

MANUAL
DO
PROFESSOR
FOTOELETRICIDADE

Alunos: Aquino L. Espíndola
Aristides M. C. Martins
Mário R. Castro Fettuccia

Florianópolis, agosto de 1999

Índice

Prefácio	2
Pré-Requisitos	3
Justificativa	4
Objetivos	5
Objetivo Geral	5
Objetivo Específico.....	5
Aula 1.....	6
Aula 2.....	8
Aula 3.....	9
Aula 4.....	11
Aula 5.....	13
Aula 6.....	14
Aula 7.....	15
Texto de Apoio - Dopagem.....	16
Aula 8.....	20
Aula 9.....	21
Aula 10.....	22
Aula 11.....	23
Aula 12.....	24
Experimentos.....	25
Experimento I – Células de controle de luminosidade.....	25
Experimento II – Contador de interrupções.....	27
Experimento III – Como funciona uma célula fotovoltaica.....	29
Experimento IV – Fotoeletricidade – Fotoemissão.....	32
Simulações.....	34
Simulação 1.....	34
Simulação 2.....	38
Bibliografia.....	41

Prefácio

Nosso objetivo ao elaborar esta proposta é de prover os professores de segundo grau com um módulo de ensino que trate de um assunto considerado delicado: Física Moderna.

Além disso, este módulo aborda o tema de maneira diferente da tradicional, ou seja, o tratamento que damos ao assunto difere da maneira usual com o a física é apresentada no segundo grau.

Nossa escolha de apresentar um fenômeno como a fotoeletricidade, tem como razão principal o fato de que tais fenômenos se encontram no dia-a-dia de todos, mesmo que não saibamos.

Portanto, convidamos o professor a aplicar este módulo para que verifique o quanto este tema é rico e interessante.

Pré-Requisitos

Para que a proposta deste módulo de ensino seja bem sucedida, alguns pré-requisitos devem ser observados, os quais consideramos fundamentais.

Primeiramente, este módulo deverá ser aplicado a alunos do 3º ano, preferencialmente no segundo semestre. Isto porque, provavelmente, nesta etapa do curso, os alunos já terão noções básicas de eletricidade e de estrutura da matéria, esta última, estudada na disciplina de química.

O segundo requisito a ser observado é de caráter material, pois se refere a disponibilidade de computadores conectados a Internet. Sem estes computadores, uma parte essencial do módulo não poderá ser aplicada, haja visto que encontra-se na Internet. Advertimos ao professor que o número de computadores deverá ser compatível com o tamanho da turma em que a proposta será aplicada. Aconselhamos a operar com no máximo quatro alunos por computador, pois acima deste limite, haverá uma sensível queda na qualidade das aulas relacionadas à informática.

O último, mas não menos importante requisito, diz respeito ao conhecimento do professor sobre informática. Nossa proposta não foi elaborada pensando em *experts* em informática. Entretanto, um conhecimento mínimo a respeito do sistema operacional Windows e de algum software de navegação para Internet é indispensável.

Justificativa

O dia a dia de todos nós está permeado de tecnologia. Desde equipamentos mais simples até os mais sofisticados, fazemos uso da tecnologia sem que na maioria das vezes, sequer saibamos o princípio de funcionamento deste aparelhos.

Assim sendo, enfocamos nosso módulo de ensino no efeito fotoelétrico e efeitos correlatos. Tendo em vista a quantidade de equipamentos que fazem uso destes fenômenos, consideramos importante abordá-lo no curso de física do 2º grau. Desta forma, estaremos não só introduzindo um assunto relacionado com o cotidiano do aluno, mas também estaremos tratando de um tópico de Física Moderna, o qual quase nunca é apresentado aos alunos secundaristas.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Dar uma introdução ao efeito fotoelétrico, fotovoltaico e fotoresistivo/condutoivo.

Objetivo Específico

Espera-se que após aplicarmos este módulo de ensino o aluno tenha:

- compreendido a dualidade onda partícula;
- relacionado a importância do modelo dual da luz na explicação dos fenômenos propostos neste módulo de ensino;
- estabelecido a conexão entre os modelos que aprendeu e seus respectivos empregos tecnológicos.

AULA 1

Motivação Inicial: Apresentação dos experimentos conforme descrição abaixo.

Objetivo: Os experimentos têm como objetivo apresentar a fenomenologia dos temas que serão abordados neste módulo de ensino.

A leitura do texto objetiva apresentar uma série de equipamentos cujo funcionamento sempre envolve luz. Desta maneira, pretendemos aguçar a curiosidade dos alunos, pois estes tentarão entender e explicar a relação da luz com funcionamento de tais equipamentos.

Metodologia: A aula é iniciada com a demonstração dos experimentos mencionados acima, que devem estar previamente pronta. A idéia principal é exibir os fenômenos de maneira que os alunos possam visualizá-los e relacioná-los com o texto I, cuja leitura será feita posteriormente. Entretanto, nesta fase, não pretendemos explicar tais fenômenos através dos modelos existentes.

Em seguida distribui-se para os alunos o texto I. É necessário que se dê algum tempo para que os estudantes possam fazer a leitura individual do texto. Logo após a leitura, pede-se aos alunos que respondam o questionário 1, que se encontra no manual do aluno, e que também tragam novos questionamentos para serem discutidos na próxima aula.

Experimentos

Experimento I: “Células de controle de luminosidade”

Objetivo: Demonstrar o funcionamento de uma célula fotoelétrica.

Experimento II: “Contador de interrupções”

Objetivo: Apresentar aspectos básicos de circuitos contadores, usando a luz.

Experimento III: “Como funciona uma célula fotovoltaica (Solar)”

Objetivo: Demonstrar que a luz pode gerar corrente elétrica.

- ◆ Os esquemas de montagem dos experimentos, bem como o procedimento para sua utilização encontram-se na seção experimentos.

AULA 2

Objetivo: Discutir as respostas dos alunos, após a leitura do texto I e tentar captar as concepções alternativas para discuti-las em classe. Nesta mesma aula, será tratado o modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio.

Metodologia: O professor deverá incentivar e conduzir o processo de *brainstorming*, anotando no quadro as respostas. Sugerimos que o professor encaminhe a discussão para o modelo atômico, incluindo cargas e campos, levando a discussão para a interação da luz com a matéria. Nesta etapa, não deverão ser abordados detalhes dos modelos, apenas a fenomenologia, relacionada com a discussão, como por exemplo, a fotossíntese e a fotografia. Em seguida, o professor deverá analisar, com a turma, as possíveis respostas para explicar os fenômenos, tentando, a partir daí, construir um modelo.

AULA 3

Objetivo: Utilizar simulações de computador, sendo que o aluno é que deverá operá-las, com o intuito de que a partir destes softwares, os alunos tentem explicar o que ocorre, baseando-se nos modelos de já conhecem, mesmo que este conhecimento seja superficial.

Metodologia: O primeiro cuidado a ser tomado, relaciona-se com o número de alunos por computador, o qual não deverá ser mais do que 4. Isto se deve ao fato de que com um número acima de 4 alunos por computador, a participação e aproveitamento de cada aluno, poderá ser comprometida.

O endereço Internet de acesso destes aplicativos, bem como seus comandos traduzidos e explicados, encontram-se na seção simulações no manual do aluno.

O professor deverá explicar a função de cada comando, deixando claro para os alunos como estes comandos interferem no funcionamento do aplicativo. Cada aluno do grupo, um por vez, deverá alterar os parâmetros de funcionamento do aplicativo. Cabe ao professor orientá-los para que anotem os dados na sua tabela (ver tabela de anotações no manual do aluno) somente quando ocorrem mudanças substanciais no comportamento do aplicativo. Entendemos como mudança substancial, uma alteração dos resultados superior a 10% na variável acompanhada pelo aluno.

O mesmo procedimento deverá ser empregado para a simulação nº 2.

Após as simulações, o professor deverá solicitar aos alunos que leiam individualmente o texto II, “A Natureza da Luz”, ou, caso não haja tempo, sugerir que a leitura seja feita em casa.

Os resultados das simulações e da leitura serão discutidos na próxima aula.

Obs.: Na simulação nº 2, o amperímetro não funciona corretamente. Portanto, não deverá ser levado em conta como uma variável a ser observada. Este amperímetro só movimentará seu ponteiro, quando o comprimento de onda é muito curto.

AULA 4

Objetivo: Discutir com os alunos suas concepções sobre os fenômenos observados nas simulações. Também pretendemos enfatizar as características da luz que foram mostradas, trazendo-as para discussão dos modelos de luz como onda e partícula.

Metodologia: A aula deverá iniciada com a leitura do texto III, “Teoria Corpuscular da Luz”.

Enfatizar, principalmente, o modelo de luz como partícula. Frisar que o modelo ondulatório não consegue explicar os fenômenos observados nas simulações. Isto poderá ser feito, associando-se o que foi visto nas simulações com o texto II e III O professor deverá apresentar aspectos históricos envolvendo o experimento do efeito fotoelétrico, para que o aluno passe a perceber a necessidade da explicação baseada em um novo modelo, o quântico. Utilizar o questionário abaixo como forma de problematização inicial, com o intuito de iniciar a discussão. Este questionário também se encontra no manual do aluno, para que o mesmo o responda.

Questionário¹

1. Imagine-se em uma praia num dia ensolarado, utilizando um guarda-sol para se proteger dos raios solares. Se por acaso começasse a chover, você poderia utilizar o guarda sol como guarda-chuva? Por quê?
2. O que é necessário para que enxerguemos um objeto?

¹ Questionário extraído módulo de ensino de OFUGI, Danial et alli, elaborado para a disciplina de Instrumentação para O ensino de Física II – UFSC.

3. Existe alguma relação entre a forma de um objeto e sua sombra?

4. O morcego é um animal praticamente cego e que se guia através de sons de frequência muito alta (ultra-som) que ele emite, incidindo nos objetos e refletindo de volta para ele. Seria possível fazer alguma relação entre a nossa forma de enxergar e a do morcego?

5. Suponha que você passará toda a manhã e tarde na praia, mas não quer tomar sol. Você e o guarda-sol poderiam permanecer sempre na mesma posição? Como essa situação poderia ser contornada?

6. Por que enxergamos distorcido quando observamos um objeto que se situa atrás de vidro ondulado?

AULA 5

Objetivo: Apresentar conceitos básicos da estrutura da matéria, tais como o átomo de Bohr, níveis de energia e idéias físicas básicas sobre os condutores e isolantes elétricos.

Metodologia: Recordar o conceito de átomo de Bohr, utilizando o texto IV, “O átomo de Bohr”, com o intuito de abordar a idéia de níveis de energia. O professor deverá aplicar este conceito a um agrupamento de átomos, explicando como se forma um condutor. Ressaltar que o modelo de sólido metálico reduz a zona proibida que aparece em um átomo isolado, dando a idéia de que existindo um campo elétrico, os elétrons livres existentes no condutor podem circular.

A idéia de campos poderá ser tratada comparando-se o efeito do campo elétrico com o campo gravitacional. É fundamental que seja abordado o conceito de trabalho nos dois campos.

O professor deverá pedir aos alunos que leiam o texto complementar I, “Efeito Fotoelétrico”, objetivando familiarizar o aluno com o processo fotoelétrico.

AULA 6

Objetivo: Apresentar o modelo de condutores e isolantes elétricos, vinculando esta idéia ao modelo do átomo de Bohr.

Metodologia: Deve-se fazer a leitura do texto V, “Condutores e Isolantes”, para posteriormente discutir o papel desempenhado pela camada de valência nas propriedades elétricas (8 elétrons isolante, 1 elétron condutor). É importante frisar o papel da camada de valência para que se possa estabelecer as diferenças entre condutor e isolante.

Sugerimos ao professor que faça a comparação entre os condutores metálicos, que possuem um elétron na camada de valência, e o gases nobres, cuja camada de valência está completa, tornando-os bons isolantes.

AULA 7

Objetivo: Introduzir o conceitos de semicondutores, mostrando que estes se situam, em termos de condução, entre os condutores e os isolantes.

Metodologia: A idéia de semicondutor pode ser apresentada, explicando-o como modelo intermediário entre o condutor e o isolante. Para isso, utilizaremos o texto VI, “A Corrente Elétrica”, que além de tratar de semicondutores, faz uma revisão dos conceitos de condutores e isolantes. É importante acrescentar a questão de que a condução do material semicondutor depende da temperatura, aumentando com esta. O conceito de campo elétrico pode ser utilizado facilitar o entendimento da polarização e, também ser associado a deformação do perfil de níveis de energia eletrônicos. O professor também poderá tratar do efeito da adição de impurezas, as quais provocam a diminuição da zona proibida dos semicondutores. Caso ache necessário, o professor poderá ler a respeito da adição de impurezas no texto de apoio intitulado “Dopagem”, que se encontra neste manual.

Para explicar o conceito de diodo, faz-se necessário abordar as junções entre blocos de semicondutores com níveis de impurezas diferentes.

O professor poderá sugerir aos alunos mais interessados uma leitura complementar, utilizando o texto leitura complementar II, “Semicondutores”.

Texto de Apoio

Dopagem

A maioria dos semicondutores tem uma condutividade extremamente sensível à presença de impurezas. Resulta daí que duas amostras de um tal material, com mínimas diferenças percentuais de impurezas (as vezes nem registradas numa análise química), apresentam valores de condutividade, centenas de vezes diferentes entre si. Por esta razão, o controle das concentrações de impurezas é extremamente crítico, eleva a concentração de 1 impureza para 10^7 ou mesmo 10^9 partes de material básico. Assim, no processo de dopagem, em que o semicondutor é criado com a predominância de cargas positivas (semicondutor p) ou negativas (semicondutor n), é necessário se partir de um material extremamente puro. Vejamos como se formam estes semicondutores p e n.

A Fig. 1 representa o caso em que associamos, um material básico, isolante, tetravalente, no caso o silício (Si) com o antimônio (Sb). O silício é tetravalente e o antimônio pentavalente, de modo que, apenas 4 dos 5 elétrons participam das ligações de valência, ficando livre 1 dos elétrons num movimento próprio de rotação, e, não estando fixo na sua posição, poderá ser deslocado com uma facilidade muito maior do que qualquer outro elétron.

Reportando-nos á representação dos níveis de energia, temos a Fig. 2. O elétron livre, indicado como o 5º elétron do átomo do antimônio, possui seu próprio nível de energia a uma pequena distância abaixo da camada ou banda de condução do cristal de silício, do que se conclue que, mesmo a presença de uma pequena quantidade de energia externa levará este elétron ao deslocamento. Generalizando, o acréscimo de átomo de antimônio elevará a condutividade do material Si-Sb, numa variação direta com o numero de átomos de Sb acrescidos.

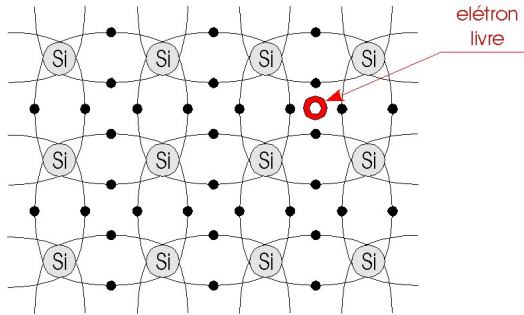


Fig. 1 – Uma impureza de antimônio (Sb) dissolvida em uma cristal de silício (Si) mantém um elétron livre, não associado à estrutura.

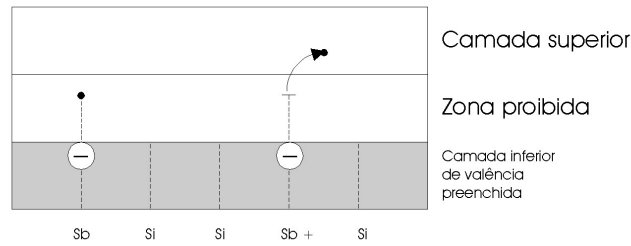


Fig. 2 – O elétron livre de Sb, se desloca na zona proibida, podendo, mediante um acréscimo de energia, entrar para a camada superior.

Este excesso de elétrons nos leva a uma mistura eletronegativa, representada por n e também chamada de camada “doadora”.

Uma outra situação, é a em que acrescentamos ao material de valência IV, um elemento de valência III. Por exemplo, silício (Si) com índio (In), como vem representado na Fig. 3. O índio é trivalente; assim, uma das ligações do silício ficará com falta de um elétron. A falha resultante não é idêntica a uma lacuna, porém a situação em questão poderá dar origem a uma lacuna, como veremos analisando o posicionamento aos elétrons de valência do Si e do In, vemos que, 3 elétrons de silício formam pares, bastante estáveis, enquanto 1 elétron de Si ficará sem par, e como tal, menos ligado à estrutura. O que quer dizer, que o seu deslocamento se poderá dar com mais facilidade ou com menor elevação do nível de energia, do que com os demais 3 pares Si + In. Por outro lado, esta vaga de 1 elétron poderá fazer com que elétrons de átomos de Si vizinhos à ligação analisada se desloquem até a vaga, necessitando para isto

apenas pequena quantidade de energia térmica, deixando portanto uma lacuna na estrutura de silício, de onde saiu.

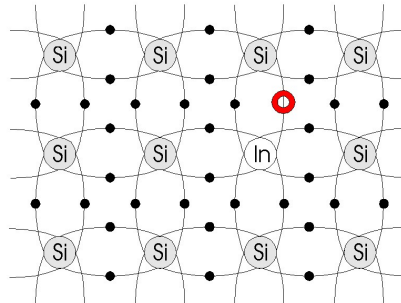
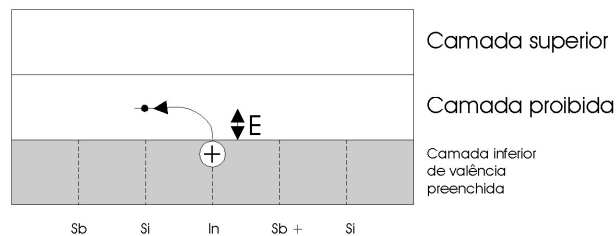


Fig. 3 – Um átomo de Índio (In) associado ao cristal de silício, deixa 1 ligação de valência livre.

Fig. 4 – A lacuna (livre) do Índio pode ser imaginada como uma carga positiva pouco abaixo do nível



superior da camada de valência, podendo ser ativado e entrar na zona proibida.

Em termos de níveis de energia, a Fig. 4 representa esta situação. A vaga que existe na camada da valência ligada ao átomo de índio, deve ser considerada como a responsável pelo posicionamento de uma lacuna (positiva) a um nível pouco abaixo do limite superior da camada inferior. Entretanto, um elétron da estrutura circundante de silício pode ser ativado até este nível, deixando uma lacuna no seu lugar original.

Este processo de ativação ocorre com quantidades de energia pequenas, geralmente de natureza térmica, e representada por E no diagrama, entretanto na zona proibida e, eventualmente, dependendo dos níveis externos de energia presentes, passando à banda de condução.

Do exposto, concluímos que os semicondutores podem ser do tipo:

- a) Semicondutores intrínsecos, onde a impureza está presente porcentagem muito pequena e onde a condutividade é devida a igual número de elétrons livres na camada

superior e de lacunas livres camada inferior, produzidos por ativação térmica dos elétrons através da zona ou camada proibida.

- b) Semicondutores com impurezas, com excesso de elétrons onde a condutividade depende destes elétrons na camada superior, como resultado da ativação de elétrons livres de ligações doadoras, de átomo de valência IV + V, e sua indicação é feita por *n*.
- c) Semicondutores com impurezas, com excesso de lacunas, cuja condutividade resulta da combinação de valências III + IV, portanto, com falta de elétrons, e um excesso assim de cargas positivas. Seu tipo é eletropositivo, sua indicação é p, e é chamado de ligação receptora.

E importante que, apesar do processo intrínseco sempre estar presente, sua influência é superada pela ação das impurezas dos semicondutores n e p.

AULA 8

Objetivo: Introduzir, detalhadamente o modelo fotoelétrico tipo fotoemissivo.

Metodologia: Tendo em vista que o modelo de condutores elétricos já foi apresentado na aula anterior, podemos passar a tratar o efeito elétrico, utilizando o texto VII, “Fotoeletricidade”. A leitura poderá ser feita individualmente em sala de aula. O professor deverá fazer uma explanação do modelo, enfatizando conceitos como energia do fóton, função trabalho e energia cinética do fotoelétron emitido. Após a apresentação do modelo, usando o conhecimento obtido nas etapas anteriores do módulo de ensino, deve ser realizada, pelo professor, a experiência IV, ilustrando questões como tensão de corte e frequência de corte. Esta experiência, bem como a forma como deverá ser conduzida, encontra-se na seção experimentos com o título fotoemissão. A próxima etapa do processo, consiste na execução do experimento por parte dos alunos, cujo intuito é verificar se os mesmo entenderam o seu funcionamento.

AULA 9

Objetivo: Apresentar de forma simplificada os efeitos fotoelétricos do tipo fotocondutivo e fotovoltáico, bem como os modelos associados a estes fenômenos.

Metodologia: O modelo fotocondutivo deve ser apresentado reutilizando o experimento I. Deve-se seguir os mesmos passos executados na aula 1. A diferença desta aula em relação a aula 1, é que agora elaboraremos um modelo que explique o fenômeno. Este modelo está descrito brevemente na introdução do experimento correlato Recomendamos que o professor utilize filtros de luz (plásticos de diversas cores), para modificar o feixe de luz recebido pelo fotoresistor, para que o aluno verifique como o aparelho se comporta.

Para apresentar o modelo fotovoltáico, o professor terá que executar o experimento com uma célula de tipo solar, mostrando as tensões geradas em vazio (sem carga) e com carga variando também a iluminação recebida pela placa.

O professor deverá salientar alguns pontos importantes tais como: 1) mostrar a diferença de tensão com e sem carga entre os terminais de saída da placa. 2) Usando um dímmer² eletrônico comum, controlar a intensidade da luz, mostrando os efeitos na corrente de carga quando aumenta ou diminui a intensidade da luz.

² Dímmer é um controlador eletrônico de luminosidade para lâmpadas incandescentes.

AULA 10

Objetivo: Reconstrução do conhecimento voltada para o cotidiano.

Metodologia: Explicar as diversas aplicações práticas do efeito fotoelétrico do ponto de vista de quem possui a modelagem atual . Retomar o texto “Funciona com a luz, o que é isto?”. Nesta etapa do curso, sugerimos que o professor divida a turma em três grandes grupos. Cada grupo receberá apenas um dos seguintes textos:

- 1) Leitura complementar III – “Dispositivos Fotoelétricos”
- 2) Leitura complementar IV – “Comunicação e Controle com Luz Infravermelha”
- 3) Leitura V – “A Fotocopiadora”

O propósito é que cada grupo, partindo do texto que recebeu, pesquise em diversas fontes o assunto deste texto. Os grupos apresentarão seus trabalhos na próxima aula.

AULA 11

Objetivo: Apresentação dos trabalhos.

Metodologia: Tendo em vista que a turma está dividida em três grupos, dispomos de 10 minutos para que cada grupo apresente seu trabalho. Sobrará algum tempo algum tempo para perguntas e respostas. A cada questionamento novo ou mesmo repetido feito pelos alunos, o professor deverá tentar vincular os fenômenos com os modelos apresentados durante este módulo.

AULA 12

Objetivo: Avaliação e fechamento do curso.

Metodologia: Devem ser inicialmente respondidas as questões pendentes da apresentação da aula anterior. Feito isto, devem ser avaliados por cada grupo de alunos o trabalho dos demais, atribuindo a estes notas para as apresentações. No fechamento do curso, deve ser avaliado o trabalho do professor quanto aos itens de clareza, conhecimento, método e relacionamento pessoal.

EXPERIMENTOS

Experimento I: Células de controle de luminosidade.

Componentes	Quantidade
• Rele fotoelétrico modelo RM10 NF	01
• Lâmpada incandescente 25 W	01
• Soquete para lâmpada de rosca	01
• Plug para alimentação	01

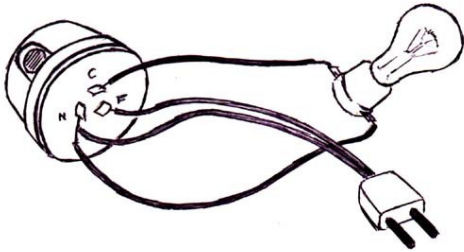
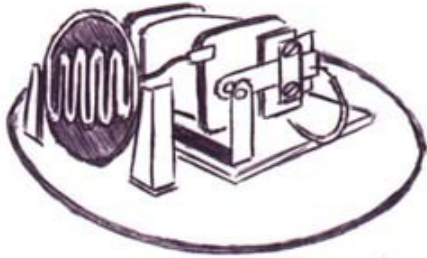
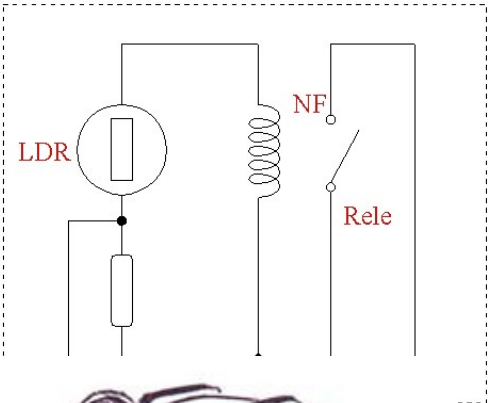
- Outros: fios, solda, fita adesiva ou cola, furadeira ou similar.

Como funciona: Ao incidir luz na janela do rele fotoelétrico, a resistência do LDR³ diminui, deixando passar corrente, a qual acionará o rele. O rele, por sua vez, desliga os contatos, apagando a lâmpada.

Montagem: Solde ou prenda uma fita com fio fase, na parte debaixo do rele, onde marcado F. Em seguida, prenda o fio neutro na marcação N, mantendo contato com um dos fios que saem do soquete da lâmpada. Finalmente, conecte um último fio em C. Veja a montagem na figura 1.

³ LDR do inglês *Light Dependent Resistor* – Resistor dependente da luz.

Esquemas



Experimento II: Contador de interrupções

Introdução: Nesta experiência usaremos um conjunto ótico composto de um diodo emissor de luz (LED) e um fotodiodo. A idéia do experimento é contar em uma calculadora o número de vezes que um objeto passa entre o feixe de luz.

Componentes	Quantidade
• Conjunto ótico (sensor) de impressora (sensor ótico de fim de curso). Pode ser obtido em sucata de informática ou casas especializadas.	01
• Pilhas pequenas tipo AA.	02
• Suporte de pilhas.	
• Placa universal (perfurada).	01
• Resistor de 66Ω .	01
• Calculadora comum a pilha.	01
• Plug pino banana macho pequeno.	01
• Jack banana fêmea	01

- Outros: fios, solda, fita adesiva ou cola, furadeira ou similar.

Como funciona: Ao alimentarmos o LED, este emite um feixe de luz que sensibiliza o fotodiodo. Ao receber o feixe de luz, o fotodiodo altera sua resistência, levando a uma valor próximo de zero. Desta forma, esta resistência funciona como uma chave liga-desliga dependente da luz.

Montagem: Os terminais do fotodiodo serão soldados, se possível, ou colados em paralelo com chave referente ao sinal de igual da calculadora. Assim sendo, o fotodiodo funcionará da mesma forma que tecla igual. Toda vez que um objeto interferir no feixe ótico a tecla de igual será sensibilizada.

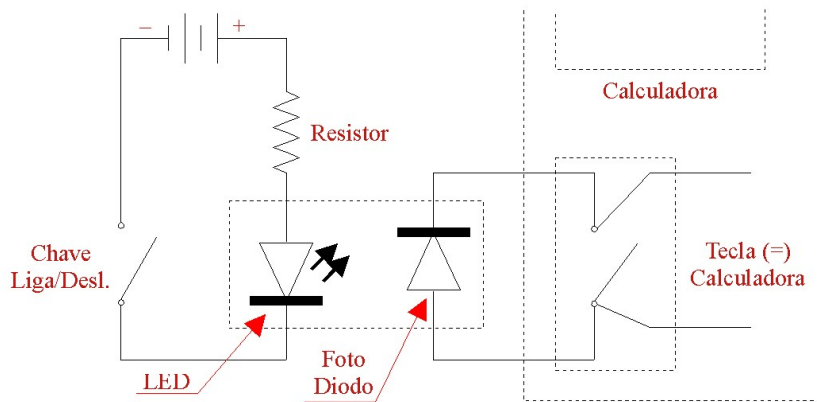
Procedimento de Contagem:

Para fazer a calculadora contar de 1 em 1, siga esta seqüência:

- a) digite o número 1 na calculadora;
- b) pressione a tecla +;
- c) digite novamente o número 1.

Agora, toda vez que o feixe for desobstruído, a calculadora somará o valor do número digitado no item c. Em outras palavras, como no item a inserimos o número 1 e no item c também 1, a conta será efetuada, sempre somando mais um.

Esquemas



Experimento III: Como funciona uma célula fotovoltaica (Solar)

Introdução: A célula solar é um fotodiodo com grande área de exposição à radiação luminosa, cuja operação se dá em condições de fornecer energia a uma carga na junção. Assim, o fotodiodo converte energia luminosa em energia elétrica.

O modelo fotovoltaico (célula solar) funciona com uma junção de material silício N e com outra junção de material silício P (dopados). A camada superficial é fina e transparente de forma que a luz possa chegar até a junção das duas regiões onde os fótons são absorvidos liberando cargas de suas ligações atômicas. Estas cargas migram para os terminais do bloco correspondente, elevando o potencial entre as duas placas. Com circuito em aberto é possível atingir tensões de 0,6 – 1,0 volts. Atualmente, as melhores células solares comerciais são feitas de silício cristalino, com estrutura mostrada na figura abaixo.

A junção é formada por uma fina camada tipo n. Sendo fina, a região n deixa passar radiação luminosa incidente num amplo espectro de frequência. Para aumentar a área de exposição e ao mesmo tempo manter baixa a resistência de contato, o eletrodo superior é feito na forma de um pente, com dente finos, como mostrado na figura.

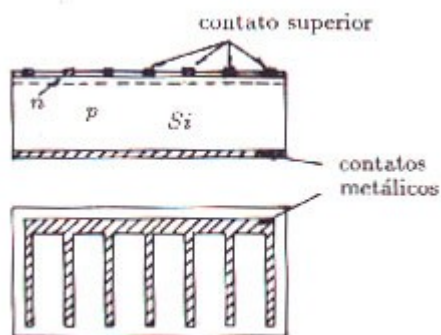
As melhores células solares de silício tem eficiência de conversão que se aproxima de 15%. A radiação solar no meio de um dia claro, ao nível do mar, tem intensidade na faixa de 70-80 mW/cm². Isto produz, numa célula com área de 40 cm², uma tensão de 0,6V e uma corrente de ±0,9 A. Normalmente as células solares são associadas em série ou em paralelo para produzir tensão e correntes adequados.

Componentes	Quantidade
• Placa universal	01
• Chave H-H	01
• Microamperímetro 100 μ A	01
• Célula solar 3,2 V	01
• Trimpot 10 k Ω	01
• Resistor 1,2 k Ω	01
• Resistor 10 k Ω	01

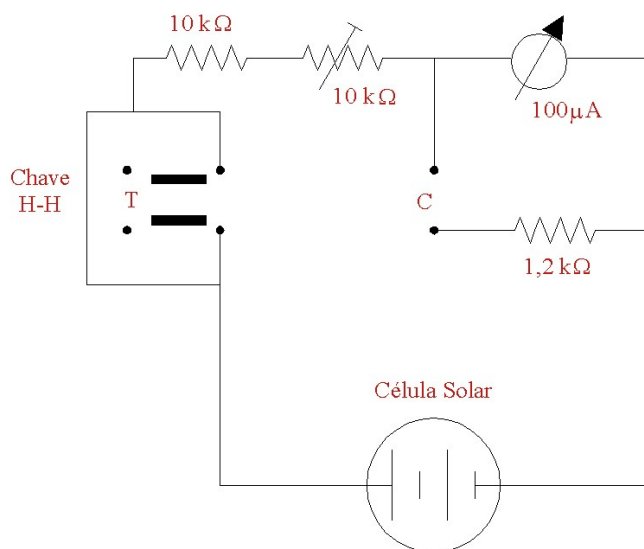
- Outros: fios, solda.

Como funciona: O microamperímetro funciona como medidor de corrente e ora como voltímetro. Sendo assim, podemos notar a sua sensibilidade para variação de corrente em relação a luz.

Montagem: Vide esquema.



Esquemas



Obs.: Quanto maior for a resistência interna do microamperímetro funcionando como voltímetro, melhor será a resposta para a experiência.

Experimento IV: Fotoeletricidade – Fotoemissão.

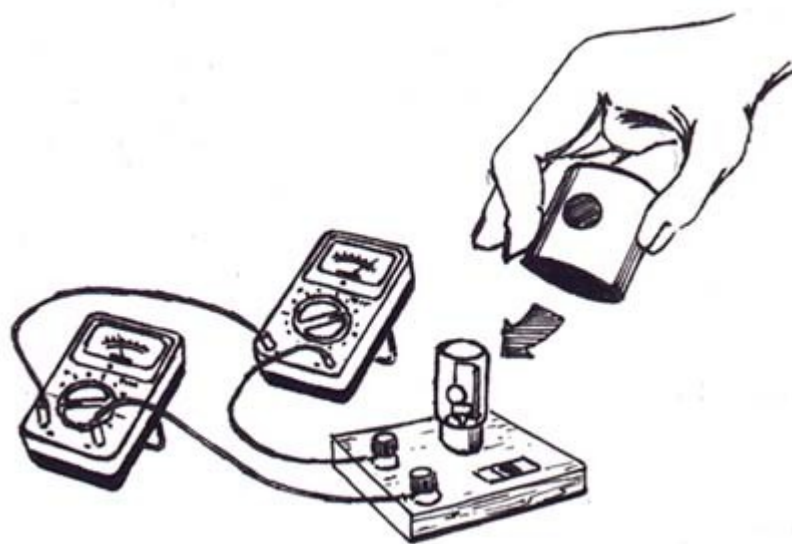
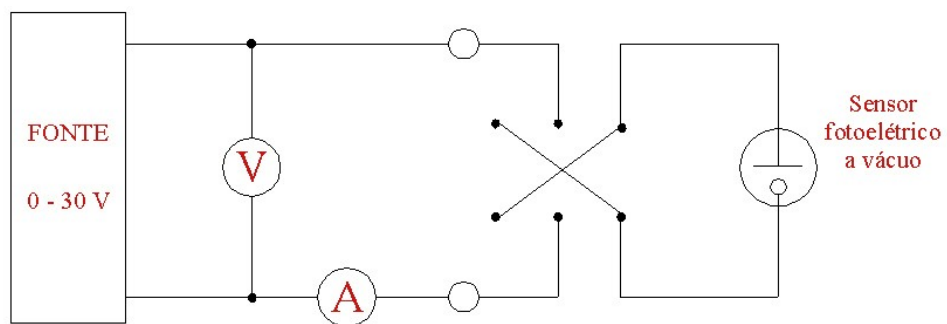
Componentes	Quantidade
• Chave H-H	01
• Sensor fotoelétrico a vácuo	01
• Conector de rosca	02
• Base de madeira 10×10 cm	01
• Apoio de borracha ou plástico (pezinho)	04
• Voltímetro	01
• Miliamperímetro	01
• Tubo de filme fotográfico	01

- Outros: fios, solda., cola.

Como funciona: Quando um feixe de luz com energia suficiente para arrancar um elétron da placa negativa do sensor, este elétron será absorvido pela placa positiva, gerando uma leitura de corrente no amperímetro. Entre a placa positiva e a negativa, existe uma ddp indicada pelo voltímetro. A chave H-H serve para mudar a polaridade da fonte. O tubo de filme será utilizado para proteger o filme contra luz do ambiente.

Montagem: Solde os terminais do sensor um em cada conector (vide esquema), passando pela chave H-H. O sensor deve estar bem preso na base de madeira. O amperímetro deve ser ligado em série e o voltímetro em paralelo com a fonte. O tubo de filme fotográfico deverá ser furado (diâmetro \approx 6 mm).

Esquemas



SIMULAÇÕES

Simulação 1

Agora você deve acessar o seguinte endereço na Internet <http://webphysics.ph.msstate.edu/ccp/27-5>.

Aguarde o carregamento do aplicativo. Enquanto isto ocorre, observe a figura abaixo. Leia a descrição e os comandos referentes a esta simulação.

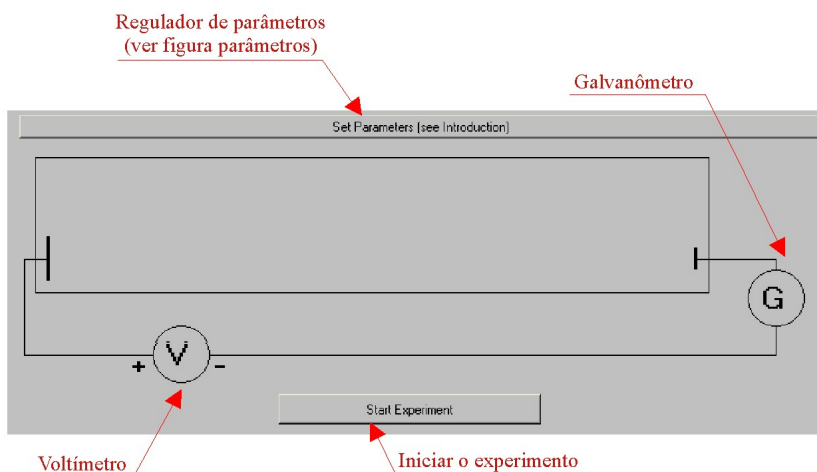
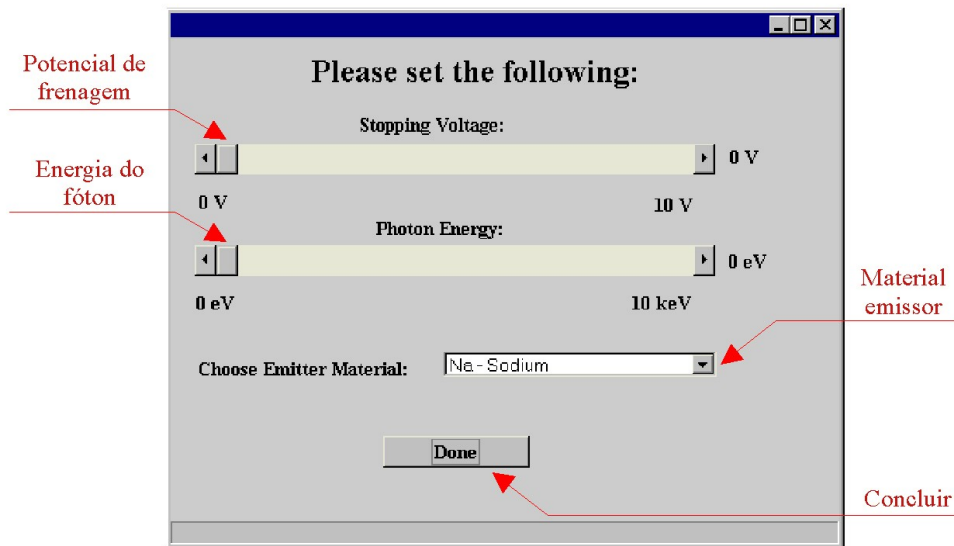


Fig. 1 – Visualização do aplicativo.

Comandos

- **Regulador de parâmetros:** Este é o principal comando desta simulação. Ao acionar este botão você abrirá uma nova janela, conforme mostrado na figura abaixo.

Fig. 2 – Regulador de parâmetros.



- **Potencial de frenagem:** Este é o valor de tensão aplicado entre as duas placas, cujo objetivo é tentar frear os elétrons emitidos.
- **Energia do fóton:** Neste comando você poderá regular a energia dos fótons que incidirão sobre o metal. Observe o que acontece quando você aumenta a energia desses fótons.
- **Material emissor:** Da mesma forma que na simulação anterior, aqui é possível escolher o tipo de metal que irá emitir os fotoelétrons.
- **Concluir:** Depois de ter feito todos os ajustes necessários, aperte neste botão para retornar a tela anterior, onde se a simulação.
- **Iniciar experimento:** Acione este botão para que o experimento seja iniciado. Todas as configurações que você usou no reguladores de parâmetros serão aplicadas aqui.

Procedimento: Novamente você deverá alterar os parâmetros de controle da simulação várias vezes. Toda vez que você perceber que algo diferente aconteceu, anote nas linhas abaixo o que aconteceu e quais parâmetros você utilizou.

Anotações

Parâmetros	Observações
Metal -	
Energia do fóton -	
Potencial de frenagem -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Energia do fóton -	
Potencial de frenagem -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Energia do fóton -	
Potencial de frenagem -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Energia do fóton -	
Potencial de frenagem -	
Energia dos fotoelétrons -	

Simulação 2

Inicialmente você deve acessar o seguinte endereço na Internet:
<http://wigner.byu.edu/Photoelectric/Photoelectric.html>.

Aguarde o carregamento total página e em seguida, compare a imagem do seu monitor com figura 1.

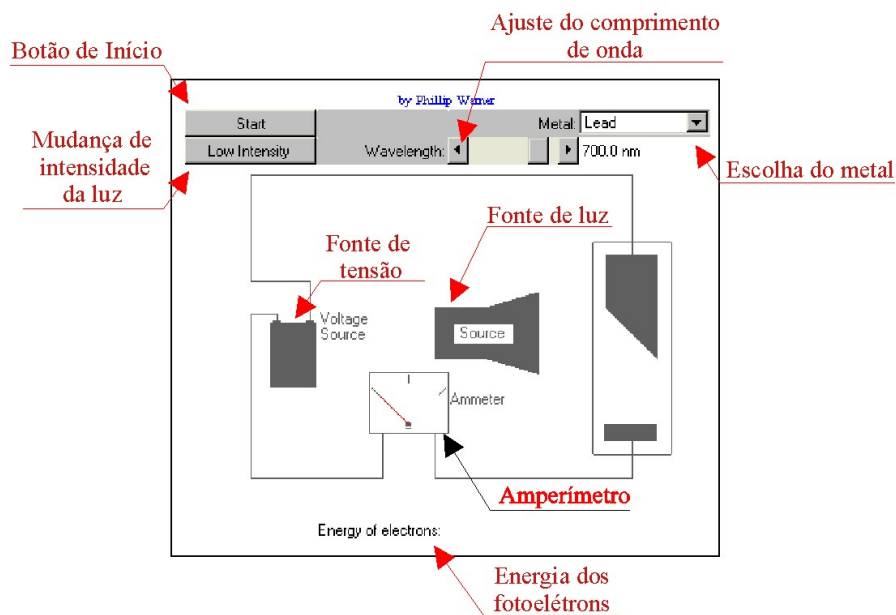


Fig. 1 – Visualização do aplicativo.

Os comandos deste aplicativo estão traduzidos na figura 1, de maneira que você se orientar através desta figura.

Comandos

- **Ajuste do comprimento de onda:** O primeiro ajuste que você deve fazer diz respeito ao comprimento de onda da luz que incidirá sobre o metal. Observe que o comprimento de onda é expresso em nm

(nanometro), ou seja, $1\text{m} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$. É importante notar que o comprimento de onda está relacionado com a energia emitida sobre a superfície metálica.

- **Escolha do metal:** Nesta caixa, você selecionar o metal que será atingido pela luz. A tradução do nome de cada metal está na tabela abaixo:

Nome	Tradução
<i>Aluminium</i>	Alumínio
<i>Berilo</i>	Berílio
<i>Cesium</i>	Césio
<i>Cooper</i>	Cobre
<i>Iron</i>	Ferro
<i>Lead</i>	Chumbo
<i>Litium</i>	

Nome	Tradução
<i>Molibdenium</i>	Molibdênio
<i>Platinum</i>	Platina
<i>Potassium</i>	Potássio
<i>Silver</i>	Prata
<i>Tungstenium</i>	Tungstênio
<i>Zinc</i>	Zinco

- **Mudança de intensidade da luz:** Neste comando você poderá alterar a intensidade da luz, tornando-a alta ou baixa.
- **Botão início:** Após ter feito todos os ajustes na etapa anterior, acione este botão para iniciar a simulação.

Procedimento: Você deverá alterar os parâmetros de controle da simulação várias vezes. Toda vez que você perceber que algo diferente aconteceu, anote nas linhas abaixo o que aconteceu e quais parâmetros você utilizou.

Anotações

Parâmetros	Observações
Metal -	
Comprimento de onda -	
Intensidade da luz -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Comprimento de onda -	
Intensidade da luz -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Comprimento de onda -	
Intensidade da luz -	
Energia dos fotoelétrons -	
Metal -	
Comprimento de onda -	
Intensidade da luz -	
Energia dos fotoelétrons -	

Bibliografia

1. Eisberg, Robert & Resnick, Robert. **Física Quântica**. Ed. Campus. Rio de Janeiro, 1994.
2. Encyclopaedia Universalis. **Editeur a Paris. Paris, France,1985**.
3. Fink, John et alli. **Standard Handbook for Electrical Engineers**. Mcgraw Hill, Tokyo, 1968.
4. Gray, Paul E. & Searle, Campbell L. **Eletronic Principles**. John Wiley.
5. **Grupo de Reelaboração do Ensino de Física**. V. 2 e V. 3. Edusp. São Paulo.
6. Halliday, David et alli. **Fundamentos de Física**. V. 4. Livros Técnicos e Científicos Editora AS. Rio de Janeiro, 1993.
7. Júnior, Francisco Ramalho et alli. **Física**. V. 2. Editora Moderna. São Paulo, 1995.
8. Kittel, Charles. **Introdução à Física do Estado Sólido**. Ed. Guanabara Dois. Rio de Janeiro, 1992.
9. Melissinos, Adrian. **Experiment in Modern Physics**. Academic Press.
10. Padilha, Ângelo Fernando. **Materiais de Engenharia**. Editora Hemus. São Paulo, 1997.
11. Paraná, D. N. **Física**. V. 2. Editora Ática. São Paulo, 1997.
12. Schmidt, Walfredo. **Materiais Elétricos**. V. 1. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1979.

13. **Scientific American Magazine**. Scientific American Inc.- Nova York - Edições de abril de 1999 e Setembro de 1968.

14. Sze, S.M. **Physics of Semiconductor Devices**. John Willey& Sons. New York.