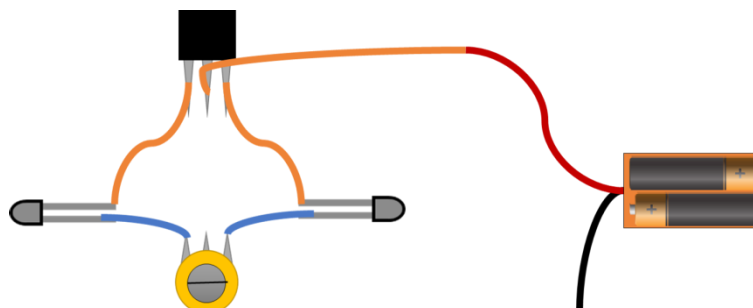


Figura 38: Montagem com potenciômetro e transístor, conectados à bateria.

- ✓ Conectar o fio negativo (preto) do suporte de pilhas na parte central do potenciômetro, como na figura 39. (OBS: ao se movimentar o pino do potenciômetro, verifique se os LEDs ligam. Caso eles não funcionem, refaça os passos descritos acima).

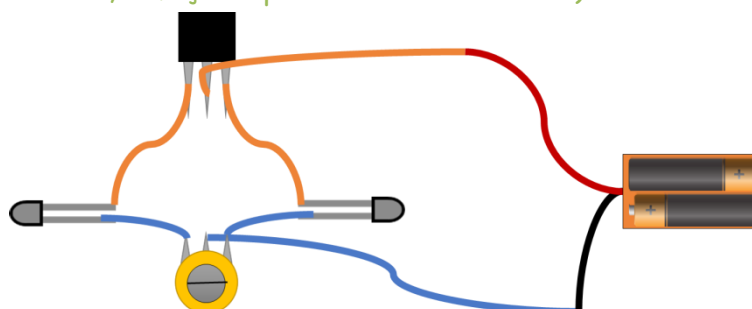


Figura 39: Montagem final do circuito.

PARTE C:

- ✓ Introduzir o circuito final da PARTE B dentro da caixa menor, mostrada na figura 39. Veja ao lado na figura 40 como fica essa nova montagem. Em seguida, posicionar nos buracos das laterais menores (as de 7,8 cm) os LEDs e o pino do potenciômetro no terceiro buraco (que fica na lateral com 8 cm).

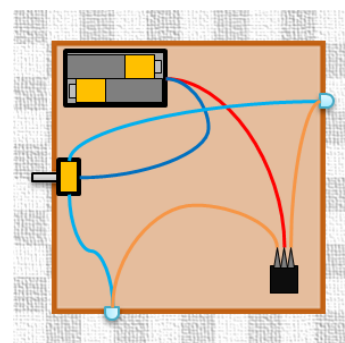


Figura 40: Circuito dentro da caixa menor.

- ✓ Passe um pouco de cola nas laterais sem os buracos com os LEDs e no fundo externo da caixa menor. Em seguida, fixe à dentro da caixa maior, como na figura 41.

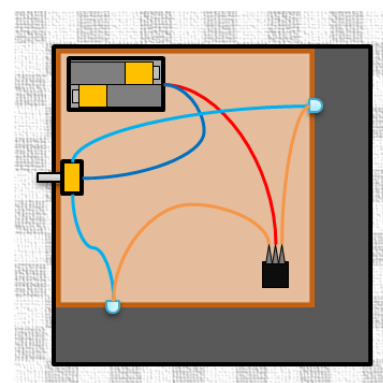


Figura 41: Caixa menor fixada dentro da caixa maior.

- ✓ Colocar a placa de vidro diagonalmente entre a abertura das laterais menores da caixa menor e a ponta mais próxima da caixa maior, como mostrado na figura 42. Faça com o prego um pequeno orifício na caixa maior, de frente para a placa de vidro.

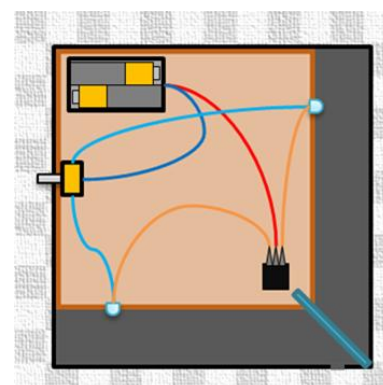


Figura 42: Montagem da figura 41, com uma placa de vidro na diagonal.

- ✓ Fazer um buraco com a tachinha no centro das tampas de refrigerante. Posicionar uma tampinha de refrigerante no final de cada corredor em L, em frente à placa de vidro, como mostrado na figura 43 abaixo. É importante comentar que as tampas são posicionadas simetricamente em relação à placa de vidro

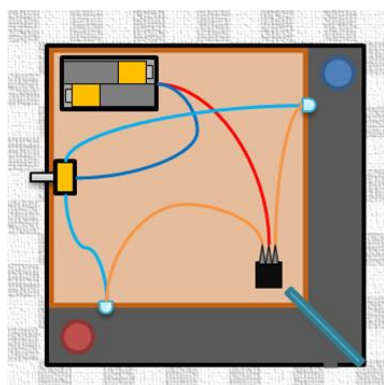


Figura 43: Montagem da figura 42, com duas tampas de refrigerante posicionadas simetricamente.

- ✓ Coloque entorno de uma das tampinhas a foto do macaco e na outra a foto da mulher. Em seguida, feche a caixa com a tampa. Em seguida, enquanto você gira pino do potenciômetro, procure enxergar através dos orifícios da caixa, as imagens das tampinhas de refrigerante. Abaixo, na figura 44, temos uma foto do aparato da Monga, a Mulher Macaco montado. (OBS.: As imagens das tampinhas de refrigerante fazem o papel de Monga, a Mulher Macaco).



Figura 44: Foto do aparato Monga, A mulher Macaco montado.

Para compreendermos bem o funcionamento do aparato, cuja construção passo a passo foi mostrada nas páginas anteriores, teremos nos capítulos III e IV um estudo aprofundado dos conceitos de Física necessários.

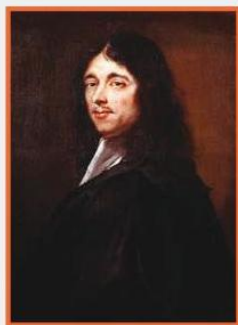
III

CAPÍTULO III: "A ÓPTICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica abaixo foi retirada e adaptada do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição - Páginas 520, 521, 522 e 523" em são dados os princípios e leis que explicam a reflexão da luz em espelhos planos, nas figuras 45, 46 e 47.

O advogado e matemático francês Pierre de Fermat nasceu em 1601. Ele trabalhou na University of Toulouse, antes de se mudar para Bordeaux, quando estava com vinte e poucos anos. Ele era fluente em latim, grego, italiano e espanhol, e bem reconhecido por seus versos escritos em diversas línguas. Em 1629, ele produziu um trabalho importante sobre as ideias acerca de máximos e mínimos, que acabou sendo útil para Newton, assim como para Leibniz, ao desenvolverem o cálculo independentemente. Em correspondência com Blaise Pascal, em 1654, Fermat ajudou a estabelecer os fundamentos da teoria das probabilidades.



Para os matemáticos, Fermat é mais lembrado por seu famoso "último teorema", um caso especial que estabelece

que a soma dos cubos de dois números inteiros não pode ser o cubo de outro número inteiro. Por mais de 300 anos, os matemáticos ficaram atormentados com uma nota de margem de página escrita em latim em um dos livros de Fermat, que pode ser traduzida como "Eu tenho uma prova verdadeiramente maravilhosa desta proposição, a qual esta margem é pequena demais para conter". Somente em 1994 o teorema foi provado (por Andrew Wiles, da Princeton University, EUA), usando métodos que não estavam disponíveis para Fermat, de modo que parece improvável que Fermat realmente tivesse uma prova dele. Isso não diminui o gênio que ele manifestou de outras maneiras.

Fermat tinha uma maneira única de descobrir a trajetória da luz. Ele estabeleceu que, entre todos os possíveis caminhos que a luz pode percorrer de um ponto a outro, ela percorrerá de fato aquele que requer o menor tempo. A reflexão e a refração, os principais assuntos do próximo capítulo, podem ser elegantemente compreendidas com este princípio.

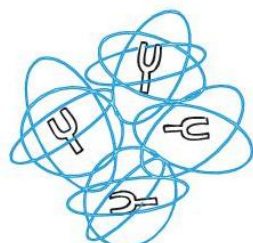


FIGURA 28.1

A luz interage com os átomos assim como o som interage com diapasões tipo forquilha.

28.1 Reflexão

A maior parte das coisas que vemos ao nosso redor não emitem luz própria. Elas são visíveis porque reemitem a luz que incide em suas superfícies, vinda de uma fonte primária, como o Sol ou uma lâmpada, ou de uma fonte secundária, tal como o céu iluminado. Quando a luz incide na superfície de um material, ou ela é reemitida sem que ocorra alteração na sua frequência, ou é absorvida por ele e o aquece.¹ Dizemos que a luz é *refletida* quando ela retorna ao meio de onde veio – o processo é chamado de **reflexão**.

Quando esta página é iluminada com a luz solar ou de um lampião, os elétrons dos átomos do papel e da tinta passam a oscilar mais energeticamente em resposta às oscilações dos campos elétricos da luz incidente. Os elétrons energizados, então, reemitem a luz que torna possível enxergar a página. Quando a página é iluminada com luz branca, o papel aparece como branco, o que mostra que os elétrons reemitem todas as frequências visíveis. Ocorre muito pouca absorção. Com a tinta, a história é diferente. Exceto por um pouco de reflexão, ela absorve todas as frequências visíveis e, portanto, aparece como preta.

O princípio do mínimo tempo²

A ideia de que a luz segue o caminho mais rápido ao ir de um ponto a outro, como mencionado anteriormente, foi formulada por Pierre Fermat. Essa ideia agora é conhecida como **princípio de Fermat do mínimo tempo**.

Podemos compreender a reflexão empregando o princípio de Fermat do mínimo tempo. Considere a seguinte situação: na Figura 28.2, vemos dois pontos, A e B, com um espelho comum abaixo deles. Como podemos ir de A até B o mais rápido possível, isto é, no mínimo tempo? A resposta é muito simples – indo em



FIGURA 28.2

¹ Outro destino para a luz incidente, menos comum, é absorção seguida de reemissão numa frequência mais baixa – o que se chama de fluorescência (Capítulo 30).

² Este material e o de muitos exemplos do princípio de mínimo tempo foram adaptados da obra de R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, Cap. 26 (Reading, MA: Addison-Wesley, 1963).

linha reta de A até B! Mas se acrescentarmos a condição de que a luz deve incidir sobre o espelho ao ir de A até B no mínimo tempo, a resposta não é tão fácil assim. Seria necessário ir tão rápido quanto possível de A até o espelho, e daí para B, como mostrado pelas linhas sólidas na Figura 28.3. Isto resulta num caminho curto até o espelho, mas em um caminho muito comprido do espelho até B. Se, em vez disso, considerarmos um ponto sobre o espelho um pouco mais para a direita do anterior, aumentaremos ligeiramente a primeira distância, mas diminuiremos consideravelmente a segunda, de modo que o comprimento do caminho total mostrado pelas linhas tracejadas é menor – e, portanto, o tempo de propagação também. Como podemos encontrar o ponto exato de incidência sobre o espelho para o qual o tempo total é o mais curto possível? Podemos encontrá-lo empregando um truque geométrico muito interessante.

Marcamos um ponto artificial, B', no outro lado do espelho, a uma distância abaixo do mesmo igual à distância do ponto B até o espelho (Figura 28.4). A distância mais curta entre A e este ponto artificial B' é muito simples de determinar: trata-se de uma linha reta. Agora esta linha reta intercepta o espelho no ponto C, o ponto preciso de reflexão para se ter o caminho mais curto e, daí, o caminho de mínimo tempo para transmissão luminosa de A para B. Um exame cuidadoso mostrará que a distância entre C e B é igual à distância entre C e B'. Vemos que o caminho de A até B', passando por C, é igual ao comprimento do caminho que vai de A até B "ricocheteando" em C.

Uma inspeção adicional das Figuras 28.4 e 28.5 e um pouco de raciocínio geométrico mostrará que o ângulo da luz incidente de A para C é igual ao ângulo de reflexão de C para B.



FIGURA 28.3

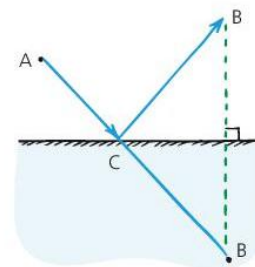
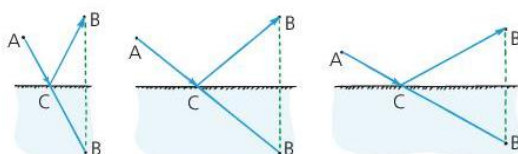


FIGURA 28.4

FIGURA 28.5

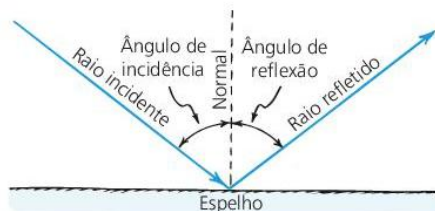



28.2 Lei da reflexão

Como mostrou Fermat, o ângulo de incidência da luz será igual ao ângulo de reflexão da luz. Esta é a **lei da reflexão**, que vale para todos os valores de ângulo (Figura 28.5):

O ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão.

A lei da reflexão é ilustrada na Figura 28.6, com setas que representam os raios de luz. Em vez de medir os ângulos dos raios incidentes e refletidos da superfície refletora, é costume medi-los em relação a uma linha perpendicular ao plano da superfície refletora. Essa linha imaginária é chamada de *normal*. O raio incidente, a normal e o raio refletido pertencem todos ao mesmo plano. Esse tipo de reflexão em uma superfície lisa é chamado de reflexão *especular*. Os espelhos produzem excelentes reflexões especulares.



 O revestimento branco de telhados refletem de volta cerca de 85% da luz incidente, o que, em dias quentes de verão, reduz em muito os custos com ar-condicionado e as emissões de carbono. Em dias frios de inverno, quando o calor é desejável, todavia, isso não é uma boa ideia. Mas para regiões de verões quentes e invernos amenos, pinte seu telhado de branco! (Como mencionado no Capítulo 27, também existem para isso tintas marrons resfriantes que ajudam refletindo luz infravermelha.)



SCREENCAST: Reflection

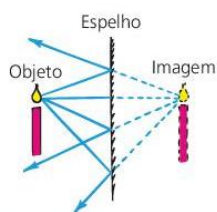
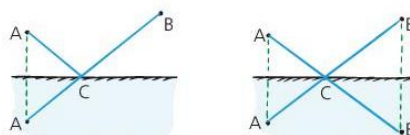
FIGURA 28.6
A lei da reflexão.

PAUSA PARA TESTE

Os pontos artificiais B', marcados nas figuras 28.4 e 28.5, mostram como a luz encontra o ponto C na reflexão que a leva de A até B. Por meio de uma construção similar, mostre que a luz originada em B e refletida para A também é refletida no mesmo ponto C.

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

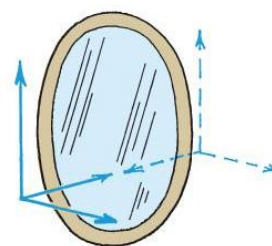
Marque um ponto artificial A' abaixo do espelho, a uma distância deste que é igual à distância que o ponto A guarda do espelho; então trace uma linha reta de B até A' para encontrar C, como mostrado na parte esquerda da figura. Ambas as construções foram superpostas, no lado direito da figura, o que mostra que C é um ponto comum a ambas. Vemos que a luz seguirá o mesmo caminho que seguiria se fosse no sentido oposto. Sempre que você enxergar os olhos de outra pessoa no espelho, pode estar certo de que ela também estará enxergando os seus.

**FIGURA 28.7**

Uma imagem virtual é formada atrás do espelho, localizada numa posição para a qual convergem os prolongamentos dos raios refletidos (as linhas tracejadas).

FIGURA 28.8

A imagem de Marjorie se encontra atrás do espelho, a uma distância igual à distância entre ela própria e o espelho. Observe que ela e a sua imagem apresentam a mesma cor para as roupas – uma evidência de que a luz não tem sua frequência alterada ao ser refletida. Curiosamente, seu eixo de orientação esquerda-direita não é invertido, assim como o eixo vertical, orientado de baixo para cima. O eixo que está invertido, como mostrado na figura da direita, é o eixo horizontal que vai da parte frontal de Marjorie para a parte posterior a ela. É por isso que a face de sua mão esquerda está de frente para a face da mão direita da imagem.

**Espelhos planos**

Suponha que a chama de uma vela esteja localizada em frente a um espelho plano. Os raios de luz são emitidos da chama, em todas as possíveis direções. Na Figura 28.7, são mostrados apenas quatro de um número infinito de raios que saem de um número infinito de pontos da chama. Esses raios divergem a partir da chama da vela e incidem no espelho, onde são refletidos em ângulos iguais aos seus ângulos de incidência. Os raios, então, divergem a partir do espelho e parecem emanar de um ponto particular situado atrás do espelho (onde se interceptam as linhas tracejadas). Um observador enxerga a imagem da chama como estando neste ponto. Mas os raios de luz não provêm realmente deste ponto, razão pela qual a imagem é denominada uma *imagem virtual*. A imagem está atrás do espelho e tão distante dele quanto o objeto está do espelho, sendo que a imagem e o objeto têm o mesmo tamanho. Quando você se olha no espelho, por exemplo, o tamanho de sua imagem é o mesmo que teria seu irmão gêmeo se ele estivesse localizado atrás do espelho, a uma distância do mesmo igual àquela que você próprio guarda do espelho, na frente dele – desde que a superfície do espelho seja plana (chamamos de *espelho plano* um desse tipo).

Quando o espelho é curvo, os tamanhos e as distâncias do objeto e da imagem até ele não são mais iguais. Não abordaremos os espelhos curvos neste livro, exceto para dizer que a lei da reflexão continua sendo válida neste caso também. Um espelho curvo comporta-se como se fosse formado por uma sucessão de espelhos pla-

nos, cada um deles com uma orientação ligeiramente diferente. Em cada ponto, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Figura 28.9). Observe que num espelho curvo, diferentemente do que ocorre em um plano, as normais (mostradas pelas linhas pretas tracejadas do lado esquerdo do espelho) em diferentes pontos da superfície não são paralelas entre si.



VIDEO: Image Formation in a Mirror

Figura 47: Pagina 522 e parte da página 523 do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição".

FORMAÇÃO DE IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Nessa atividade serão mostradas a formação e localização de imagens em um espelho plano. Essa atividade será essencial para desenvolver os subsunções necessários à compreensão da ATIVIDADE 03 e da montagem da Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 48:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Dois objetos iguais (mesmo tamanho e características, por exemplo, duas pilhas), que sejam maiores que o espelho plano utilizado;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado.

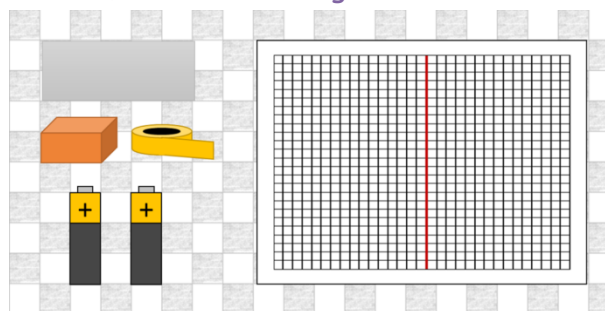


Figura 48: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 49 abaixo.

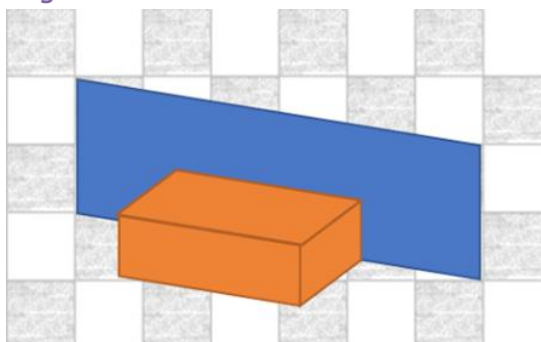


Figura 49: Espelho fixado no paralelepípedo.

- ✓ Posicionar o espelho no meio da folha de papel quadriculado (sobre a linha vermelha), como na figura 50 abaixo. Posicionar um objeto na frente do espelho, como mostrado na figura 51.

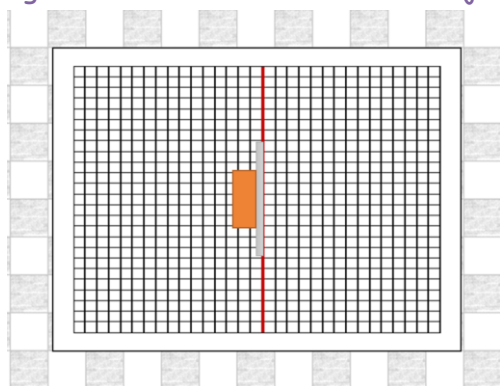


Figura 50: Primeira parte da montagem a ser realizada.

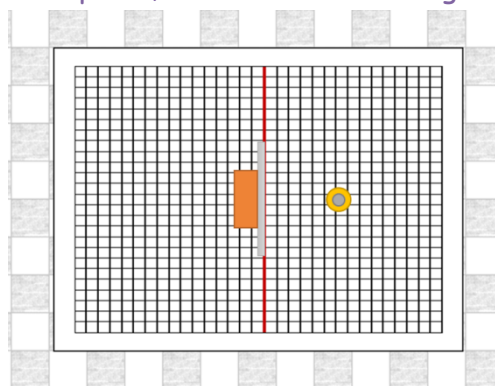


Figura 51: Segunda parte da montagem a ser realizada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: O que podemos observar refletido no espelho?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Quais as semelhanças entre o objeto colocado na frente do espelho e sua imagem refletida? É apenas na aparência? Em qual outro fator podemos dizer que ambos são semelhantes?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Qual a distância entre o objeto e o espelho? E qual é a distância entre a imagem do objeto e o espelho? (Você pode utilizar o papel quadriculado para facilitar a contagem).

Distância do objeto: _____ Distância da imagem: _____

- ✓ Agora, coloque atrás do espelho um segundo objeto, à mesma distância que você registrou entre a imagem do primeiro objeto e o espelho, como mostrado na figura 52.

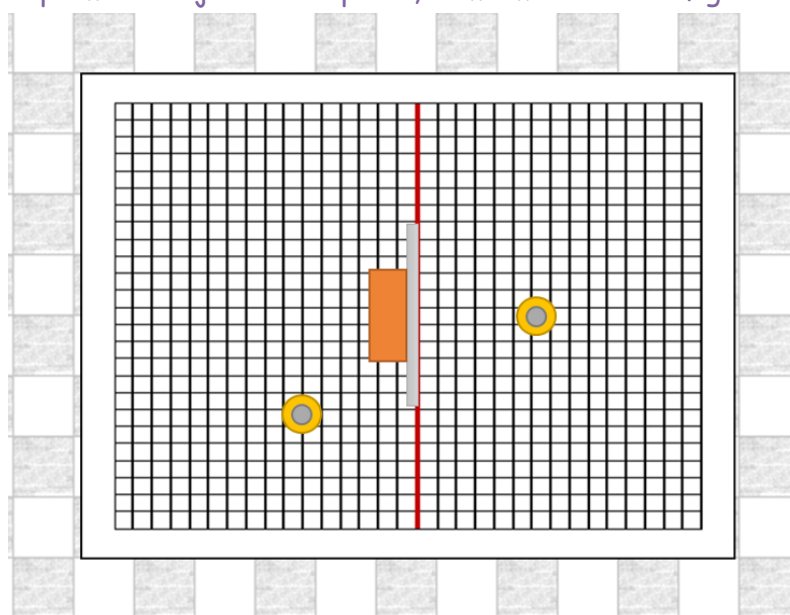


Figura 52: Segundo objeto posicionado atrás do espelho.

- ✓ É perceptível que os objetos utilizados são mais altos que o espelho que estamos utilizando. Agora, observe novamente, por de trás do primeiro objeto, a imagem deste refletida no espelho.
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: O que podemos perceber através dessa observação?
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Será que podemos criar uma ilusão de óptica através desta montagem?
- ✓ Agora, posicione novamente o objeto atrás do espelho de forma que ele esteja alinhado com o primeiro objeto na frente do espelho.
- ✓ Observar a imagem refletida do primeiro objeto e comente o que podemos observar.
- ❖ QUESTIONAMENTO 06: A partir das observações feitas anteriormente, que conclusões podemos tirar a respeito de formação de imagens em espelhos planos?

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Formação de imagens com dois espelhos planos para se entender a importância dos ângulos de posicionamento dos espelhos, em relação ao observador. Essa atividade será fundamental também para desenvolver subsunções necessários para entender a ATIVIDADE 03 e a Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 53:

- Dois espelhos planos com as mesmas proporções;
- Um objeto qualquer;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha com a impressão de um transferidor.

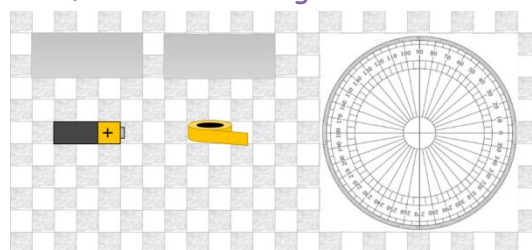


Figura 53: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 02.

MONTAGENS:

- ✓ Primeiramente, coloque as partes reflexivas dos espelhos frente a frente e os deixe alinhados.
- ✓ Com a fita adesiva, prenda os espelhos um no outro em apenas uma das laterais, como na figura 54 abaixo. O objetivo é permitir que estes espelhos, ao tentarem se separar, criem diversos ângulos possíveis entre eles.

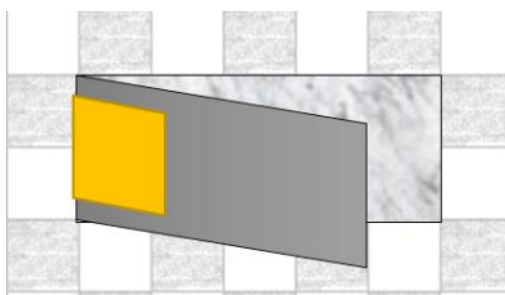


Figura 54: Espelhos juntos pela fita adesiva.

- ✓ Apoiar estes espelhos sobre a folha com o transferidor impresso. Mantenha a lateral com fita adesiva no centro do transferidor, como mostrado na figura 55 abaixo. Agora, coloque um objeto entre esses espelhos, de acordo com a figura 56.

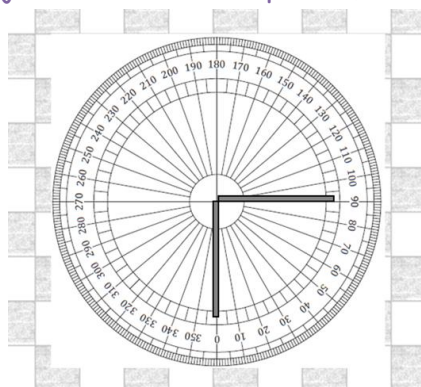


Figura 55: Espelhos juntos por fita adesiva, sobre o transferidor impresso.

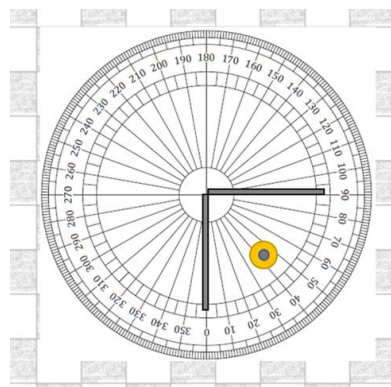


Figura 56: Objeto colocado entre os espelhos.

- ❖ QUESTIONAMENTO 06: Se temos um espelho, quantos reflexos podem ser observados? Agora, antes de olhar nos dois espelhos, quantos reflexos você espera ver neles?
- ✓ Mantendo os espelhos e o objeto na posição inicial, agora observe os dois espelhos e descreva o que consegue ver.
- ❖ QUESTIONAMENTO 07: Quantos reflexos nos espelhos você conseguiu ver? O que acontece se você aumentar a abertura entre os espelhos? O número de reflexos aumentou ou diminuiu? O que acontece se você mudar a sua posição em que você está observando os reflexos nos espelhos?
- ✓ Para conseguirmos prever quantos reflexos teremos para cada abertura, utilizaremos as seguintes montagens, mostradas na figura 57.

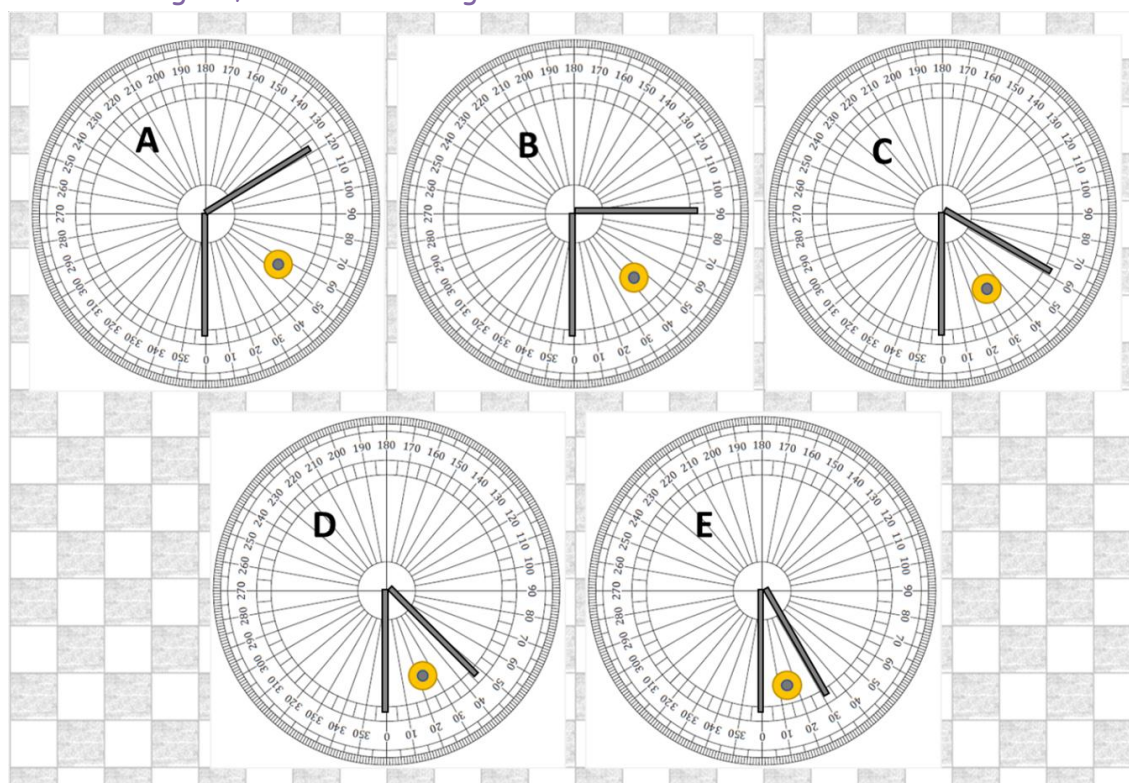


Figura 57: Posições propostas para os espelhos.

- ✓ Agora, com as suas observações preencha a tabela da figura 58.

Montagem	Ângulo	Nº de Objetos	Nº de Imagens
A			
B			
C			
D			
E			

Figura 58: Tabela para a anotação de dados.

- ❖ QUESTIONAMENTO 08: Quais deduções conseguiram tirar desses dados? Existe alguma relação matemática entre esses valores?

SUGESTÃO ATIVIDADE 03: Arranjos com dois objetos e um espelho inclinado para mostrar como é formada a imagem no espetáculo de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Três objetos iguais (mesmo tamanho e características);
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e uma linha vermelha traçada na diagonal, de uma ponta a outra.

- ✓ Realizar cada uma das montagens sobre a folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e responder os questionamentos a seguir. Na figura 60 abaixo temos 4 montagens (da esquerda para direita): na montagem A temos as três pilhas; na montagem B temos duas pilhas em frente ao espelho; nas montagens C e D temos duas pilhas, uma na frente do espelho e outra atrás.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 59 abaixo.

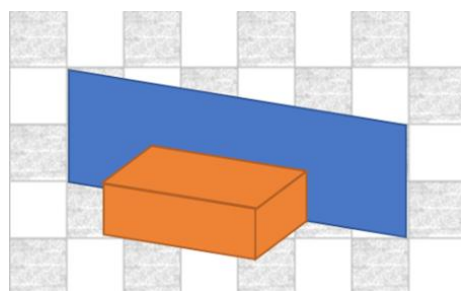


Figura 59: Espelho fixado no paralelepípedo.

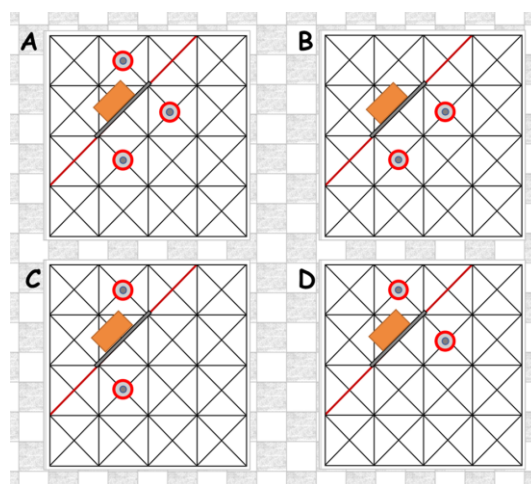


Figura 60: Uma montagem com o espelho e as três pilhas, e três montagens com um espelho e duas pilhas.

- ❖ QUESTIONAMENTO 09: Ao realizar a montagem A e observar os reflexos formados no espelho, o que é possível constatar?
- ❖ QUESTIONAMENTO 10: Agora remova a pilha 1 como na montagem B, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 11: Agora remova a pilha 2 como na montagem C, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 12: Agora remova a pilha 3 como na montagem D, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 13: Porque na montagem B não estranhamos a falta de um reflexo como na montagem C?
- ❖ QUESTIONAMENTO 14: Será que podemos tirar proveito de alguma dessas montagens para explicar o espetáculo Monga, a Mulher Macaco? Qual dessas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 15: Apenas espelhos podem nos propiciar reflexos? Poderíamos realizar esses mesmos experimentos com outra coisa que não seja um espelho?

IV

CÁPÍTULO IV: "A ELETRODINÂMICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica a seguir foi baseada no livro "FÍSICA CONCEITUAL - 11ª Edição - Capítulos 22 e 23 - Eletrostática^{xix} e Corrente Elétrica^{xx}" e no livro "Physics Fundamentals - 5th Edition^{xxi}".

CARGA ELÉTRICA

As partículas fundamentais que constituem a matéria comum são o elétron, o próton e o nêutron. Uma das características mais importantes das partículas fundamentais é a sua carga elétrica, sendo que sem ela é impossível estudar qualquer tipo de fenômeno elétrico. Denominamos de "negativa" a carga do elétron, de "positiva" a carga do próton e de "neutra" a carga do nêutron (partícula sem carga elétrica).

As cargas do elétron e do próton são equivalentes, tendo valores unitários e indivisíveis. Quando temos mais de uma carga é possível observar certos fenômenos de interação. Na figura 61 ao lado temos três momentos distintos: no primeiro verificamos um movimento de repulsão entre cargas positivas; no segundo verificamos um movimento de repulsão entre cargas negativas; e no terceiro verificamos um movimento de atração entre uma carga positiva e uma carga negativa. Portanto, podemos concluir que existe a seguinte propriedade básica: cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.

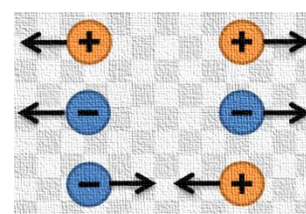


Figura 61: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.

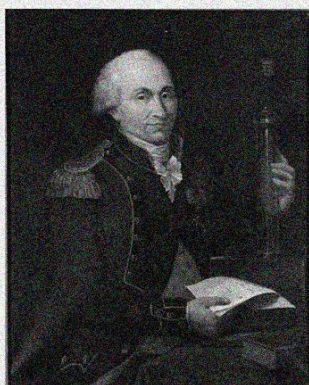
LEI DE COULOMB E FORÇA ELÉTRICA

A interação de atração e repulsão observada entre as cargas elétricas pode ser denominada de "força elétrica", cuja expressão matemática esta mostrada na figura 62. Na figura 63 encontra-se uma breve biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

$$F = K \cdot \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

Figura 62: Relação matemática da Lei de Coulomb.

CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB



Nasceu em 14/06/1736 (Angoulême, França) e faleceu em 23/08/1806 (Paris, França).

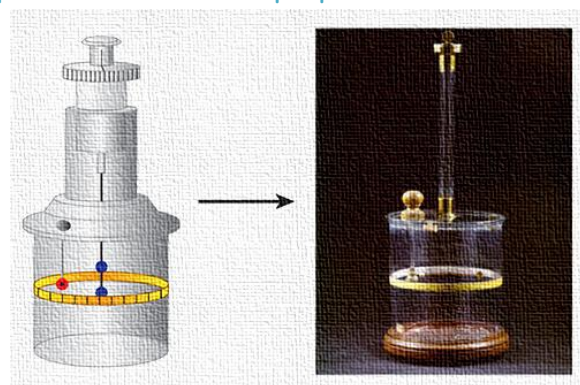
Físico francês mais conhecido por ter formulado a lei de Coulomb, afirmando que a força entre duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Essa força de interação tem um papel importante nas ligações atômicas. Coulomb passou nove anos nas Índias Ocidentais como engenheiro militar e retornou a França com problemas de saúde. Após a eclosão da Revolução Francesa, ele se retirou para uma pequena propriedade em Blois e dedicou-se à pesquisa científica. Em 1802 ele foi nomeado inspetor de instrução pública. Coulomb desenvolveu sua lei como uma consequência de suas tentativas de investigar a lei das repulsões elétricas, como afirmava o inglês Joseph Priestley, Inglaterra.

Para esse fim, inventou aparelhos sensíveis para medir as forças elétricas envolvidas nas investigações de Priestley e publicou suas descobertas entre 1785-89. Também estabeleceu a lei do inverso do quadrado de atração e repulsão entre polos magnéticos diferentes e semelhantes, que se tornou a base para a teoria matemática das forças magnéticas desenvolvidas por Siméon-Denis Poisson. Ele também fez pesquisas sobre o atrito em máquinas, moinhos de vento e a elasticidade das fibras de metal e seda. O Coulomb, uma unidade de carga elétrica foi, nomeado em sua homenagem.

Figura^{xxii} 63: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

A lei que determina as características da força elétrica entre cargas em repouso foi obtida no século XVIII por Charles Coulomb, através de uma balança de torção, mostrada na figura 64. No experimento feito com essa balança surgem dois torques: o primeiro torque é devido à força elétrica entre duas cargas em repouso; o segundo torque, que se opõe ao primeiro, é devido ao fio ligado à barra da balança de torção. Quando esses dois torques atingem o mesmo valor, a barra da balança de torção para de girar, entrando em equilíbrio. Igualando-se os valores dos torques na situação

de equilíbrio, é possível obter uma expressão para a constante de proporcionalidade K.



Figura^{xxiii} 64: À esquerda uma ilustração da balança de torção e à direita uma foto de uma balança de torção.

CAMPO ELÉTRICO

Quando um corpo está carregado eletricamente, na região do espaço entorno dele atua uma força elétrica F que pode ser atrativa ou repulsiva. Se uma carga de prova q se aproximar da região em que se encontra esse corpo, ela sofrerá a ação da força F . Denomina-se campo elétrico a grandeza física calculada através da equação apresentada na figura 65, ao lado.

$$E = \frac{F}{q}$$

Figura 65: Equação do campo elétrico.

Para se visualizar a ação do campo elétrico em uma região do espaço entorno de um corpo carregado eletricamente, utilizam-se "linhas de força", que foram introduzidas por Michael Faraday, na primeira metade do século XIX. Na figura 66 são mostradas as linhas de força de cargas pontuais, positiva e negativa. Leia a breve biografia deste físico experimental inglês na figura 67.

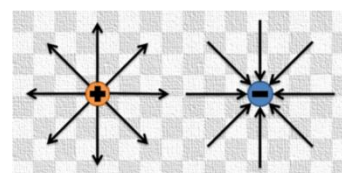


Figura 66: Linhas de força de cargas pontuais.

MICHAEL FARADAY



Nasceu em 22/09/1791 (Surrey, Inglaterra) e faleceu em 25/08/1867 (Surrey, Inglaterra). Físico-químico inglês cujas muitas experiências contribuíram enormemente para a compreensão do eletromagnetismo. Faraday, que se tornou um dos maiores cientistas do século XIX, começou sua carreira como químico. Ele escreveu um manual de química prática, que revela seu grande domínio dos aspectos técnicos de sua "arte", descobriu uma série de novos compostos orgânicos, entre eles o benzeno, e foi o primeiro a liquefazer um gás "permanentemente" (isto é, um que acreditava-se ser incapaz de liquefação).

Suas principais contribuições, no entanto, foram no campo da eletricidade e do magnetismo. Ele foi: o primeiro a produzir uma corrente elétrica a partir de um campo magnético; inventou o primeiro motor e dinamo elétrico; encontrou uma relação entre a eletricidade e as ligações químicas; descobriu e identificou os efeitos do magnetismo na luz; e descobriu o diamagnetismo, comportamento peculiar de certas substâncias em campos magnéticos fortes. Ele forneceu a base experimental e boa parte da base teórica sobre a qual James Clerk Maxwell ergueu a teoria clássica dos campos eletromagnéticos.

Figura^{xxiv} 67: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Michael Faraday.

Pode-se verificar pela figura 61, que, no caso da carga pontual positiva, as linhas de força radiais apontam em um sentido para fora da carga; enquanto que no caso da carga pontual negativa, as linhas de força radiais apontam em um sentido voltado para a carga. Através das linhas de força relacionadas a um corpo carregado eletricamente, podem-se obter as características do campo elétrico gerado por este corpo, que são descritas a seguir. Primeira característica: o campo elétrico em um determinado ponto P é dado por um vetor tangente à linha de força que passa por este ponto P, como indicado na figura 68 (VETOR CAMPO ELETRICO DE UMA CARGA PONTUAL NO PONTO P). Segunda característica: na região em que as linhas de força radiais estão mais próximas entre si, o campo elétrico é mais intenso; enquanto que na região em que as linhas de campo radiais estão mais afastadas entre si, o campo elétrico é menos intenso, figura 69.

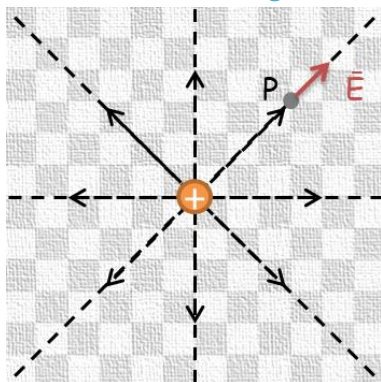


Figura 68: Campo elétrico tangente à linha de força.

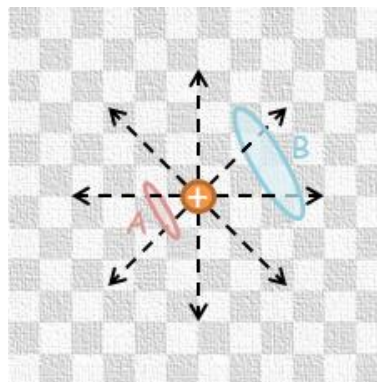


Figura 69: Na região A o campo elétrico é mais intenso que na região B, devido à proximidade das linhas de força.

VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA & ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

É chamada de "energia potencial elétrica" a energia devida à localização de uma partícula carregada. Ao se alterar a posição desta partícula, será realizado sobre ela um trabalho e, deste modo,

a partícula acumulará uma energia potencial elétrica. Na figura 70 ao lado, a partícula com carga positiva está em uma posição inicial muito distante da

placa carregada negativamente. A partícula será atraída para uma posição final bem próxima da placa. Para que ocorra essa mudança de posição da partícula, a força elétrica (relacionada com o campo elétrico da placa) realiza um trabalho sobre a partícula. Esse trabalho é transformado em energia potencial elétrica da partícula.

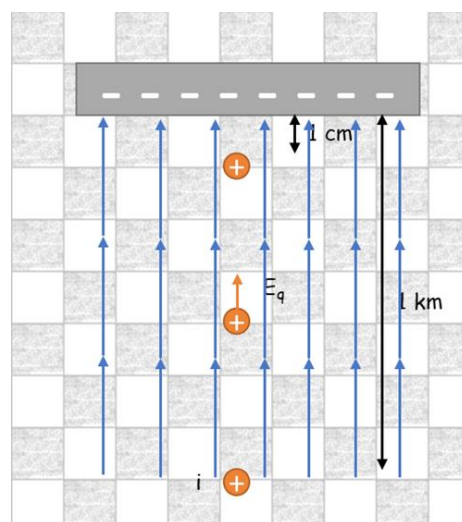


Figura 70; Partícula positiva sendo atraída pela placa carregada negativamente.

POTENCIAL ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP, TENSÃO OU VOLTAGEM)

O conceito de energia potencial elétrica por unidade de carga é conhecido como potencial elétrico. É possível expressar uma relação matemática, mostrada na figura 71, entre a energia potencial elétrica e o potencial elétrico. A unidade mais comum para o potencial elétrico é o volt (V), sendo que 1 V é igual a 1 joule (J) de energia por 1 Coulomb (C) de carga. Pela equação da figura 71 pode-se concluir que: se a energia potencial elétrica for multiplicada por uma determinada constante K e, ao mesmo tempo, a carga for multiplicada pela mesma constante, o valor do potencial elétrico permanecerá constante.

$$\text{Potencial Elétrico (V)} = \frac{\text{Energia Potencial Elétrica (J)}}{\text{Carga (C)}}$$

Figura 71: Relação matemática entre potencial elétrico, energia potencial elétrica e carga.

FLUXO DE CARGA E CORRENTE ELÉTRICA

Considere que os elétrons livres de condução em um tubo cilíndrico de material condutor como, por exemplo, o cobre, estejam se movimentando aleatoriamente, como indicado na figura 72. Nesse caso, o fluxo resultante de cargas através da seção reta do tubo é nulo.

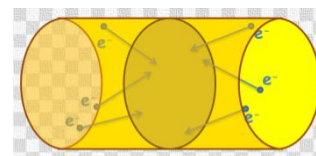


Figura 72: Elétrons livres em movimento aleatório dentro de um fio condutor

Agora, ligue o tubo cilíndrico de cobre a uma bateria, como indicado na figura XX. Quando a bateria está ligada, uma diferença de potencial V se estabelece entre as extremidades do tubo. Desse modo, um campo elétrico E atuará sobre os elétrons de condução do cobre atraindo-os em direção ao polo positivo da bateria, o que dá origem a um fluxo resultante de elétrons, da esquerda para a direita. Esse fluxo resultante é definido como uma corrente elétrica. O sentido convencional da corrente elétrica i está indicado na figura XXI. Pode-se observar que o sentido convencional da corrente elétrica i é contrário ao do sentido que a corrente de elétrons possui. Isso ocorre porque existe a seguinte convenção internacional: o sentido convencional da corrente elétrica i é dado pelo sentido do movimento de portadores de carga positiva. Se os portadores de carga no tubo cilíndrico fossem positivos, eles seriam atraídos pelo polo negativo da bateria e, portanto, se movimentariam num sentido contrário ao dos elétrons de condução.

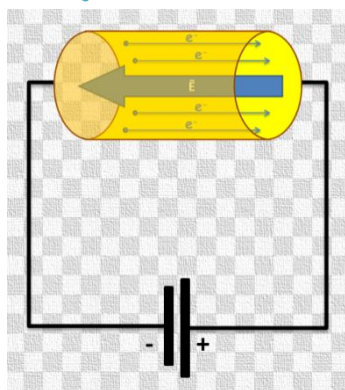


Figura 73: Movimento ordenado das partículas negativas dentro do condutor, devido ao campo que surge da diferença de potencial.



Figura 74: Sentido convencional da corrente.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA: DEFINIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA E RESISTIVIDADE

Para a produção de uma corrente elétrica é necessário o uso de uma bateria ou um gerador. A quantidade de corrente depende não apenas da tensão, mas também da resistência elétrica que o condutor oferece ao fluxo de cargas. Na figura 75 ao lado, temos a relação matemática que define a resistência R . Nessa relação, V é a tensão e i é a corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω), em homenagem ao físico Ohm. Na figura tal encontra-se uma breve biografia desse cientista. É importante salientar que a resistência elétrica é uma propriedade do **objeto** através do qual passa a corrente. Existe outra propriedade importante que é característica do **material**, que é a resistividade ρ . A resistividade de um material é definida pela expressão matemática da figura 76. Nessa relação matemática, E é o campo elétrico e J é a densidade de corrente elétrica, isto é, corrente por unidade de área, como demonstrado na figura 77.

$$R = \frac{V}{i}$$


Figura 75: Relação matemática que define a resistência R

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Figura 76: Relação matemática que define a resistividade de um material.

$$J = \frac{i}{A}$$

Figura 77: Relação matemática que define a densidade de corrente elétrica.

GEORGE SIMON OHM	
	<p>Nasceu em 16/03/1789 (Erlangen, Alemanha) e faleceu em 06/07/1854 (Munich, Alemanha). Físico alemão que descobriu a lei, nomeada em sua homenagem, que afirma que: o fluxo de corrente através de um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial (tensão) e inversamente proporcional à resistência.</p> <p>Ohm tornou-se professor de matemática do Colégio dos Jesuítas de Colônia em 1817. O aspecto mais importante da lei de Ohm está resumido em seu panfleto "Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet" (1827; o circuito galvânico investigado matematicamente).</p> <p>Embora seu trabalho tenha influenciado bastante a teoria e as aplicações da eletricidade atual, foi tão friamente recebido que Ohm renunciou o cargo em Colônia. Ele aceitou um cargo na Escola Politécnica de Nurnberg em 1833. Finalmente, seu trabalho começou a ser reconhecido: em 1841, recebeu uma medalha Copley da Royal Society de Londres e tornou-se membro estrangeiro um ano depois. O ohm, a unidade física que mede a resistência elétrica, também recebeu o nome dele.</p>

Figura^{xxv} 78: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Georg Simon Ohm.

A unidade de resistividade é $\Omega.m$. Pode-se mostrar, matematicamente, que entre a resistência R de um objeto e a resistividade ρ do material existe a seguinte relação dada pela figura 79.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Figura 79: Relação matemática entre a resistência R de um objeto e as propriedades desse objeto (resistividade ρ , comprimento L e área de seção reta A).

Na ATIVIDADE 01 será feita uma demonstração experimental da validade dessa relação.

Um famoso caso em que a resistividade de um material foi negligenciada tornou-se um dos maiores acidentes aéreos da História. O acidente em questão foi a explosão da maior aeronave já construída pelo homem, o dirigível alemão Hindenburg. Segundo o laudo de peritos da época, os fatores que ocasionaram a explosão foram: uma das células de hidrogênio do dirigível estar danificada e o uso de uma pintura no tecido exterior do zeppelin com alta resistividade elétrica. A alta resistividade elétrica da pintura fez com que o tecido do zeppelin mantivesse o mesmo potencial elétrico da atmosfera numa altitude de 43 m. Quando o zeppelin, através de cordas molhadas pela chuva (que se tornaram um bom condutor de eletricidade), foi preso ao solo, devido à grande diferença de potencial entre o tecido do dirigível e as cordas (que ficaram com o mesmo potencial do solo), houve a descarga de cargas acumuladas na estrutura do dirigível, o que resultou em uma pequena faísca. Como o hidrogênio é muito inflamável, essa faísca causou uma pequena explosão que se alastrou para o resto da aeronave. Esse acidente repercutiu em todo o mundo, virando manchete em todos os grandes jornais da época. Abaixo, na figura 80, temos o título da notícia publicada pelo renomado jornal The New York Times.



Figura^{xxvi} 80: Notícia do "The New York Times" referente a um dos maiores acidentes aéreo da história.

CIRCUITO SIMPLES COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Montagem de um circuito simples com resistência variável, para desenvolver os subsunçores relacionados com os conceitos de corrente, tensão ou voltagem, resistência e resistividade.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 80:

- Um pedaço de papelão (30 cm X 6 cm);
- Dois LEDs; duas pilhas AA;
- Um suporte para pilhas AA;
- Aproximadamente 50 cm de fio condutor;
- Fita adesiva;
- Dois cotonetes;
- Tinta esmalte incolor (60 ml);
- Grafite em pó (25gr).
- Uma tampa de refrigerante.



Figura 81: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Utilizando a fita adesiva, faça duas trincheiras no pedaço de papelão: uma com aproximadamente 1 cm de espessura e a outra com a menor espessura possível, como mostrado na figura 81.



Figura 82: Fita adesiva colada no papelão, formando uma trincheira mais larga e outra mais fina.

- ✓ Misture em um recipiente a tinta esmalte incolor e o pó de grafite. Ao fazer isso você conseguirá uma tinta de carbono, também conhecida como tinta condutiva. Colocar na tampa de refrigerante uma colherada dessa tinta.
- ✓ Com essa tinta condutiva e o cotonete, pinte as trincheiras que você criou com a fita adesiva, como na figura 82, e deixe secar (aproximadamente 10 minutos).

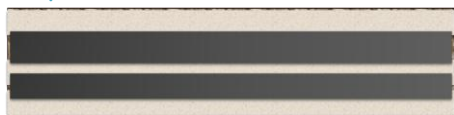


Figura 83: Pintura realizada sobre o papelão e a fita adesiva.

- ✓ Após a tinta secar, remova a fita adesiva com cuidado e ficará com algo semelhante à figura 83.



Figura 84: Papelão após a retirada da fita adesiva.

- ✓ Agora, coloque as pilhas no suporte. Pegue aproximadamente 20 cm de fio, prendendo uma parte do fio na saída positiva do suporte para pilhas. A outra parte do fio condutor deve ser presa em um LED (como o LED é um componente polarizado, respeite qual das pontas do fio e do LED você vai juntar) como mostrado na figura 84.

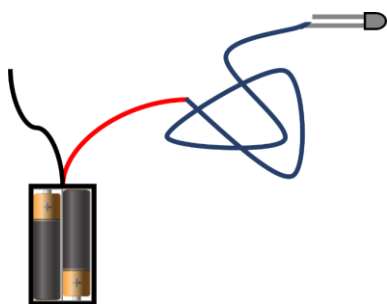


Figura 85: Montagem com o suporte para pilhas, o fio condutor e o LED.

- ✓ Tendo essas partes montadas, siga as montagens da figura 85 a seguir, preencha a tabela da figura 86 com o que é pedido e responda os questionamentos propostos. Observação: o fio vermelho com seta representa o fio com o LED anexado.

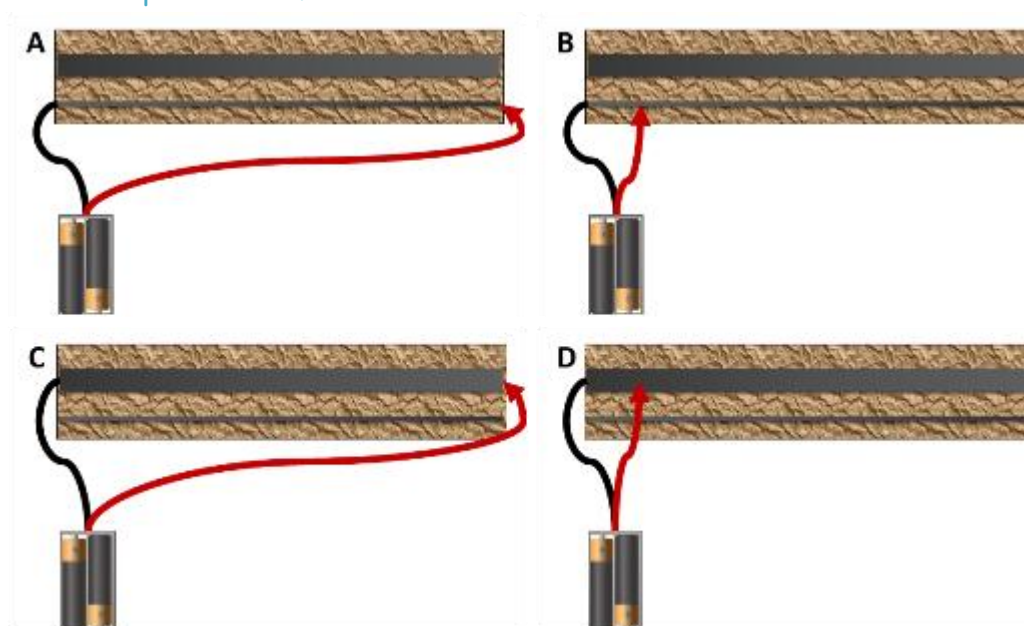


Figura 86: Montagem A com trincheira fina e comprida; montagem B com trincheira fina e curta; montagem C com trincheira grossa e comprida; montagem D com trincheira grossa e fina.

Comparando as montagens a seguir, em qual delas o LED brilha mais?				
Montagem	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

Figura 87: Tabela a ser preenchida com os dados das comparações a serem realizadas.

- ❖ **QUESTIONAMENTO 01:** Ao colocar a ponta solta do LED na parte pintada, o que acontece?

- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Se formos comparar a luminosidade do LED entre A/B, em qual delas ele brilha mais? E se agora compararmos a luminosidade do LED entre C/D, em qual delas ele brilha mais? Quais relações pode-se tirar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Agora faça a mesma comparação entre as montagens A/C? E entre as montagens B/D? Que relação pode-se determinar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Qual explicação pode-se propor para a comparação realizada nas montagens A/B e C/D? E na comparação entre A/C e B/D?

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Montagem de um potenciômetro, como o que foi utilizado no aparato de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos de algumas das montagens realizadas na ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Fixe em cada lateral da trincheira mais fina a ponta referente ao polo positivo de cada LED, como na figura 87.



Figura 88: LEDs anexados as pontas da trincheira mais fina.

- ✓ Logo em seguida, utilizando o restante do fio condutor que sobrou, conecte-o às pontas negativas de cada um dos LEDs e, em seguida, conecte na saída negativa do suporte para pilhas, como mostrado na figura 88.

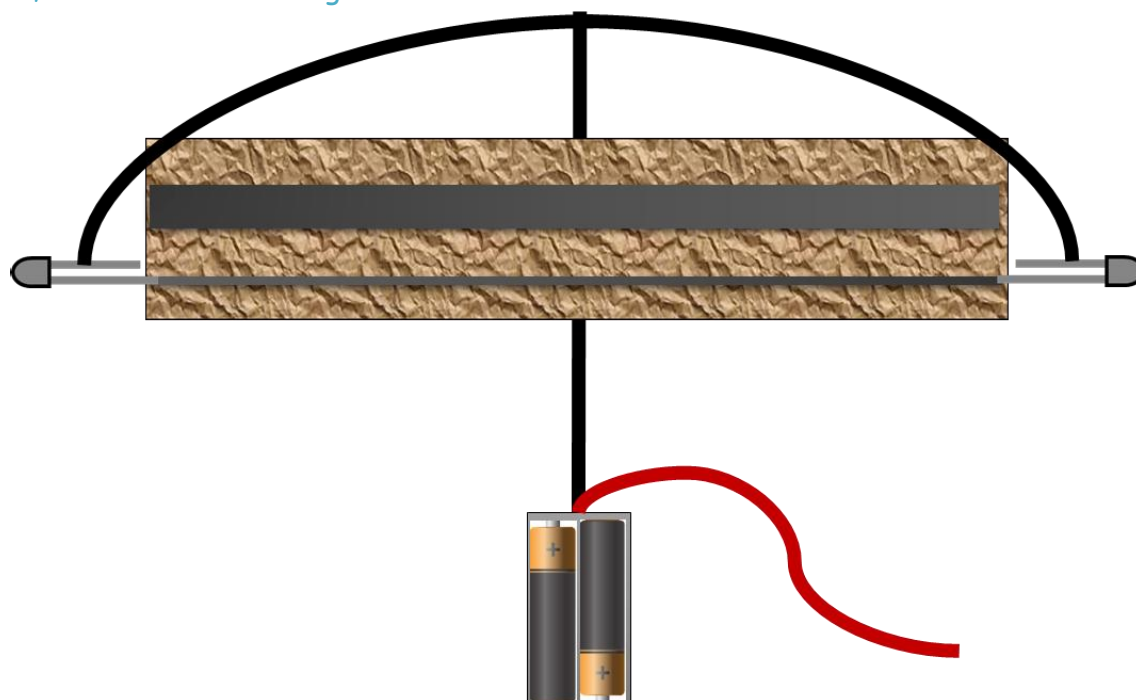


Figura 89: Potenciômetro com duas saídas e uma entrada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Ao colocar o fio vermelho na metade da trincheira mais fina, o que acontece com os LEDs? Agora aproxime o fio condutor vermelho de um dos LEDs e descreva o que aconteceu com a luminosidade deles.
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Por que isso acontece? Você consegue explicar isso utilizando os conceitos de corrente, tensão e resistência?



CAPÍTULO V: "OS HOLOGRAMAS DO SÉCULO XXI"

Utilizaremos este último capítulo como fechamento de todas as nossas atividades. Afim de verificar e utilizar os conhecimentos adquiridos pelos alunos nos capítulos anteriores, a ATIVIDADE 01 tem como objetivo fazer um novo mapa conceitual/mental sobre o tema HOLOGRAMA. Em seguida, por meio de um vídeo, serão introduzidas novas técnicas de holografia que seguem alguns dos princípios apresentados no Fantasma de Pepper. Nesse novo mapa podem ser incluídos o Fantasma de Pepper, os conceitos de óptica, conceitos de eletrodinâmica e alguns dos hologramas que surgiram no século XXI, além de hipóteses para explicar o funcionamento desses novos hologramas.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Esta atividade tem como objetivo principal fazer com que os conceitos aprendidos em todos os capítulos anteriores se tornem novos subsunçores, que darão continuidade à expansão de conhecimentos por meio da introdução de novos temas e contextos.

- ✓ Escrever no centro de um papel sulfite "HOLOGRAMA" e, com os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores, montar um mapa conceitual/mental desse tema.
- ✓ Assistir o vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

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

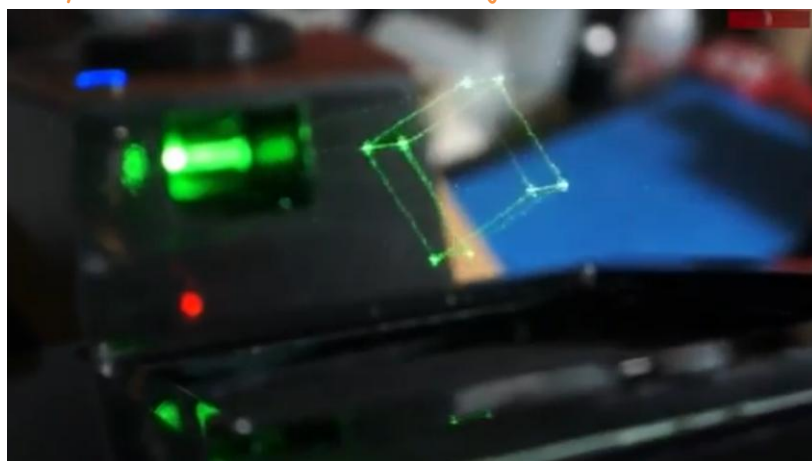


Figura 90: Trecho do vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

- ✓ Evidenciar, com o auxílio dos alunos, todos os tipos de hologramas apresentados no vídeo e anotá-los no quadro.
- ✓ Ao finalizar este novo mapa conceitual/mental, colocar nas bordas da folha o nome das técnicas de holografia, vistas no vídeo.
- ✓ Relacionar os conceitos colocados para o FANTASMA DE PEPPER que também podem estar envolvidos na produção de cada um dos hologramas do século XXI apresentados.

REFERÊNCIAS

- i Dicionário Michaelis. Holograma. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?id=e33QW>
- ii Dennis Gabor. Holography, 1948-1971. Nobel Lecture, December 11, 1971. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/gabor-lecture.pdf>
- iii História da Holografia. Disponível em: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist178691/cav/sample-page/>
- iv Wikipédia - Pepper's ghost. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper's_ghost
- v Magia Naturalis - Natural Magick de Giambattista della Porta. Disponível em: <https://holybooks-lichtenbergpress.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Natural-Magick.pdf>
- vi Contributor: [The Editors of Encyclopædia Britannica](#). Article Title: Giambattista della Porta. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: janeiro 31, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Giambattista-della-Porta>
- vii Dictionary of National Biography, 1885-1900 , Volume 15 - Dircks, Henry by Charles William Sutton. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_\(DNB00\)](https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_(DNB00))
- viii Dictionary of National Biography, 1901 supplement - Pepper, John Henry by Thomas Seccombe. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_\(DNB01\)](https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_(DNB01))
- ix 15 coincidências provam que o acaso gosta de brincar com nossos olhos. O reflexo cria a ilusão de alguém sentado no carro. Disponível em: <https://webcuriosos.com.br/2018/05/29/coincidencias-o-acaso/>
- x 10 reflexos de imagens mais curiosas da internet. Disponível em: <http://olhaquilo.blogspot.com/2016/12/10-reflexos-de-imagens-mais-curiosas-da.html>
- xi Janela Em Vidro Temperado Para Sala E Cozinha Verde Ou Fume. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1051764075-janela-em-vidro-temperado-para-sala-e-cozinha-verde-ou-fume-_JM
- xii Janela Blindex Vidro Temperado 1.50 X 1.00. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-882307126-janela-blindex-vidro-temperado-150-x-100-_JM?quantity=1
- xiii Física Animada - Imagem Virtual (Espelho Plano). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sdEWuV6pt9E>
- xiv Pepper's Ghost - Halloween Ghosting by: James Hobson. October 6, 2013. Disponível em: <https://hackaday.com/2013/10/06/peppers-ghost-halloween-ghosting/>
- xv Monga, a verdadeira mulher-macaco Por Paulo Terron. Acessado em 31 out 2016, 18h36 - Publicado em 31 dez 2007, 22h00. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/monga-a-verdadeira-mulher-macaco/>
- xvi Julia Pastrana: Monga, a mulher macaco. Publicado por Eudes Bezerra 25/06/2014, atualizado em 16/03/2019. Disponível em: <https://incrivelhistoria.com.br/julia-pastrana-monga/>
- xvii IMDb - Lisbela e o Prisioneiro (2003). Disponível em: https://www.imdb.com/title/tt0367975/?ref_=fn_al_tt_1
- xviii HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011.
- xix HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 22. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xx HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 23. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xxi HALLIDAY, RESNICK, WALKER. Fundamentals of Physics. 5E. Extended. Wiley, 1997.
- xxii Contributor: [The Editors of Encyclopædia Britannica](#). Article Title: Charles-Augustin de Coulomb. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 19, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Augustin-de-Coulomb>
- xxiii Universia ENEM - Texto: Lei de Coulomb. Disponível em: <https://www.sistemanovi.com.br/basenovi/image/ConteudosDisciplinas/33/66/339/301639/balanca-torca.png>
- xxiv Contributor: [L. Pearce Williams](#). Article Title: Michael Faraday. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 21, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>
- xxv Contributor: [The Editors of Encyclopædia Britannica](#). Article Title: Georg Ohm. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: julho 02, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Georg-Ohm>
- xxvi OnThisDay - Hindenburg Burns in Lakehurst Crash; 21 Known Dead, 12 Missing; 64 Escape . Disponível em: <http://movies2.nytimes.com/learning/general/onthisday/big/0506.html>

SÉRIE
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

VOLUME 1 – **Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms**
Wanderley Marcílio Veronez, Gelson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira,

VOLUME 2 – **O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna**
Marilene Probst Novacoski, Luiz Américo Alves Pereira, Gelson Biscaia de Souza

VOLUME 3 – **Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday** Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro

VOLUME 4 – **Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol**
Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio

VOLUME 5 – **Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano**
Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 6 – **Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária**
Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 7 – **Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton**
Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 8 – **O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais**
Ademir Krepi Henisch, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 9 – **Física Nuclear e Sociedade**
Tomo I – **Caderno do Professor**
Tomo II – **Caderno do Aluno**
Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 10 – **Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento**
Tomo I – **Caderno do Professor**
Tomo II – **Caderno do Aluno**
Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 11 – **Montagem de um Pannel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua**
Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti

VOLUME 12 – **Nas Cordas dos Instrumentos Musicais**
Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires

VOLUME 13 – **O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas**
Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 14 –
Tomo I – **Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física**
Tomo II – **Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii**
Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 15 – **O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos**
Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 16 – **Acústica: Uma Nova Melodia de Ensino**
Elano Gustavo Rein, Luiz Antônio Bastos Bernardes

VOLUME 17 – **Caderno de Orientação a Educadores para a Transformação da Horta como Eixo Norteador de Ensino e Aprendizagem**
Roberto Pereira Strapazzon Bastos, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 18 – **Proposta de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas para o Ensino de MRU e MRUV Utilizando Experimentos Visuais**
Gustavo Miguel Bittencourt Morski, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 19 – **Cor à Luz da Física Moderna e Contemporânea**
Marcos Damian Simão, André Maurício Brinatti

VOLUME 20 – **Aplicação do Experimento de Hertz Atualizado no Ensino de Ondas Eletromagnéticas**
Luis Carlos Menezes Almeida Júnior, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 21 – **Uma Proposta de Aplicação do Ensino de Termodinâmica no Ensino Fundamental I**
Cláudio Cordeiro Messias, Paulo César Facin

VOLUME 22 – **Uma Proposta de Ensino dos Conceitos Fundamentais da Mecânica Quântica no Ensino Médio: Espectroscopia com Lâmpadas**
Evandro Luiz De Queiroz, Antônio Sérgio Magalhães de Castro, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 23 – **Produção de um Aparato Experimental para Medição de Campo Magnético Usando Arduino**
Ivonei Almeida, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 24 – ***Um Pouco Sobre a Natureza das Coisas***

Robson Lima Oliveira, André Maurício Brinatti

VOLUME 25 – ***Equilibrium: Uma Abordagem Experimental e Contextualizada do Conceito de Equilíbrio dos Corpos***

Osni Daniel De Almeida, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 26 – ***Como Medir a Temperatura do Sol? Inserindo Conceitos de Física Moderna no Ensino Médio***

Vilson Finta, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 27 – ***Elaboração de um Produto Educacional para a Materialização de Conceitos no Aprendizado de Óptica Geométrica Aplicada às Anomalias da Visão***

Danilo Flügel Lucas, Gérson Kniphoff da Cruz

VOLUME 28 – ***Entendendo as Fases da Lua a Partir de um Material Instrucional Baseado no Método de Orientação Indireta***

Pâmela Sofia Krzysynski, Gérson Kniphoff da Cruz

VOLUME 29 – ***“PEPPER’S GHOST”: Como Ensinar/Aprender Conceitos de Física Através de uma Simples Ilusão de Óptica***

Tomo I - ***Caderno do Professor***

Tomo II - ***Caderno do Aluno***

Gilvan Chaves Filho, Luiz Antônio Bastos Bernardes

VOLUME 30 – ***O Movimento: do Clássico ao Relativístico***

Josué Duda, André Maurício Brinatti

VOLUME 31 – ***Uma Sequência Didática Abordando a Eficiência Energética: Economizando Energia na Cozinha.***

Tomo I - ***Caderno de Ensino***

Tomo II - ***Caderno de Aprendizagem***

Rosivete Dos Santos Romaniuk, Julio Flemming Neto

VOLUME 32 – ***Armazenamento e Produção de Energia Elétrica: Uma Abordagem para seu Estudo no Ensino Médio***

Jairo Rodrigo Corrêa

VOLUME 33 – ***Palestras de Astronomia para a Educação Básica***

Sergio Freitas, Silvio Luiz Rutz da Silva

Atribuição-NãoComercial-
Compartilhualgual 4.0 Internacional



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UEPG
Universidade Estadual
de Ponta Grossa

PPG  **F**
ensino de física

SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física

UEPG - PROEX