PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

LEONARDO PEREIRA MONTEIRO

GUIA DIDÁTICO PARA O USO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE CONCEPÇÕES DA DUALIDADE DA LUZ ONDA-PARTÍCULA PARA ESTUDANTES DA 3ª. SÉRIE DO ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM COM "MICROCONTROLADORES"

CARIACICA
2017

Caro colega professor,

Esta sequência didática, dirigida principalmente a você, professor da Educação Básica e atuante do Ensino Médio, foi elaborada com o objetivo de possibilitar uma abordagem mais significativa e contextualizada para os alunos sobre a natureza da luz, mais especificamente sobre dualidade onda-partícula com Microcontroladores de modo que também ofereça aos docentes uma nova possibilidade de se trabalhar esse conteúdo sob a perspectiva de que o aluno seja sujeito ativo no desenvolvimento do seu processo de aprendizagem.

Dessa forma esperamos que, você docente, que sempre está em busca de novas estratégias e método de ensino, possa utilizar o nosso roteiro de atividades em seu planejamento didático e que ele possa contribuir positivamente no ensino do conteúdo sobre a Natureza da Luz e a dualidade onda-partícula em suas aulas.

O roteiro em questão dispõe de estratégias que irão possibilitá-lo a realizar um trabalho mais motivador e efetivo para seus alunos. Com base nos conhecimentos prévios, no ensino por investigação e na aprendizagem significativa apresentamos um novo caminho para o desenvolvimento do aprendizado da ciência em que você é o mediador da evolução do saber científico dos jovens do Ensino Médio.

Na certeza de que o trabalho contextualizado no qual a inter-relação professor/aluno e aluno/aluno facilitam e vencem os tabus de que o ensino da Física é algo muito difícil, acreditamos que as estratégias por nós apresentadas poderão contribuir de forma significativa no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que elas foram elaboradas, sobretudo, para que os alunos possam cientificamente, observar, testar, experimentar, problematizar, propor soluções e construir novos saberes.

Assim, apresentamos a seguir nossa sequência didática seguida por dicas e sugestões de aplicações.

Professor Leonardo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 3
1.1 OBJETIVO GERAL 4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
1.3 DESENVOLVIMENTO DAS AULAS 4
1.3.1 Estágio 1 - Questionário prévio (Pré-Teste) 4
1.3.2 Estágio 2 – Aula expositiva dialogada 5
1.3.3 Estágio 3 – A velocidade da luz 6
1.3.4 Estágio 4 – Radiação térmica 7
1.3.5 Estágio 5 – A constante de Planck 11
1.3.6 Estágio 6 – O efeito fotoelétrico 17
1.3.7 Estágio 7 – Questionário final (Pós-Teste) 20
2. REFERÊNCIAS 21
APÊNDICES 23

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Tema: A natureza da luz.

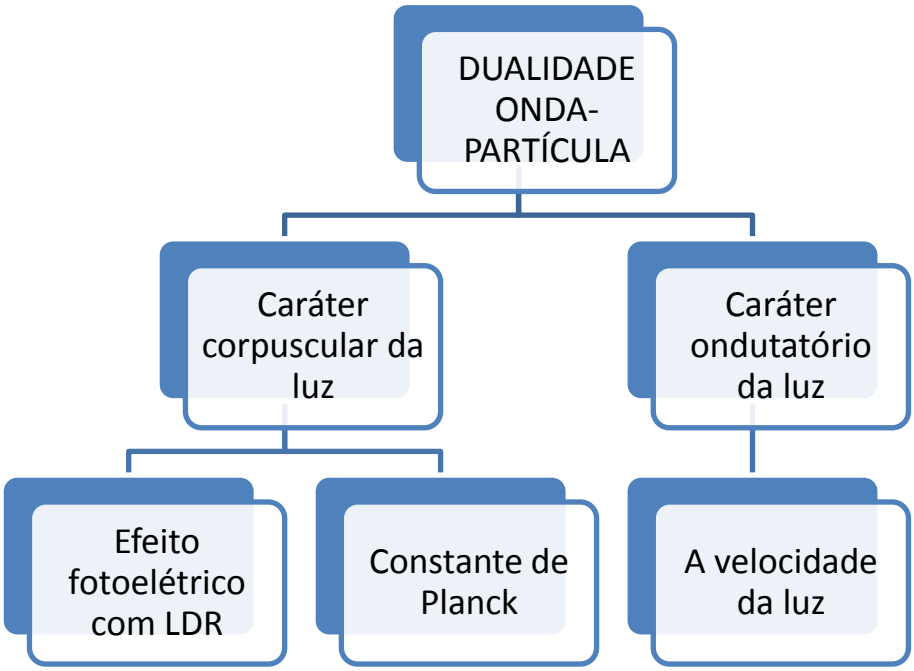
Tempo estimado: 12 aulas de 55 minutos.

Material/ambiente necessário: Projetor de imagens; um forno de micro-ondas; um prato para micro-ondas; papel para fax; réguas com escala milimetrada; experimentos com uso de microcontroladores: Kit Educacional 1, Kit Educacional 2; Kit Educacional 3; Laboratório de Ciências.

1. INTRODUÇÃO

A proposta desta sequência didática é mostrar o caráter dual da luz. O estudante de 3ª Série do Ensino Médio deverá ser capaz de responder qual é a natureza da luz utilizando o esquema abaixo:

FIGURA 01 - INTERLIGAÇÃO DOS CONCEITOS DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA



1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se a inserção de experimento de baixo custo usando “microcontroladores” modificam os modelos sobre natureza da luz para os estudantes de 3ª. Série do Ensino Médio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Verificar a concepção dos alunos sobre a natureza da luz;
- ✓ Descrever o conceito de dualidade, ondas eletromagnéticas, quantização de energia e fótons de luz a partir de situações problemas do cotidiano dos alunos por meio de aula expositiva dialogada;
- ✓ Realizar uma atividade de Laboratório Aberto para medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas;
- ✓ Realizar uma atividade de Laboratório Aberto para estudar a absorção e emissão de radiação por um corpo negro com uso de microcontrolador de baixo custo;
- ✓ Realizar uma atividade de Laboratório Aberto para obter o valor da constante de Planck a partir da luz emitida por um LED (Light Emitting Diode) com uso de microcontrolador de baixo custo;
- ✓ Realizar uma atividade de Laboratório Aberto para analisar a interação da radiação com a matéria, por meio do efeito fotoelétrico com uso de microcontrolador de baixo custo;
- ✓ Caracterizar a aprendizagem significativa adquirida pelos os alunos do 3º Ano do Ensino Médio a partir da utilização de recursos desenvolvidos e ou relacionados na proposta sobre a natureza da luz.

1.3 DESENVOLVIMENTO DAS AULAS

1.3.1 Estágio 1 - Questionário prévio (Pré-Teste)

Objetivos

- ✓ Identificar o nível de conhecimento que os alunos possuem sobre o tema, o conhecimento prévio;
- ✓ Aplicar um questionário com uma questão dissertativa em que o aluno precisa responder “o que é Luz?”.

Metodologia:

- ✓ Aplicar o pré-teste para identificar os conhecimentos prévios dos alunos. Este deve ser respondido individualmente e sem interferência do aplicador. Os recursos utilizados necessários são: folha impressa com o questionário; caneta ou lápis; borracha.

1.3.2 Estágio 2 – Aula expositiva dialogada

Objetivos

- ✓ Introduzir os conceitos físicos importantes para a compreensão de conteúdos como o da dualidade, ondas eletromagnéticas, quantização de energia e fótons de luz, utilizando uma abordagem quântica, isto é, abordando a Física envolvida nesses temas;
- ✓ Abordar os conteúdos mencionados de maneira a evidenciar os conhecimentos físicos presentes e integrantes na modernidade que fazem parte do cotidiano da sociedade moderna.

Metodologia

- ✓ Utilizar slides como recurso para auxiliar a apresentação de modo que se possibilite descrever o conceito de dualidade, ondas eletromagnéticas, quantização de energia e fótons de luz a partir de situações problemas do cotidiano dos alunos por meio de aula expositiva dialogada.

1.3.3 Estágio 3 – A velocidade da luz

Objetivo

- ✓ Medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas.

Metodologia

- ✓ Ler e discutir o Roteiro 1 com os alunos.
- ✓ Utilizar como recurso para o desenvolvimento desse estágio materiais como forno de micro-ondas, prato para micro-ondas, papel para fax e réguas com escala milimetrada para medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas.
- ✓ Como forma de acompanhar o processo de aprendizagem dos alunos, solicite um relatório dessa atividade investigativa desenvolvido na forma de um texto dissertativo para comunicar como o conhecimento foi produzido na atividade.

Procedimentos

- ✓ Retire o prato giratório do micro-ondas.
- ✓ Coloque um pedaço de papel de fax em um prato que possa ser colocado no micro-ondas.
- ✓ Verifique a frequência das micro-ondas do seu forno. Você pode verificar a frequência em um adesivo colocado na parte de trás ou procure no manual do forno de micro-ondas. O valor mais frequente é 2.450 MHz ($2{,}45 \times 10^9$ Hz).
- ✓ Leve tudo ao forno de micro-ondas. Deixe o pedaço de papel de fax por 3s. Use a potência máxima do forno. Se necessário religue o forno de micro-ondas.
- ✓ Retire o prato do forno com cuidado para não se queimar e observe que aparecem alguns pontos marcados. A distância entre dois pontos marcados corresponde a dois máximos das micro-ondas e já sabemos que a distância entre dois máximos consecutivos de uma onda é o que chamamos de comprimento de onda.

- ✓ Meça essa distância e anote em uma tabela. Repita esse procedimento 5 vezes, substituindo por novos pedaços de papel de fax.
- ✓ Calcule o valor médio e o desvio padrão da medida.
- ✓ Usando a equação $c = \lambda\nu$ encontre o melhor valor para a velocidade de propagação da micro-onda e compare com o valor exato.

1.3.4 Estágio 4 – Radiação térmica

Objetivos

- ✓ Estudar a absorção e emissão de radiação por um corpo negro com uso de microcontrolador de baixo custo;
- ✓ Obter o valor da constante de Planck a partir da luz emitida por um LED (Light Emitting Diode) com uso de microcontrolador de baixo custo.

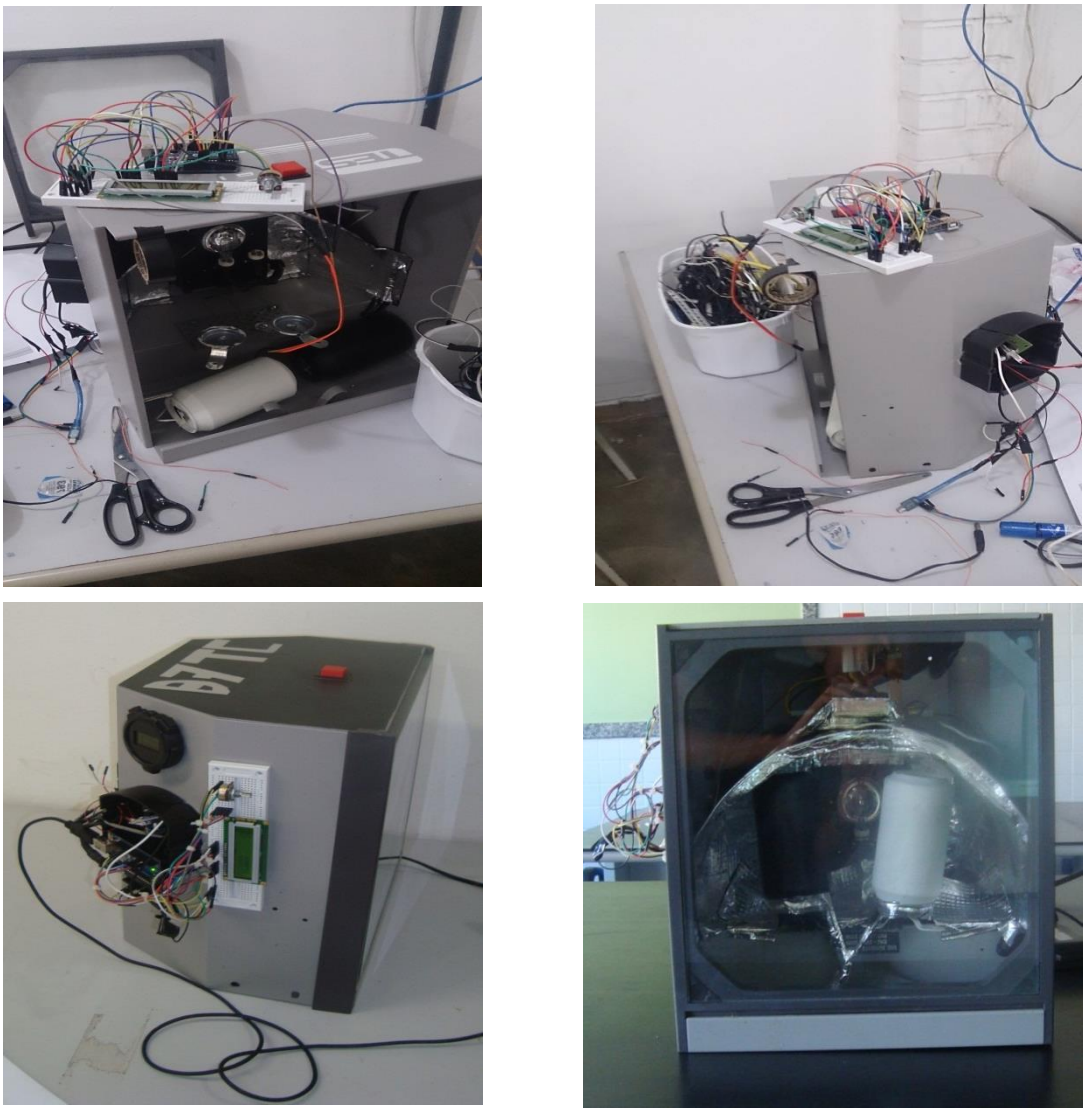
Metodologia

- ✓ Ler e discutir o texto “Radiação de corpo negro” do Roteiro 2 com os alunos.
- ✓ Utilizar como recurso didático o experimento 2 (Kit Educacional 1) envolvendo retroprojetor, duas latas de alumínio iguais (uma das latas pintadas com tinta branca e a outra com tinta preta), sensor de temperatura, lâmpada incandescente (300W) e cronômetro para se estudar a absorção de radiação por dois objetos de cores diferentes, exemplificando a teoria da radiação térmica.
- ✓ Solicitar o texto dissertativo conforme Estágio 3.

Experimento 2: Radiação de Corpo Negro

Para construir o Kit Educacional 1 é necessário uma sucata de um retroprojetor de forma que se aproveite sua estrutura. Como forma de vedação, para reter o calor gerado pelo filamento da lâmpada, coloca-se um pedaço de manta térmica etaflon 4mm. Seguindo o objetivo do projeto, é preciso preparar duas latas de alumínio de

330ml pintando de cor preta e a outra de cor branca. Em cada lata deve ser colocado o termômetro LM35. Com a estrutura fixada ligaremos os fios dos sensores na placa Arduino para processar as informações geradas pelos mesmos. Um display LCD 16x2 e um cronômetro devem ser colocados na lateral para a visualização dos valores das temperaturas e o tempo de aquecimento ou resfriamento. Para controlar o aquecimento deve ser colocado um mini cooler.



Fonte: Acervo do autor

Kit Educacional 1

A seguir apresentamos o programa com dois sensores LM 35, latas clara e escura:

```
#include <LiquidCrystal.h>
int pin1 = 1;
```

```
int pin2 = 2;
int tempc1 = 0;
int tempc2 = 0;
int samples[8];
int i;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
byte a[8]= {B00110,B01001,B00110,B00000,B00000,B00000,B00000,B00000,};
void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(12, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
 lcd.begin(16, 2);
lcd.print("ESCURO: ");
lcd.createChar(1, a);
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("CLARO: ");
lcd.createChar(2, a);
lcd.setCursor(4,2);
}
void loop()
{
for(i = 0;i<=7;i++){
samples[i] = ( 5.0 * analogRead(pin1) * 100.0) / 1024.0;
tempc1 = tempc1 + samples[i];
delay(100);
}
tempc1 = tempc1/8.0;
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print(tempc1,DEC);
tempc1=0;
for(i = 0;i<=7;i++) {
samples[i] = ( 5.0 * analogRead(pin2) * 100.0) / 1024.0;
tempc2 = tempc2 + samples[i];
```

```
delay(100);
}
tempc2 = tempc2/8.0;
delay(100);
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print(tempc2,DEC);
tempc2=0;
}
```

Procedimentos

- ✓ Utilize o Kit Educacional 1;

Fonte: Acervo do autor

Kit Educacional 1

- ✓ Ligue a lâmpada incandescente colocada próxima às latas de maneira simétrica;
- ✓ Anote a temperatura em cada lata a cada minuto até que a temperatura se estabilize;
- ✓ Desligue a lâmpada e meça novamente a temperatura a cada minuto.
- ✓ Anote seus dados em uma tabela e faça o gráfico de Temperatura X Tempo. Você terá dois conjuntos de valores: Um para a absorção (aquecimento das latas) e outro para a emissão (das latas) e, portanto terá que fazer dois gráficos para cada lata;

- ✓ Obtenha a taxa de variação da temperatura para as duas latas.

1.3.5 Estágio 5 – A constante de Planck

Objetivo

- ✓ Obter o valor da constante de Planck a partir da luz emitida por um LED (Light Emitting Diode) com uso de microcontrolador de baixo custo.

Metodologia

- ✓ Ler e discutir o texto “A constante de Planck” do Roteiro 2 com os alunos.
- ✓ Utilizar como recurso didático o experimento 3 (Kit Educacional 2) envolvendo LEDs de 4 cores diferentes, resistor de 330Ω, pilha de 6V, potenciômetro, fios para o arranjo experimental e microcontrolador de baixo custo (sensor de luz).
- ✓ Novamente use o texto dissertativo como forma de avaliar qualitativamente a produção do conhecimento posto pela atividade.

Experimento 3: Medida da constante de Planck

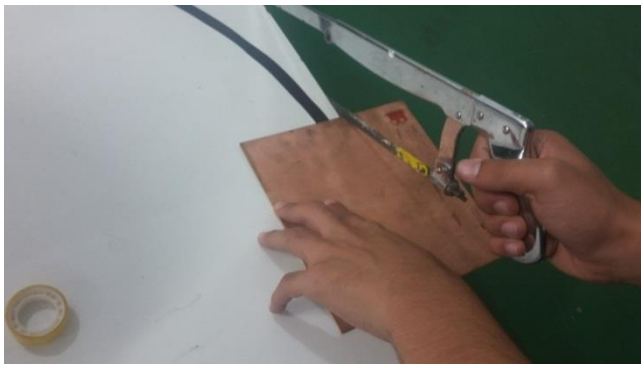
Neste experimento utilizaremos o Kit Educacional 2. A seguir temos a lista de material a ser utilizado para a confecção da placa do circuito que compõe o Kit:

- ✓ Uma cópia do Layout do circuito;
- ✓ Uma placa de fenolite cobreado virgem (dimensões 10cm x 16cm);
- ✓ Uma serrinha de cortar ferro com seu respectivo Arco;
- ✓ Uma lixa comum para tirar rebarbas;
- ✓ Um lápis e uma régua para demarcação;
- ✓ Um perfurador para placas;
- ✓ Caneta para retroprojetor;
- ✓ Um pote ou 300 gramas de percloreto de ferro (solução corrosiva);
- ✓ Um recipiente de plástico resistente ao calor.

Todo o projeto é feito em uma placa de fenolite de 10 cm x 16 cm cuja montagem está no passo a passo abaixo:

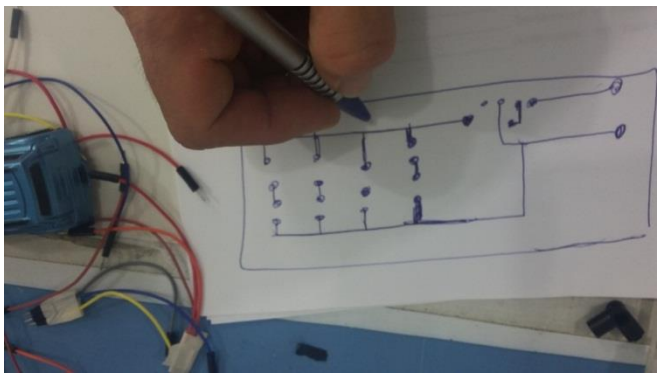
Fonte: Acervo do autor

1º) Corte a placa para o tamanho suficiente do projeto.



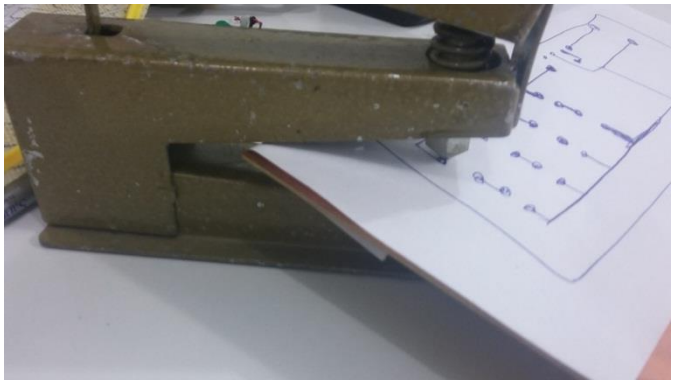
Fonte: Acervo do autor

2º) Faça o layout em um papel para as marcações dos furos na placa.



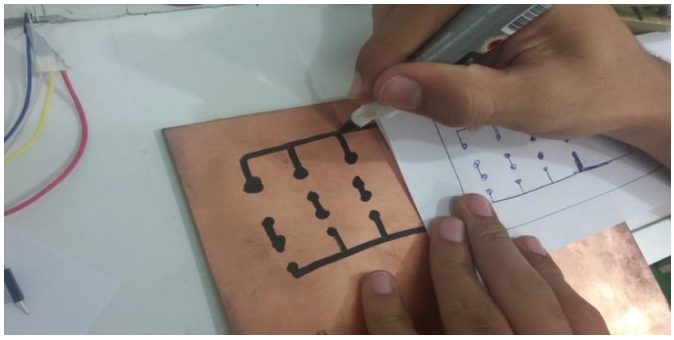
Fonte: Acervo do autor

3º) Realize a seguir, os furos na placa com o perfurador.



Fonte: Acervo do autor

4º) Com a caneta retroprojetora, faça a traçagem das trilhas orientando-se sempre pelos furos e pela outra cópia do layout.



Fonte: Acervo do autor

5º) Com a solução pronta mergulhe no balde a placa presa a um barbante.

Fonte: Acervo do autor

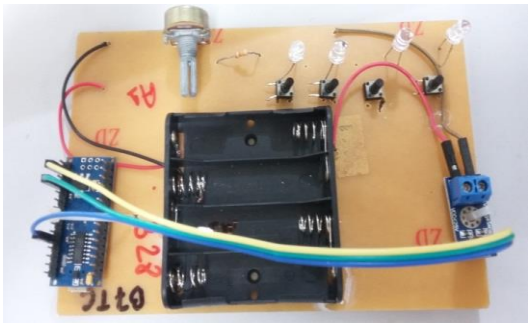
6º) Terminada a corrosão, retire com cuidado a placa da solução e lave-a com água em abundância.

Fonte: Acervo do autor

7º) Estando a placa já seca, remova a tinta da traçarem.

8º) Após a confecção da placa faremos as soldagens dos componentes eletrônicos. Utilize um alicate de bico para dobrar os componentes e um alicate de corte para cortar o excesso dos terminais dos componentes após soldá-los. Siga a orientação de montagem a seguir:

- ✓ Colocar os quatros leds e seus respectivos sensores de toque;
- ✓ Ligar um potenciômetro em série com a fonte de quatro pilhas;
- ✓ Colocar paralelo ao circuito dos leds o sensor de voltagem;
- ✓ Conectar o sensor de voltagem a placa Arduino nano.



Fonte: Acervo do autor

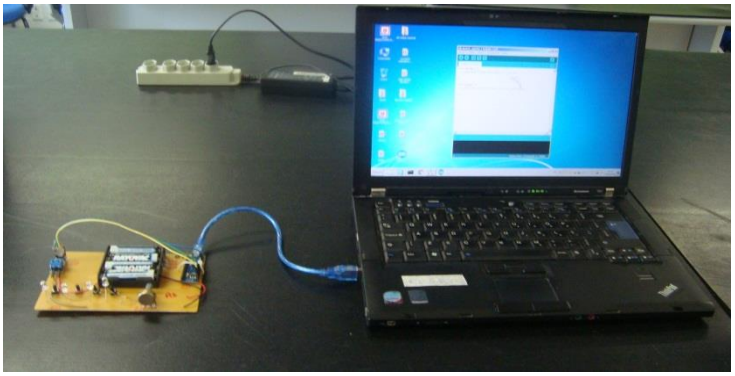
Kit Educacional 2

A seguir apresentamos o programa para medir tensão no LED:

```
#include <Wire.h>
int sensorTensãoDC = A1;
float valorTensãoDC;
int amostragem =1000;
float mediaTotalTensãoDC =0;
float valorFinalTensãoDC = 0;
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;
int sensorValue_aux = 0;
float voltsporUnidade = 0.0048;// 5%1023
void setup(){
analogReference(DEFAULT);
Serial.begin(9600);
pinMode(sensorTensãoDC, INPUT);
delay(500);
}
void loop() {
valorFinalTensãoDC = 0;
mediaTotalTensãoDC = 0;
for(int i=0; i < amostragem ; i++){
valorTensãoDC = analogRead(sensorTensãoDC);
valorTensãoDC =(valorTensãoDC*voltsporUnidade);
mediaTotalTensãoDC = mediaTotalTensãoDC+ (valorTensãoDC / (R2/(R1+R2)));
delay(1);
}
valorFinalTensãoDC = mediaTotalTensãoDC/amostragem;
Serial.print("TENSÃO  NO LED:");
Serial.print(valorFinalTensãoDC);
Serial.println(" VOLTS");
delay(1000);
}
```

Procedimentos

- ✓ Utilize o Kit Educacional 2;



Fonte: Acervo do autor

- ✓ Você precisa conhecer o comprimento de onda e a frequência de cada Led. Use $c = \lambda.\nu$ e obtenha a frequência de cada Led. Anote os valores de frequência obtidos;
- ✓ Varie o potenciômetro e observe o limiar da diferença de potencial medida pelo multímetro quando o Led começa a acender. Repita esse procedimento 5 vezes, anote os valores de V_{limiar} e tome o valor médio. Faça o mesmo com todos os Leds;
- ✓ Faça um gráfico de V_{limiar} versus frequência ν ;
- ✓ Obtenha o coeficiente de inclinação desta curva;
- ✓ Usando a equação a seguir,

$$E = h.\nu = e.V_{limiar}$$

$$V_{\lim iar} = \frac{h}{e}\nu$$

em que $e = 1{,}60\times10^{-19}\,C$ é a carga elementar. Veja que $\frac{h}{e}$ corresponde à inclinação da reta na curva $V_{limiar} \times \nu$. Com base em seu gráfico obtenha o valor para a constante de Planck. Estime o erro de sua medida. Compare seu resultado com o valor esperado.

1.3.6 Estágio 6 - O efeito fotoelétrico

Objetivo

- ✓ Analisar a interação da radiação com a matéria, por meio do efeito fotoelétrico com uso de microcontrolador de baixo custo.

Metodologia

- ✓ Ler e discutir o texto “O efeito fotoelétrico” do Roteiro 3 com os alunos.
- ✓ Utilize como recurso didático o experimento 3 (Kit Educacional 3) envolvendo LDR (Light Dependent Resistor), cartolina preta, fios para o arranjo experimental e microcontrolador de baixo custo (sensor de luz).
- ✓ A atividade a solicitada, mais uma vez será um texto dissertativo segundo o Estágio 03.

Experimento 4: Observando o efeito fotoelétrico

O LDR (Resistor Dependente de Luz) é um tipo de resistor que varia de resistência à partir da luminosidade captada do ambiente. Ele apresenta como característica a variação da resistência com a variação da luminosidade, ou seja, quando a luminosidade aumenta a sua resistência diminui e quando a luminosidade diminui a sua resistência aumenta para ondem de KΩ. Por meio dessa característica pode-se utilizar esse sensor para detectar a luminosidade do ambiente, para tomar uma decisão, como por exemplo, ligar uma lâmpada, como ocorre nas fotocélulas.

Neste projeto iremos fazer a leitura do sensor LDR que está no Módulo Sensor de Luz e Luminosidade LDR para Arduino. Por meio de uma entrada analógica do Arduino, que irá converter o sinal analógico em digital, entre 0 a 1023 conforme a quantidade de luz no ambiente. Com este valor pode-se verificar a variação luminosa no terminal serial, e testar diferentes intensidades luminosas para ver o funcionamento do sensor. Você também poderá ver os valores lidos no LDR no Serial Monitor da IDE do Arduino. Você pode alterar a leitura da iluminação

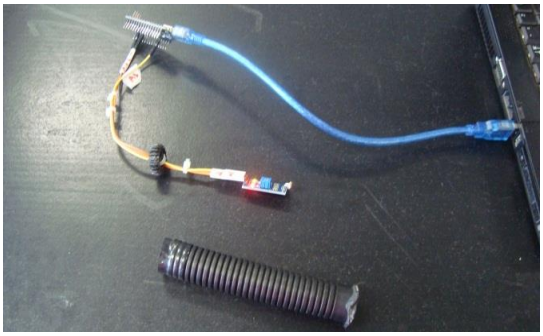
aproximando ou afastando a mão do sensor LDR. A seguir listamos os materiais necessários para a montagem do Kit Educacional 3:

- ✓ Módulo Sensor de Luz e Luminosidade LDR para Arduino;
- ✓ Um Arduino NANO;
- ✓ Fios jumper.

Abaixo o conjunto a ser montado:

Fonte: Acervo do autor

Faça um tubo de PVC preto com diâmetro idêntico ao LDR. Colocaremos o sensor (Módulo Sensor de Luz e Luminosidade LDR para Arduino), dentro de um tubo de PVC com uma das extremidades aberta, para controle da variação da luminosidade. Todo o conjunto ficará conforme a figura abaixo:



Fonte: Acervo do autor

Kit Educacional 3

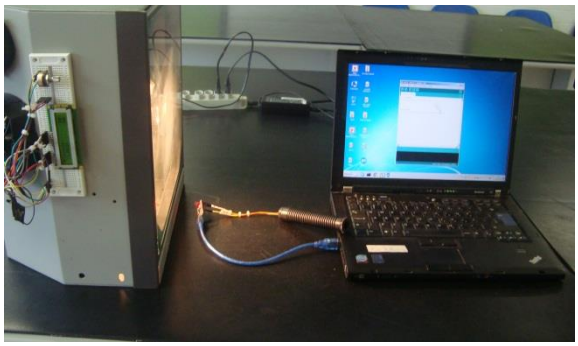
A seguir apresentamos o programa para o Arduino Nano:

```
int sensorLDR = A1;
int valor1;
void setup(){
pinMode(sensorLDR, INPUT);
```

```
Serial.begin(9600);
}
void loop(){
valor1 = 0;
valor1 = analogRead(sensorLDR);
delay(1);
valor1 = analogRead(0);
float tensao=(valor1*0.005);
Serial.print("TENSÃO PROPORCIONAL A INTENSIDADE DA LUZ : ");
Serial.print(tensão);
Serial.println(" VOLTS");
delay(1000);
}
```

Procedimentos

- ✓ Utilize o Kit Educacional 3.



Fonte: Acervo do autor

- ✓ No outro lado do tubo de papel aproxime uma lâmpada incandescente.
- ✓ Meça a tensão utilizando o Kit Educacional. Anote os valores.
- ✓ Cubra a entrada de luz do tubo com um pedaço de papel preto e observe o valor medido. Anote os valores. Repita as medidas 5 vezes e tome o valor médio da tensão. Obtenha o desvio padrão de sua medida.
- ✓ Dobre o papel ao meio e repita o procedimento do item anterior.
- ✓ Dobre mais uma vez e repita o processo.

1.3.7 Estágio 7 – Questionário final (Pós-Teste)

Objetivo

- ✓ Caracterizar a aprendizagem significativa adquirida pelos os alunos da 3ª Série do Ensino Médio a partir da utilização de recursos desenvolvidos e ou relacionados na proposta sobre a natureza da luz.

Metodologia

- ✓ Os participantes responderão individualmente a um questionário pós-teste impresso sobre o conteúdo de Física “Natureza da Luz” que estudados no decorrer dos estágios dessa sequência didática.
- ✓ Em segundo momento eles também responderão a um questionário de opinião de modo que possam relatar a aceitação ou não da sequência didática no qual deixariam suas impressões, críticas e sugestões.
- ✓ Não pode haver nenhuma interferência do aplicador nas respostas dos alunos.

2. REFERÊNCIAS

AMBRÓZIO, R. **Uma Intervenção Educacional com Enfoque no Ensino por Investigação:** Abordando as Temáticas Termodinâmica e Óptica. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Ensino por investigação: problematizado as atividades em sala de aula**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de Ciências: **unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.

BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro. Ensino de Física. V. 19, n. 3: p. 291-313, dez., 2002.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino e aprendizagem de ciências: Referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI)**. In: LONGHINI, M. D. (Org.) O Uno e o Diverso. Uberlândia: EDUFU, 2011, cap. 18, p. 253-266

CARVALHO, A. M. P**. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013, cap. 1, p. 1-20.

CARVALHO, A. M. P.; Santos, E. I. ; Azevedo M. C. P. S.; Date, M. P. S.; Fuji, S.R.S.; Nascimento, V.B.(1999). **Termodinâmica:** Um ensino por investigação. 1. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo -Faculdade de Educação, 1999.

CARVALHO, A. M. P., et al. **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Editora Thompson, 2004.

CARVALHO, A. M. P. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. Coleção Ideias em Ação: Cengage Learning, 2011. P. 53-78.

CARVALHO, A. M. P. Laboratório Aberto. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Calor e Temperatura**: um ensino por investigação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. P. 71-79.

COELHO, G. R. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro. Ensino de Física.** V. 27, n. 1: p. 63-87, abr., 2010.

LIMA, Denise da Costa Assafrão de. **Laboratório de Física Moderna**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Educação Aberta e à Distância, 2012.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. E. Ensinar Ciências por investigação: Em quê

estamos de acordo? Ensaio. **Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, p. 20, 2007.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica.** 3 ed., v. 1, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: Aspectos históricos e diferentes abordagens. Revista Ensaio, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PRÉVIO (PRÉ-TESTE)

Caro aluno,

Este questionário tem como finalidade obter informações sobre sua aprendizagem. Espera-se que você responda a todas as perguntas de uma forma franca e sincera. As respostas dadas nesta pesquisa serão mantidas em absoluto segredo pelo pesquisador, em seus estudos de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Nome: _____

Série/Turma: _____

Questionário Prévio (Pré-Teste)

1.

2015 - Ano Internacional da Luz

No dia 20 de dezembro de 2013, a 68ª Sessão da Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o ano de 2015 como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias baseadas em Luz (International Year of Light and Light-based Technologies – IYL 2015).

O Ano Internacional da Luz é uma iniciativa mundial que vai destacar a importância da luz e das tecnologias ópticas na vida dos cidadãos, assim como no futuro e no desenvolvimento das sociedades de todo o mundo. Essa é uma oportunidade única para se inspirar, para se educar e para se unir em escala mundial.

Ao proclamar um Ano Internacional com foco na ciência óptica e em suas aplicações, as Nações Unidas reconhecem a importância da conscientização mundial sobre como as tecnologias baseadas na luz promovem o desenvolvimento sustentável e fornecem soluções para os desafios mundiais nas áreas de energia, educação, agricultura, comunicação e saúde. A luz exerce um papel essencial no nosso cotidiano e é uma disciplina científica transversal obrigatória para o século XXI. Ela vem revolucionando a medicina, abrindo a comunicação internacional por meio da internet e continua a ser primordial para vincular aspectos culturais, econômicos e políticos da sociedade mundial.

Juntamente com a UNESCO, um grande número de organismos científicos participará dessa iniciativa, que, em 2015, vai reunir diversas partes interessadas, inclusive sociedades e associações científicas, instituições de ensino, plataformas de tecnologia, organizações sem fins lucrativos e parceiros do setor privado.

“Um Ano Internacional da Luz é uma grande oportunidade para garantir que gestores de políticas internacionais e partes interessadas se conscientizem sobre o potencial de solução de problemas que a tecnologia óptica apresenta. Nós temos agora uma oportunidade única para promover essa conscientização em âmbito mundial” (DUDLEY, John., presidente do Comitê de Promoção do IYL 2015. Disponível em:<http://www.unesco.org/new/pt/brasilia/about-this-office/prizes-and-celebrations/2015-international-year-of-light/>.Acesso: 26 jun 2016).

Com o objetivo de investigar seu conhecimento sobre o assunto, escreva um texto respondendo a seguinte questão: **O que é a luz?**

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

APÊNDICE II – ROTEIRO 1: A VELOCIDADE DA LUZ

Escola:			
Aluno(a):			Nº:
Série/turma:	Trimestre:	Valor:	NOTA:
Professor (a):			
Componente: Física			
Objetivo: Medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas.			

ROTEIRO 1: A VELOCIDADE DA LUZ

CONTEÚDO

- A velocidade da luz.

DESENVOLVIMENTO

1. Introdução

Até o século XVII se acreditava que a propagação da luz era instantânea, ou seja, sua velocidade era infinita. Uma das primeiras tentativas para se medir a velocidade da luz foi feita por Galileu. Ele tentou medir o tempo que um feixe luminoso demoraria para percorrer uma dada distância. No entanto, sem aparelhos de medida bastante sensíveis seria impossível obter um valor para este tempo e o experimento fracassou. Por volta de 1675, o astrônomo dinamarquês Olaf Römer fazia observações dos sucessivos eclipses de uma das luas do planeta Júpiter. Ele mostrou que quando a Terra estivesse em posições diametralmente opostas ao Sol, ocorria um atraso entre dois eclipses de aproximadamente 20 minutos. Römer sugeriu que este atraso era devido ao tempo gasto pela luz para percorrer a distância correspondente ao diâmetro da órbita da Terra e concluiu que a velocidade da luz embora muito alta, era finita. Uma medida bastante precisa foi feita pelo físico francês H. L. Fizeau, por volta de 1849, usando um dispositivo óptico

constituído de dois espelhos e uma roda dentada que permitia ao observador sincronizar os raios incidentes e refletidos. Mais tarde o físico e astrônomo francês Jean Bernard Léon Foucault adaptou o experimento de Fizeau e calculou a velocidade com bastante precisão. Fez ainda comparações entre a velocidade da luz se propagando na água e no ar. Experimentos mais precisos foram feitos, dentre eles as técnicas precisas desenvolvidas pelo físico A. A. Michelson, e hoje o valor exato da velocidade da luz é $c = 299.792.458\ m/s$.

Em sua teoria eletromagnética, J. C. Maxwell mostrou que toda onda eletromagnética se propaga no vácuo com a mesma velocidade $c = (\mu_o.\varepsilon_o)^{-1/2}$, onde ε_o é a permissividade elétrica e μ_o é a permeabilidade magnética do vácuo, respectivamente. Podemos ainda medir a velocidade de propagação de uma onda através da medição direta de sua frequência ν e comprimento de onda λ da forma:

$$c = \lambda \nu . \quad (1.1)$$

Fonte: Disponível em:<https://sites.google.com/site/carlosaugustopassos/home/intro-a-fisica-moderna>. Acesso em 10 jul 2016.

2. Experimento 1: A velocidade da luz

O professor Pereira quer medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas. Ele pensa em utilizar o forno de micro-ondas para realizar o experimento. Com base no que estudamos sobre a óptica e ondas vocês deverão propor uma solução para o problema do professor com o uso do aparelho.

Os seguintes materiais estarão disponíveis para uma possível experimentação a ser realizada:

- 01 forno de micro-ondas;
- 01 prato para micro-ondas;
- Papel para fax;
- Réguas com escala milimetrada.

Mãos à obra!

Essa atividade investigativa possui um roteiro que deve ser desenvolvido na forma de um texto dissertativo para explicitar como o conhecimento foi produzido nesta atividade. No texto você deve apresentar:

I- quais os objetivos estabelecidos pelo grupo para desenvolver a atividade de investigação;

II- quais as hipóteses apresentadas para a solução do problema;

III- quais os procedimentos que o grupo estabeleceu para a solução do problema (explicar o passo a passo, justificando os caminhos percorridos para o alcance da solução do problema);

IV- quais os resultados encontrados e analisar se as hipóteses apontadas na proposição da solução do problema se confirmam ou não;

V- indicar uma conclusão que represente a investigação do problema apresentado.

REFERÊNCIA

HALLIDAY. D.; RESNICK. R. e WALKER. J.; **Fundamentos de Física**, Vol. IV, Óptica e Física Moderna, Editora LTC, 8ª edição (2008).

LIMA, D. C. A.. **Laboratório de Física Moderna**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Educação Aberta e à Distância, 2012.

STAUFFER Jr R. H. **The Physics Teacher**, 35, 231 (1997).

Grupo:_____

Diário de Bordo

APÊNDICE III – ROTEIRO 2: RADIAÇÃO TÉRMICA

Escola:			
Aluno(a):			Nº:
Série/turma:	Trimestre:	Valor:	NOTA:
Professor (a):			
Componente: Física			
Objetivos: Estudar a absorção e emissão de radiação por um corpo negro com uso de microcontrolador de baixo custo; Obter o valor da constante de Planck a partir da luz emitida por um LED (Light Emitting Diode) com uso de microcontrolador de baixo custo.			

ROTEIRO 2: RADIAÇÃO TÉRMICA

CONTEÚDOS

- Radiação térmica;
- A constante de Planck.

DESENVOLVIMENTO

1. Introdução

1.1. Radiação de corpo negro

Quando colocamos um pedaço de ferro no fogo, deixamos por alguns segundos e o aproximamos de nossas mãos podemos sentir a radiação emitida pelo corpo na forma de calor. Esta radiação, no entanto, não é visível. À medida que a temperatura aumenta a quantidade de radiação emitida também cresce e começamos a observar uma mudança na coloração da superfície do ferro; em temperaturas muito altas a superfície do ferro adquire uma cor vermelha brilhante. A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada de radiação térmica. Em geral, em temperaturas abaixo de 600 ºC a radiação térmica emitida pelos corpos não é visível, seu comprimento de onda é muito maior do que o

comprimento da luz visível. Existem, no entanto, corpos que emitem radiação visível como, por exemplo, o Sol, o carvão em brasa, as lâmpadas incandescentes, dentre outros. O espectro de radiação térmica emitida pelo corpo dependerá, essencialmente, da natureza desse corpo. Entretanto, alguns objetos quando aquecidos emitem espectros idênticos, ou seja, a radiação emitida por estes corpos à mesma temperatura não dependerá da constituição do material. Estes objetos são chamados de corpos negros. Se um corpo absorve toda a radiação incidente sobre ele considerado um corpo negro. De fato, esses não refletem a luz incidente e, portanto, eles possuem a coloração negra.

A distribuição espectral da radiação de corpo negro é especificada pela chamada Radiância Espectral, $R_T(\nu)$, que é definida de forma que $R_T(\nu)\,d\nu$ seja igual à energia por unidade de tempo por unidade de área emitida por uma superfície à temperatura T num intervalo de frequência de ν a $\nu + d\nu$. Se plotamos um gráfico de $R_T(\nu)$ em função de ν para diferentes temperaturas absolutas T, observaremos que R_T cresce rapidamente com o aumento da temperatura. Por volta de 1879, Josef Stefan escreveu uma relação empírica entre a energia por unidade de tempo por unidade de área irradiada pelo corpo negro e sua temperatura,

$$R_T = \sigma T^4, \qquad (2.1)$$

em que $\sigma = 5,67 \times 10^{-08}\ W/m^2\ K^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann e T é a temperatura em unidades de Kelvin. Veja que, de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, R_T só depende da temperatura do corpo e não de qualquer outra característica do corpo e pode ser entendida como a rapidez com que um corpo emite energia. Os corpos que não são negros também irradiam energia por unidade de área por unidade de tempo, porém com uma rapidez menor do que um corpo negro à mesma temperatura. Para estes corpos a cor e a composição do material são fatores extremamente relevantes. Outro resultado interessante é que espectro de radiância se desloca para frequências maiores à medida que a temperatura aumenta. Este resultado ficou conhecido como a Lei do Deslocamento de Wien

$$\nu_{max} / \bar{T} = 2,898 \times 10^{-3}(m \times K) \qquad (2.2)$$

em que ν_{max} é a frequência na qual R_T tem seu valor máximo para uma dada temperatura.

Uma cavidade também se comporta como um corpo negro. A radiação térmica que incide sobre o orifício entra na cavidade e é repetidamente refletida pelas suas paredes. Se a área do orifício for muito pequena comparada ao interior da cavidade, podemos considerar que toda a radiação será absorvida no interior da cavidade e o orifício será um absorvedor ideal, caracterizando um corpo negro.

Fonte: Disponível em:<https://sites.google.com/site/carlosaugustopassos/home/intro-a-fisica-moderna>. Acesso em: 10 jul 2016.

1.2. A CONSTANTE DE PLANCK

A Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien não descreviam completamente a radiação térmica. Era necessária uma teoria que explicasse o espectro de radiação de corpo negro, ou seja, uma expressão para radiância espectral que explicasse os pontos observados experimentalmente. A densidade de energia espectral foi calculada por Rayleigh-Jeans utilizando o princípio da equipartição da energia da teoria clássica da Termodinâmica. Ele obteve uma equação para $R_T(\lambda)d\lambda$ da forma em que k é a constante de Boltzmann. Essa expressão concorda com os resultados experimentais somente no limite de grandes comprimentos de onda. Para pequenos valores de λ o modelo de Rayleigh-Jeans diverge. Este resultado ficou conhecido como a *catástrofe do ultravioleta*. Por volta de 1900, o físico alemão Max Planck propôs uma nova formulação para a radiação de corpo negro que não considerava o princípio clássico de equipartição de energia. Ele sugeriu que o problema para as altas frequências (λ pequeno) poderia ser eliminado se existisse uma energia de corte tal que $\bar{E} \rightarrow 0$ se $\nu \rightarrow \infty$, ou seja, o valor médio da energia tende a zero se $\nu \rightarrow \infty$. Planck então sugeriu que a energia média é uma função da frequência e mostrou que as variações das energias térmicas de um corpo negro só poderia assumir valores múltiplos de uma certa quantidade, ou seja,

$$\overline{E} = 0, \Delta E, 2\Delta E, 3\Delta E \ldots \quad (2.3)$$

Planck queria mostrar que $\bar{E} \approx kT$ quando a diferença de energia ΔE fosse pequena e que $\bar{E} \approx 0$ se ΔE fosse grande. Então, ele precisava obter uma expressão em que ΔE fosse uma função crescente de ν. Planck propôs que $\Delta E \propto \nu$ e a constante de proporcionalidade é a chamada *constante de Planck*, *h*. Em outros termos,

$$\Delta E = h\nu . \qquad (2.4)$$

Planck obteve o valor desta constante que melhor ajustava seu resultado aos dados experimentais. O valor considerado foi de

$$h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J.s. \qquad (2.5)$$

A expressão obtida por Planck para a radiância é da forma

$$R_T(\nu) = \frac{8\pi^2 h\nu}{c^3\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)} d\nu . \qquad (2.6)$$

Essa ficou conhecida como Lei da Radiação de Planck para o corpo negro. A lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de deslocamento de Wien podem ser obtidas pela fórmula de Planck. Por toda a sua contribuição para as bases da Teoria Quântica, Max Planck ganhou o Prêmio Nobel em 1918.

Em 1905, partindo da teoria de Planck, Einstein sugeriu que “na propagação de um raio de luz emitido por uma fonte puntiforme, a energia não é continuamente distribuída sobre volumes cada vez maiores de espaço, mas consiste em um número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço, que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados somente como unidades integrais”. Em outras palavras, Einstein propôs que a luz era composta de pequenos pacotes cada um com uma energia $E = h\nu$. Esses pacotes de energia foram, mais tarde, denominados fótons. Com esta hipótese Einstein generaliza a ideia de Planck, recupera a ideia de Newton que acreditava ser a luz composta de pequenas partículas e introduz a quantização do campo eletromagnético. A constante de Planck provou ser a constante fundamental da teoria quântica.

Fonte: Disponível em:<https://sites.google.com/site/carlosaugustopassos/home/intro-a-fisica-moderna>. Acesso em: 10 jul 2016.

2. EXPERIMENTOS

2.1. Experimento 2: Radiação de Corpo Negro

Desde dezembro de 2010, as garrafas térmicas têm sido alvo de inspeções minuciosas nos aeroportos do mundo, por causa da ameaça delas serem utilizadas para esconder e transportar explosivos ou outros tipos de materiais ilegais, pois garrafas térmicas falsas podem ter suas paredes interiores feitas de materiais que "enganem" os raios-X. Então o que torna a garrafa térmica interessante para esconder líquidos explosivos? Como uma garrafa está relacionada com a radiação de corpo negro? (Disponível em: http://www.infoescola.com/curiosidades/garrafa-termica/. Acesso em: 27/ jul 2016).

A resposta passa pelo conceito de corpo negro. E considerando as propriedades de radiação térmica deste objeto, Podemos definir o corpo negro como um objeto que absorve toda radiação eletromagnética incidente sobre ele, ou seja, um absorvedor ideal. Além disso, é também o emissor ideal, ou seja, para uma dada temperatura, é o corpo que emite a maior potência por unidade de área. Um corpo cuja superfície é preta e fosca pode ser considerado uma aproximação de corpo negro. Porém, um corpo negro a temperatura extremamente alta pode ser bastante brilhante e colorido. Astrônomos frequentemente aproximam uma estrela por um corpo negro.
Agora, realizaremos um experimento que visa estudar a absorção e emissão de radiação por um corpo negro. Com a realização deste, algumas questões poderão ser respondidas: Por que as garrafas térmicas são espelhadas? Uma lâmpada incandescente pode aquecer uma lata de alumínio? E se a lâmpada for retirada, o que acontece com a temperatura da lata?

Os seguintes materiais estarão disponíveis para uma possível experimentação a ser realizada:

- Kit educacional 1 ;
- Água.

Mãos à obra!

Essa atividade investigativa possui um roteiro que deve ser desenvolvido na forma de um texto dissertativo para explicitar como o conhecimento foi produzido nesta atividade. No texto você apresentar:

I- quais os objetivos estabelecidos pelo grupo para desenvolver a atividade de investigação;

II- quais as hipóteses apresentadas para a solução do problema;

III- quais os procedimentos que o grupo estabeleceu para a solução do problema (explicar o passo a passo, justificando os caminhos percorridos para o alcance da solução do problema);

IV- quais os resultados encontrados e analisar se as hipóteses apontadas na proposição da solução do problema se confirmam ou não;

V- indicar uma conclusão que represente a investigação do problema apresentado.

REFERÊNCIA

EISBERG .R. e RESNICK .R., **Física Quântica**, Editora Campus, 27ª Edição (1979).

HALLIDAY. D.; RESNICK .R. e WALKER .J.; **Fundamentos de Física**, Vol IV, Óptica e Física Moderna, Editora LTC, 8ª edição (2008).

LIMA, D. C. A.. **Laboratório de Física Moderna**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Educação Aberta e à Distância, 2012.

Grupo:_____

Diário de Bordo

2.2. Experimento 3: Medida da constante de Planck

[...] Em 1900 o físico e matemático alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947), disse que a energia não seria contínua, como se pensava anteriormente. Sua teoria dizia basicamente o seguinte: “A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido não sob a forma de ondas, mas por meio de pequenos “pacotes” de energia.” [...]

[...] Albert Einstein usou essa hipótese de Max Planck para explicar os resultados obtidos em seus trabalhos sobre o efeito fotoelé-trico em 1905. Max Planck é considerado o pai da teoria quântica, o que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física em 1918 (Disponível em:<http://brasilescola.uol.com.br/quimica/teoria-max-planck.htm>. Acesso em: 01 ago 2016.

Como Planck chegou a esta informação (corpo negro)? Como Einstein concluiu que a luz se comporta como partícula?
Neste experimento iremos obter o valor da constante de Planck a partir da luz emitida por um LED (Light Emitting Diode). O seguinte material estará disponível para uma possível experimentação a ser realizada:

- Kit educacional 2.

Mãos à obra!

Essa atividade investigativa possui um roteiro que deve ser desenvolvido na forma de um texto dissertativo para explicitar como o conhecimento foi produzido nesta atividade. No texto você apresentar:
I- quais os objetivos estabelecidos pelo grupo para desenvolver a atividade de investigação;
II- quais as hipóteses apresentadas para a solução do problema;
III- quais os procedimentos que o grupo estabeleceu para a solução do problema (explicar o passo a passo, justificando os caminhos percorridos para o alcance da solução do problema);

IV- quais os resultados encontrados e analisar se as hipóteses apontadas na proposição da solução do problema se confirmam ou não;

V- indicar uma conclusão que represente a investigação do problema apresentado.

REFERÊNCIA

CAVALCANTE . M. A.; TAVOLARO C. R. C. e HAAG .R., **Física na Escola**, 6, 75 (2005).

CAVALCANTE .M. A.; E HAAG R., Revista Brasileira de Ensino Física 27, 343 (2005).

DIONISIO .P. H., **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.** 22, 147 (2005).

EISBERG .R.; RESNICK .R., **Física Quântica**, Editora Campus, 27ª Edição (1979).

HALLIDAY. D.; RESNICK.R. e WALKER .J.; **Fundamentos de Fisica**, Vol IV, Óptica e Física Moderna, Editora LTC, 8ª edição (2008).

LIMA, D. C. A. de. **Laboratório de Física Moderna**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Educação Aberta e à Distância, 2012.

MOURA.S. L. de; SILVA. F. I. da; SILVA . F. C. M. da, e SANTOS .J. A. V. dos, **Química Nona na Escola**, 33, 246 (2011)

Grupo:_____

Diário de Bordo

APÊNDICE IV – ROTEIRO 3: O EFEITO FOTOELÉTRICO

Escola:			
Aluno(a):			Nº:
Série/turma:	Trimestre:	Valor:	NOTA:
Professor (a):			
Componente: Física			
Objetivo: Analisar a interação da radiação com a matéria, por meio do efeito fotoelétrico com uso de microcontrolador de baixo custo.			

ROTEIRO 3: O EFEITO FOTOELÉTRICO

CONTEÚDO

- O efeito fotoelétrico.

DESENVOLVIMENTO

1. Introdução

Por volta de 1886, o físico alemão Heinrich Hertz mostrou que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se incide luz ultravioleta sobre um deles. Mais tarde, o físico Wilhelm Hallwachs estimulado por estes trabalhos de Hertz, mostrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquiriam uma carga positiva. Esse fenômeno foi explicado pelo físico alemão Phillip Lenard onde propôs que a luz ultravioleta era responsável pela emissão de partículas da superfície do metal. Foi o britânico Joseph John Thomson quem descobriu que as partículas emitidas da superfície são os elétrons. A emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz sobre ela é chamada *efeito fotoelétrico*. Para entender o efeito fotoelétrico, considere o esquema mostrado na figura 3.1.

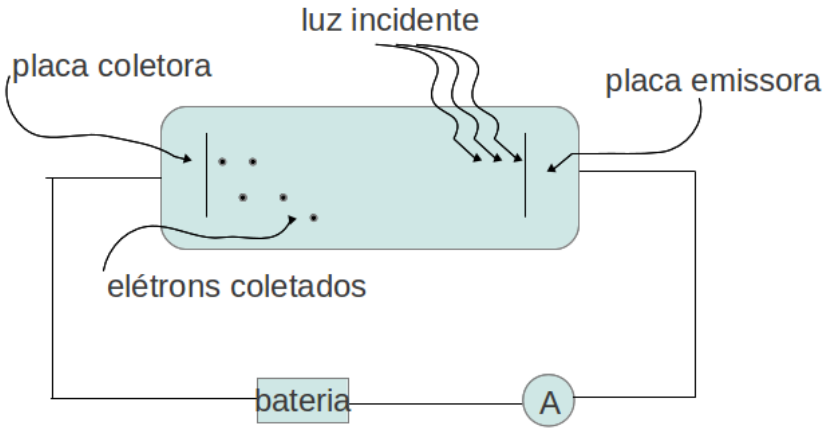


Figura 3.1: Diagrama esquemático para observar o efeito fotoelétrico

Quando a luz incide sobre a superfície metálica (catodo) os elétrons desta superfície podem ser ejetados, sem nenhum atraso, e se uma diferença de potencial ΔV é estabelecida entre as placas, os elétrons ejetados são coletados pela placa coletora (anodo) e podemos observar uma corrente fotoelétrica no circuito. A figura 3.2 mostra a corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial.

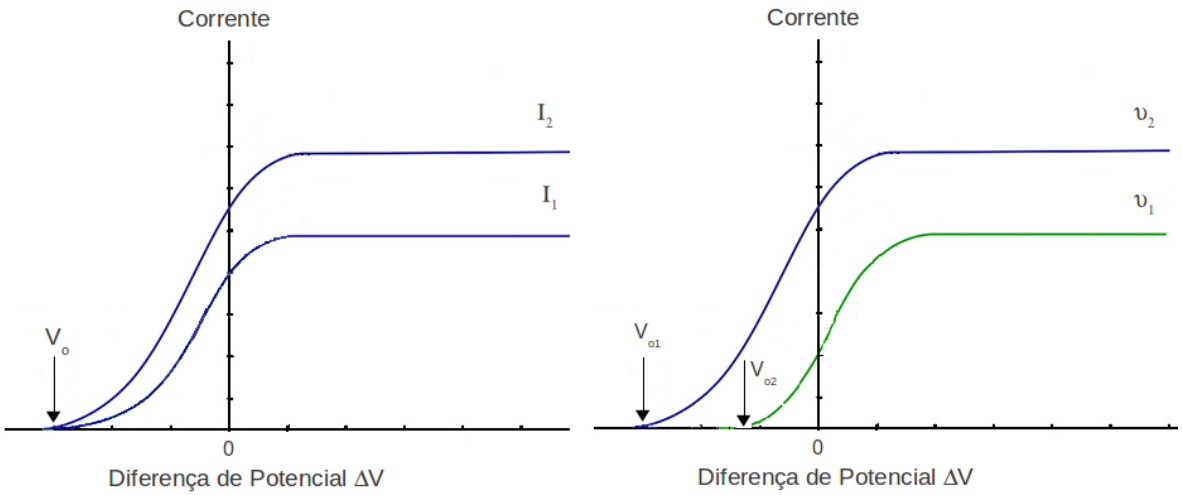


Figura 3.2: Variação da corrente fotoelétrica com a diferença de potencial aplicada às placas. I_1 e I_2 são as intensidades da luz incidente, ν_1 e ν_2 são as frequências e V_0 é o potencial de corte.

Se a diferença de potencial entre as duas placas for grande o suficiente, a corrente fotoelétrica atinge um valor constante, ou seja, todos os elétrons ejetados são

coletados no anodo. Se ΔV for reduzido a zero a corrente não será nula, porém se o sinal da diferença de potencial for invertido haverá um valor para $|\Delta V| = V_0$, chamado potencial de corte, em que a corrente fotoelétrica é zero.

Isso ocorre porque os elétrons emitidos, mesmo os de maior energia, são forçados a retornar ao catodo devido à mudança no sinal de ΔV. Neste caso, os elétrons perdem energia cinética e ganham energia potencial e o potencial de corte corresponde ao valor máximo da diferença de potencial necessária para que toda energia cinética se transforme em energia potencial, ou seja, $\Delta U = -\Delta K$. Uma vez que os elétrons mais energéticos tem energia cinética máxima, K_{max}, e a energia potencial de um elétron é $\Delta U = -e\Delta V$, podemos escrever

$$eV_0 = K_{max} \qquad (3.1)$$

A teoria ondulatória previa que a energia cinética dos elétrons ejetados deveria aumentar com o aumento da intensidade da luz incidente e portanto, o potencial de corte V_0 também aumentaria. No entanto, os experimentos mostravam que o potencial de corte não depende da intensidade *I* da fonte incidente como mostra a figura 3.2 e deve depender, no entanto, da frequência *v* da luz incidente. Além disso, a teoria ondulatória previa que o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência da luz incidente o que não era observado. Se a frequência da luz incidente for menor do que um dado valor chamado frequência de corte, ν_0, o efeito não era observado.

Para explicar estas questões, Einstein propôs, em 1905, que a luz incidente sobre a placa emissora era compostas de fótons que transportam uma energia $E = h\nu$. Cada fóton incidente transfere esta energia a um único elétron da placa. Parte desta energia será usada para retirar o elétron da placa e o restante será a energia cinética máxima adquirida pelo elétron ejetado. Isso pode ser resumido na equação

$$h\nu = \varphi + K_{max} \qquad (3.2)$$

Nesta equação, φ é a chamada *função trabalho*, ou seja, é a energia necessária para que o elétron seja ejetado e só depende da natureza da placa emissora. Com essa expressão, Einstein explicou que se aumentamos a intensidade da luz incidente, o número de interações entre fótons e elétrons também é aumentado e portanto, o número de elétrons ejetados também será maior. Isso, entretanto, não modifica o potencial de corte V_0, apenas o valor da corrente fotoelétrica é

aumentada. Além disso, se $K_{max} = 0$ teremos que

$$h\nu_0 = \varphi \qquad (3.3)$$

o que significa que um fóton de frequência ν_0 tem exatamente a energia necessária para retirar um elétron da placa. Se a frequência for menor do que este valor nenhum elétron será ejetado e o efeito não será observado. Com esta teoria, Einstein recebeu o Prêmio Nobel em 1921.

Fonte: Disponível em:<https://sites.google.com/site/carlosaugustopassos/home/intro-a-fisica-moderna>. Acesso em: 10 jul 2016.

2. Experimento 4: Observando o efeito fotoelétrico

Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos, fotômetros e dispositivos para aberturas de portas, escada rolante e iluminação pública.

Realizaremos um experimento para analisar a interação da radiação com a matéria, por meio do efeito fotoelétrico. O seguinte material estará disponível para uma possível experimentação a ser realizada:

- Kit educacional 3.

Mãos à obra!

Essa atividade investigativa possui um roteiro que deve ser desenvolvido na forma de um texto dissertativo para explicitar como o conhecimento foi produzido nesta atividade. No texto você apresentar:

I- quais os objetivos estabelecidos pelo grupo para desenvolver a atividade de investigação;

II- quais as hipóteses apresentadas para a solução do problema;

III- quais os procedimentos que o grupo estabeleceu para a solução do problema (explicar o passo a passo, justificando os caminhos percorridos para o alcance da solução do problema);

IV- quais os resultados encontrados e analisar se as hipóteses apontadas na proposição da solução do problema se confirmam ou não;

V- indicar uma conclusão que represente a investigação do problema apresentado.

REFERÊNCIA

CAVALCANTE. M. A.; TAVOLARO C. R.C.; SOUZA. D. F. de e MUZINATTI. J., **Física na Escola**, 3, 24 (2002).

EISBERG. R. e RESNICK.R., Física Quântica, Editora Campus, 27ª Edição (1979).
PEREIRA. D. R. de O. e AGUIAR .O., Rev. **Ponto de Vista**, 3, 65.

LIMA, D. C.A.. **Laboratório de Física Moderna**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Núcleo de Educação Aberta e à Distância, 2012.

VALADARES. E. de C. e A. MOREIRA. M., **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 15, 359 (1998).

Grupo:_____

Diário de Bordo

APÊNDICE V – QUESTIONÁRIO FINAL (PÓS-TESTE)

Caro aluno,

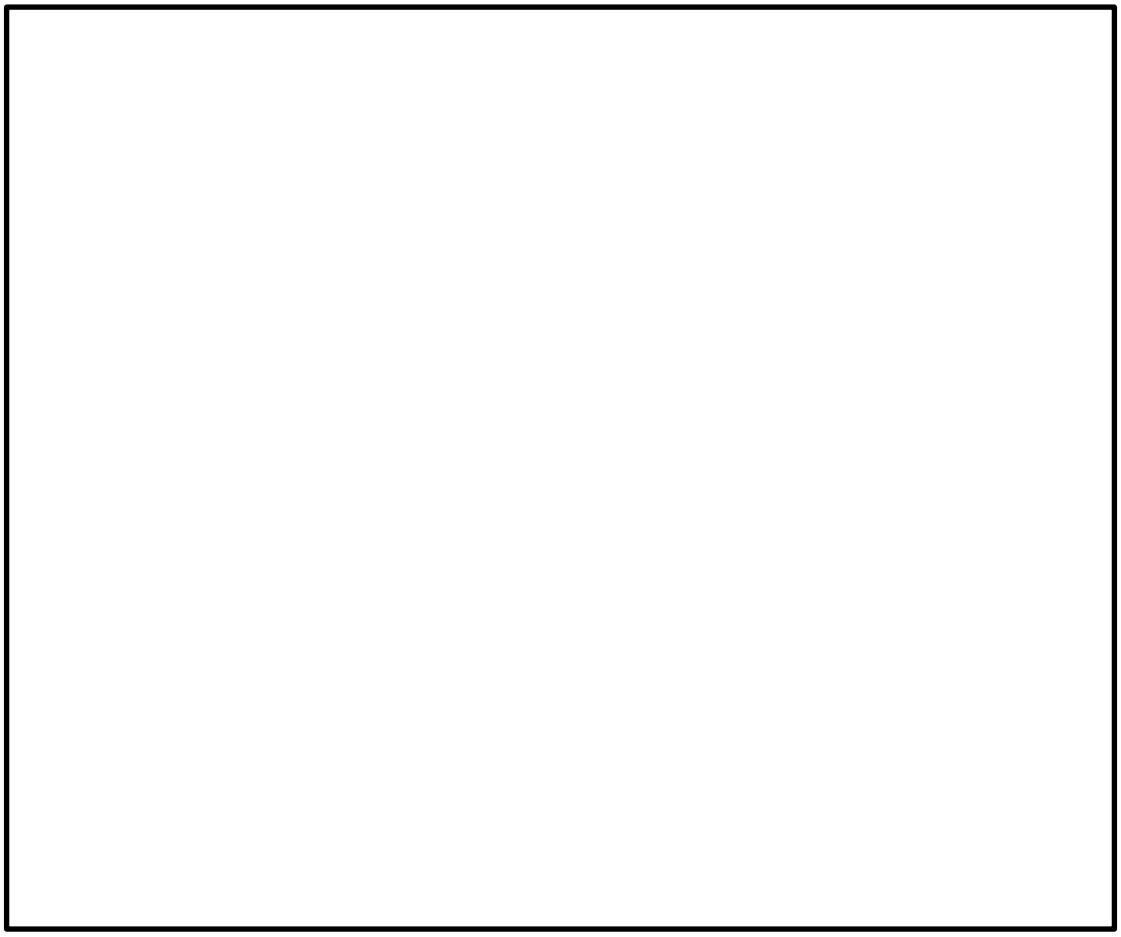
Este questionário tem como finalidade obter informações sobre sua aprendizagem. Espera-se que você responda a todas as perguntas de uma forma franca e sincera. As respostas dadas nesta pesquisa serão mantidas em absoluto segredo pelo pesquisador, em seus estudos de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Nome: _____

Série/Turma: _____

Questionário Final (Pós-Teste)

1. Construa, no espaço abaixo, um Mapa Conceitual sobre seu entendimento a respeito do que é a Luz.



2. Explique, detalhadamente, o Mapa Conceitual que você construiu.