

FÍSICA EXPERIMENTAL II
MANUAL DE INSTRUÇÕES

LABORATÓRIO DE
FÍSICA EXPERIMENTAL

ESCOLA POLITÉCNICA
FESP - UPE

LUIZ GONZAGA CABRAL
DEPARTAMENTO BÁSICO

EDIÇÃO 2003.2

FÍSICA EXPERIMENTAL II	
SUMÁRIO	
EXPERIÊNCIA 1: Variação da Pressão do Ar com a Temperatura a Volume Constante	5
EXPERIÊNCIA 2: Pressão do Vapor x Temperatura	6
EXPERIÊNCIA 3: $PV = nRT$	8
EXPERIÊNCIA 4: Instrumentos de Medidas Elétricas	9
EXPERIÊNCIA 5: Circuito RC	14
EXPERIÊNCIA 6: Circuito RLC	16
EXPERIÊNCIA 7: Campo de Solenóides	17
EXPERIÊNCIA 8: Campo Magnético Terrestre	21
EXPERIÊNCIA 9: Lentes Convergentes	23
EXPERIÊNCIA 10: Refração num Prisma	25
EXPERIÊNCIA 11: Difração	27
EXPERIÊNCIA 12: Campo de Bobinas Circulares	29
EXPERIÊNCIA 13: Polarização	31
EXPERIÊNCIA 14: $V \times i$ em Condutores e Semicondutores	35

CRONOGRAMA DO REVEZAMENTO DOS GRUPOS NAS EXPERIÊNCIAS

GRUPOS	SEMANAS DA SALA 1							SEMANAS DA SALA 2						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B	2	3	4	5	6	7	1	9	10	11	12	13	14	8
C	3	4	5	6	7	1	2	10	11	12	13	14	8	9
D	4	5	6	7	1	2	3	11	12	13	14	8	9	10
E	5	6	7	1	2	3	4	12	13	14	8	9	10	11
F	6	7	1	2	3	4	5	13	14	8	9	10	11	12
G	7	1	2	3	4	5	6	14	8	9	10	11	12	13
GRUPOS	SEMANAS DA SALA 2							SEMANAS DA SALA 1						
EXPERIÊNCIAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7
B	9	10	11	12	13	14	8	2	3	4	5	6	7	1
C	10	11	12	13	14	8	9	3	4	5	6	7	1	2
D	11	12	13	14	8	9	10	1	5	6	7	1	2	3
E	12	13	14	8	9	10	11	4	6	7	1	2	3	4
F	13	14	8	9	10	11	12	5	7	8	2	3	4	5
G	14	8	9	10	11	12	13	6	8	9	3	4	5	6

FÍSICA EXPERIMENTAL II - REGRAS (EXPERIÊNCIAS COM REVEZAMENTO)

CRONOGRAMA DE EXPERIÊNCIAS COM REVEZAMENTO	
SEMANA	EVENTOS DE FÍSICA EXPERIMENTAL II
1	PROCESSOS DE ANÁLISE GRÁFICA E NUMÉRICA
2	APRESENTAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS
4	1ª EXPERIÊNCIA
5	1ª EXPERIÊNCIA
6	3ª EXPERIÊNCIA
7	4ª EXPERIÊNCIA
8	5ª EXPERIÊNCIA
9	6ª EXPERIÊNCIA (1º EXERCÍCIO ESCOLAR)
10	7ª EXPERIÊNCIA
11	8ª EXPERIÊNCIA
12	9ª EXPERIÊNCIA
13	10ª EXPERIÊNCIA
14	11ª EXPERIÊNCIA
15	12ª EXPERIÊNCIA
15	13ª EXPERIÊNCIA (2º EXERCÍCIO ESCOLAR)
16	14ª EXPERIÊNCIA (EXERCÍCIO ESCOLAR FINAL)

- (1) - Formação de sete grupos fixos em cada turma (A,B,C,D,E,F,G);
- (2) - Relatório individual ao final de cada aula (peso = 5);
- (3) - Supervisão dos grupos durante as aulas;
- (4) - Controle de Frequência:
 - As cinco primeiras experiências de cada série constituem notas parciais e o aluno pode faltar uma;
 - Comparecendo às cinco, elimina-se a pior nota no cálculo da média (peso = 5);
 - Faltando 1, a média considera as quatro restantes sem eliminar a pior nota;
 - Faltando mais de 1, a média é feita somando-se as notas e dividindo-se por cinco;
- (5) - Exercícios Escolares individuais (peso = 5):
 - O 1º e o 2º serão realizados sobre a sexta experiência de cada grupo na série (6 ou 13);
 - O Final constará da décima quarta experiência de cada grupo na série;
 - Os relatórios seguem junto com a prova (não são devolvidos aos alunos);
- (6) - O “Manual de Instruções” é entregue só uma vez no início do semestre; os relatórios são entregues aos alunos em cada aula (não podem ser fornecidos aos alunos que faltarem ou chegaram atrasados e não participarem da aula);
- (7) - Tolerância nos atrasos dos alunos, é de 50(cinquenta) minutos após o horário oficial de início das aulas.
- (8) - **Ao terminar as medidas desligar os plugues dos instrumentos. Não desmontar as experiências.**

FÍSICA EXPERIMENTAL II - FONTES DE CONSULTA DA TEORIA												
EXPERIÊNCIA	LIVROS											
	TIPLER - 4ª EDIÇÃO			HALLIDAY-3ª EDIÇÃO			SERWAY-3ª EDIÇÃO			KELLER-GETTYS-SKOVE		
	VOL	ÍTENS	PÁGS	VOL	ÍTENS	PÁGS	VOL	ÍTENS	PÁGS	VOL	ÍTENS	PÁGS
1-VAR.PRES.AR C/ TEMP A VOL.CTE.	2	15.2 15.3	185 188	2	19.4	166	2	19.3	66	1	16.3	442
2-RESSÃO VAPOR XTEMPERATURA	2	15.7	202	2	19.7	170	2	19.5	70	1	16.5	446
3-PV=nRT	2	15.4	192	2	21.3	206	2	19.6	73	1	17.1	466
4-INST.MED. ELÉ-TRICA	3	23.3	163	3	297	124	3	28.5	133	2	24.4	128
5-CIRCUITO RC	3	23.2	155	3	29.8	125	3	28.4	129	2	25.4	157 160
6-CIRCUITO RLC	3	28.5	292	3	36.4	282	3	33.7	268	2	31.6	306
7-CAMPO DE SOLENÓIDES	3	24.3 25.2	191 209	3	31.6 31.7	174 177	3	30.4	188	2	26.3 27.3	183 211
8-CAMP. MAG-NÉT. TERRESTRE	3	24.3 25.2	191 208	3	30.2 30.8 31.7	144 155 177	3	29.1 29.4 30.1	153 159 182	2	27.1	204
9-LENTESS CON-VERGENTES	4	31.4	74 78	4	39.9	38	3	36.4	341	2	35.4	426 428
10-REFRAÇÃO NUM PRISMA	4	30.4	40 58	4	36.2	27	3	36.3	339	2	35.3	424
11-DIFRAÇÃO	4	33.10 33.11	125 127	4	41.7	102	3	38.4	388	2	36.3	457
12-CAMP. DE BOB. CIRCULA-RES	3	24.3 25.2	191 209	3	31.7	177	3	29.4 30.2	159 182	2	26.3 27.3	183 211
13-POLARIZAÇÃO	4	30.6	47	4	38.7	12	3	38.6	392	2	37.5 37.6 37.7	492/494 495/499
14-V x i EM COND. E SEMI-COND	3 4	22.2 25.3 39.6 39.7	117 164 323 324	3 4	28.5 28.8 28.9 46.10	102 106 108 238	3 4	27.3 27.4 43.7	103 106 138	2 2	24.2 24.6	121 132 136

Física para Cientistas e Engenheiros: Paul A. Tipler – Ed. Guanabara Koogan

Fundamentos da Física: David Halliday, Robert Resnick – LTC

Física para Cientistas e Engenheiros (com Física Moderna): Raymond A. Serway - LTC

Física: Frederick J. Keller, W. Edward Gettys, Malcolm J. Stoke: MAKRON BOOKS

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES

EXPERIÊNCIA 1: Variação da pressão do ar com a temperatura a volume constante.

OBJETIVOS: Analisar a variação da Pressão do ar com a Temperatura a Volume Constante.

Determinar o coeficiente de variação da pressão do ar com Temperatura a volume constante.

TEORIA: Num gás ideal $PV = nRT$

$$\text{Volume Constante: } P = \left(\frac{nR}{V}\right) T$$

P varia linearmente com T: podemos definir o coeficiente de variação da pressão com a temperatura a volume constante:

$$\beta = \frac{\Delta P}{P_0 \Delta T} \begin{cases} P_0 = \text{Pressão inicial a temperatura } T_0 \\ P = \text{Pressão final a temperatura } T \\ \Delta P = P - P_0 \\ \Delta T = T - T_0 \end{cases} \quad \text{CONCLUSÃO:}$$

$$P = P_0(1 + \beta \Delta T) \quad (\beta = 0,003661 \text{ k}^{-1})$$

Na experiência mediremos a Pressão com um manômetro do tipo de tubo em forma de “U”. Um dos ramos é aberto à atmosfera. Se o desnível for h, a pressão medida é:

$$P - P_0 = \rho gh$$

$$P_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$g = 9,807 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$$

MONTAGEM:

O manômetro em forma de “U” preenchido com Hg comunica-se no lado esquerdo a um kitazato fechado (mediante um estrangulador num tubo de borracha) e do lado direito à atmosfera. O kitazato é mergulhado na água contida no Beacker até a marca de 1800 cm³.

Com o aquecimento, o ar se expande e empurra o Hg do lado esquerdo. Eleva-se o ramo direito e mantém-se o volume constante. A pressão é medida pelo desnível entre os dois ramos.

PROCEDIMENTO:

(01) Verifique se o nível é igual nos dois lados e se ambos coincidem com o “zero” da escala. Se não, abra o estrangulador que pressiona a mangueira ligada ao “bico” do kitazato e desloque o lado direito do manômetro com cuidado até conseguir que o nível de mercúrio nos dois ramos do manômetro coincida com o zero da escala (quando afrouxar o parafuso que fixa o lado direito do manômetro segure a parte deslizante para evitar acidentes e derramamento de mercúrio. Veja na pág. 6 os cuidados com operação com mercúrio antes dessa experiência).

(02) Anote a temperatura ambiente, indicada pelo termômetro externo.

(03) Ligue o aquecedor (**Evite o contato! Cuidado com queimaduras!**) e mantendo o volume constante, determine o desnível a cada 5^o C de variação do termômetro instalado dentro do kitazato (o termômetro mergulhado na água é usado para controle);

(04) Aos 80^o C desligue o aquecedor e não altere a posição da parte deslizante nem mexa na mangueira!!!.

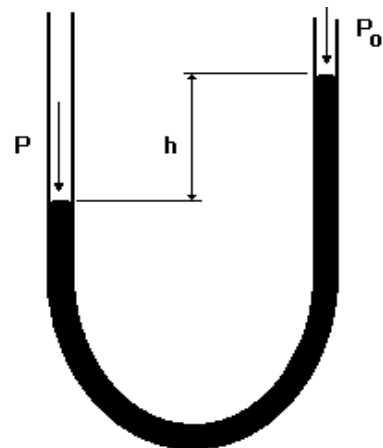


Fig. 01 - Manômetro

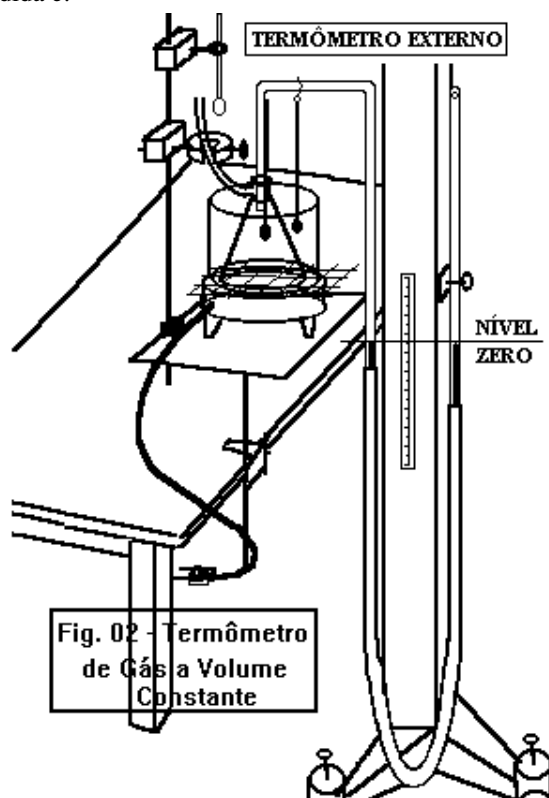


Fig. 02 - Termômetro de Gás a Volume Constante

EXPERIÊNCIA 2 : Pressão do vapor x temperatura

OBJETIVOS: Determinar a variação da pressão do vapor d'água com a temperatura. Encontrar a fórmula empírica $P = f(T)$.

TEORIA: Na experiência, a água é colocada em ebulição num recipiente e sai pelo tubo à direita (A). O volume do espaço ocupado pelo vapor é V_0 e a pressão $P_a = 1$ atmosfera.

Em seguida o tubo é colocado dentro do mercúrio (B) e o aquecedor é desligado.

Com o resfriamento a pressão diminui (P) e o mercúrio sobe a altura h:

$$P = P_a - \rho gh \quad (1)$$

$$V = V_0 - Ah \quad (2)$$

(A = área da seção circular do tubo).

$$\text{De (1): } h = \frac{P_a - P}{\rho g} \quad (3)$$

Tratando o vapor como um gás perfeito:

$$PV = nRT \quad (4)$$

$$P \left[V_0 - A \left(\frac{P_a - P}{\rho g} \right) \right] = nRT \quad (5)$$

$$T = \left(\frac{A}{\rho g n R} \right) P^2 + \frac{1}{\rho g} \left(V_0 - \frac{A P_a}{\rho g} P \right) \quad (6)$$

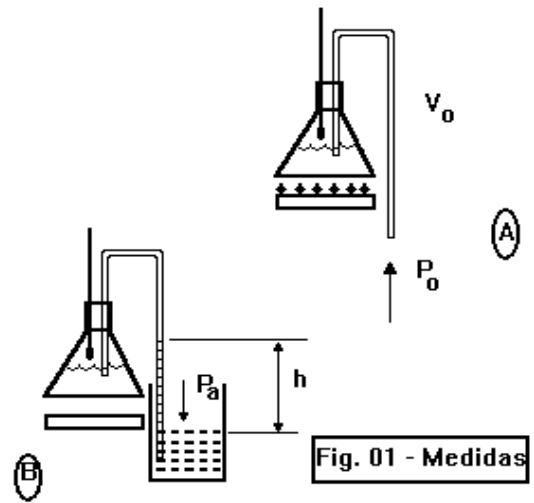


Fig. 01 - Medidas

ρ	$= 13600 \text{ Kg/m}^3$
g	$= 9,807 \text{ m/s}^2$
A	$= 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
V_0	$= 2,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
R	$= 8,31 \text{ J/mol K}$
P_a	$= 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
	$= 760 \text{ mm Hg}$

MONTAGEM:

Um tubo de vidro em forma de "U" tem uma extremidade dentro de um KITAZATO (500 ml) e outra livre na atmosfera. Um termômetro mede a temperatura do vapor produzido quando a água entra em ebulição. O conjunto é vedado mas abrindo-se o estrangulador na mangueira é possível completar a água do KITAZATO (na marca branca).

Inicialmente o vapor sai na parte inferior do tubo caindo no BEACKER (H_2O).

Depois substitui-se pelo BEACKER com Hg e quando o vapor "borbulhar" na superfície do Hg, desliga-se o aquecedor.

Com o resfriamento, cai a pressão dentro do KITAZATO enquanto que a pressão na superfície do mercúrio do BEACKER mantém-se igual a uma atmosfera. Assim, mercúrio sobe no ramo do manômetro ligado ao KITAZATO. A altura (h) é registrada para variações de 5°C .

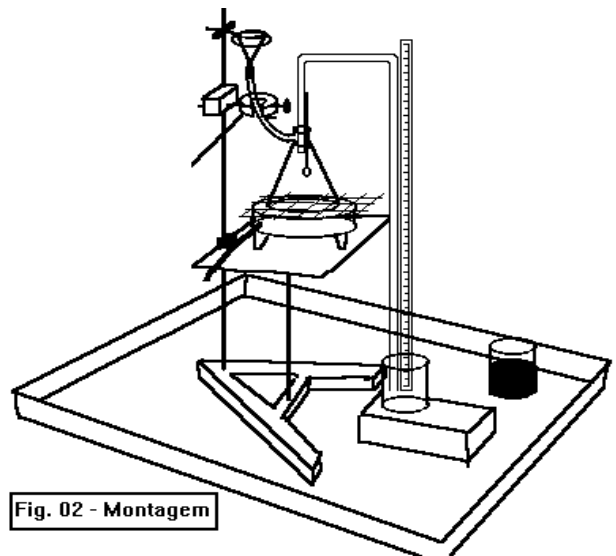


Fig. 02 - Montagem

PROCEDIMENTO:

- (01) - Verifique que o nível de água no KITAZATO esteja na marca branca (para completar, abra o estrangulador da mangueira e coloque água com o BEACKER, através do funil. Feche o estrangulador firmemente);
- (02) - Coloque o BEACKER sem água na saída do tubo de vidro;
- (03) - Ligue o aquecedor e aguarde a ebulição (***evite o contato com o aquecedor; cuidado com queimaduras!!!***);
- (04) - Espere 5(cinco) minutos de ebulição e substitua o BEACKER pelo outro com Hg;
- (05) - Desloque a escala metálica presa ao tubo de vidro de modo ao zero ficar na superfície do Hg;

(06) - Assim que a água borbulhar no Hg, desligue o aquecedor e ligue o ventilador (ele serve para apressar o processo de resfriamento e deve ser dirigido diretamente ao KITAZATO);

(07) - A partir daí, a cada variação de 5° C, anote a altura do Hg no tubo de vidro (h);

(08) - Ao terminar, abra lentamente o estrangulador da mangueira para fazer o Hg retornar ao BEACKER.

(EM NENHUMA HIPÓTESE RETIRE O BEACKER COM MERCÚRIO ANTES DE ABRIR O ESTRANGULADOR PARA FAZER RETORNAR O MERCÚRIO)

ATENÇÃO:

O mercúrio é altamente tóxico se ingerido, inspirado ou colocado em contato com mucosas OU FERIDAS NA PELE. Evite seu derrame operando sempre com muito cuidado.

Realize todas as operações de modo que se houver derrame, ocorra na bandeja.

Ela possui cavidades que conduzem a um lado onde o Hg pode ser recolhido com a bsnaga de plástico.

Arraste o Hg com a esponja até os sulcos da bandeja e observe que num dos cantos há uma cavidade que facilita o recolhimento.

OBS: O contato com o mercúrio estraga jóias de ouro.

ADVERTÊNCIA AO ALUNO:

Apesar dessas recomendações e a despeito de esperarmos atitudes mais sérias de estudantes universitários freqüentemente observamos brincadeiras com gotas de mercúrio que eventualmente deramaram sobre a mesa do laboratório. O Professor deve supervisionar seis bancadas simultaneamente e com freqüência precisa dar alguma assistência na sala do computador. Assim, insistimos que todos considerem seriamente sua responsabilidade na operação com o mercúrio.

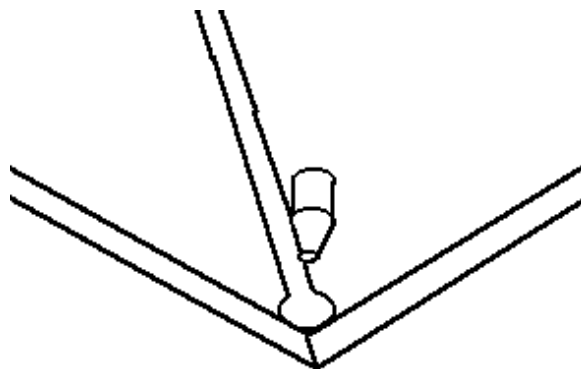


Fig. 03 - Bandeja para manipulação do mercúrio

OBJETIVOS: Verificar se a equação dos gases ideais $PV = nRT$ pode ser usada para o ar.

TEORIA: A teoria cinética dos gases ideais estabelece uma relação entre a pressão, o volume e a temperatura num gás ideal:

$$PV = nRT \quad (01)$$

P = pressão medida pelo desnível entre as duas colunas de mercúrio do manômetro.

$$P = P_a + \rho g(h_1 + h_2) \quad (02)$$

V = volume medido pelo deslocamento do mercúrio do lado esquerdo do manômetro.

$$V = V_0 + Ah_2 \quad (03)$$

V_0 é o volume formado pela parte do tubo de vidro situada entre o kitazato e o nível zero de mercúrio (isto é, o volume inicial da experiência) e A é a área da seção reta desse tubo.

Para trabalhar com as expressões (01), (02) e (03), resumimos no quadro seguinte as constantes físicas necessárias:

$\rho = 13600 \text{ Kg/m}^3$
$g = 9,807 \text{ m/s}^2$
$A = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
$V_0 = 2,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
$R = 8,31 \text{ J/mol K}$
$P_a = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mm Hg}$

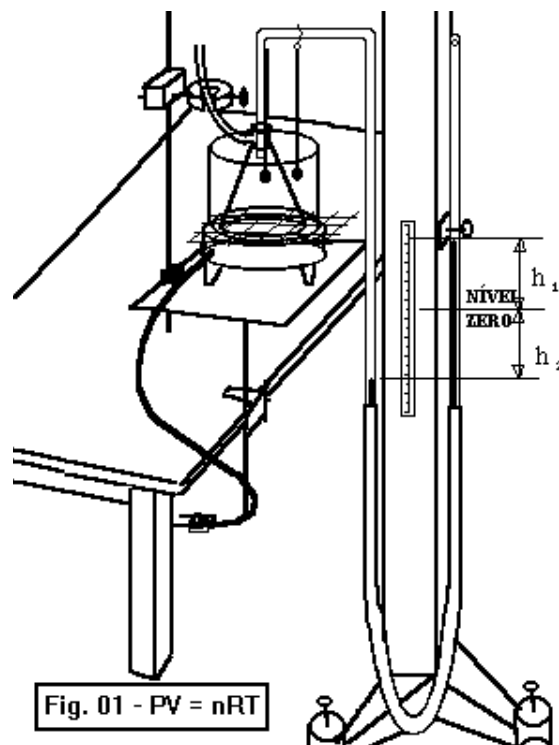
MONTAGEM

No início da experiência, o mercúrio deve estar no mesmo nível dos dois lados. Para efetuar o nivelamento é necessário afrouxar o estrangulador da mangueira presa à saída do kitazato, além de elevar ou baixar o lado direito da mangueira que contém o mercúrio (com muito cuidado para evitar acidentes; segure o suporte deslizante ao soltar o parafuso de fixação. **Veja agora as recomendações de segurança da pág. 6**). Depois, a mangueira presa ao kitazato deve ser hermeticamente fechada e não se deve alterar mais a posição do ramo direito do manômetro. O nivelamento deve ser feito no zero da escala.

PROCEDIMENTO

- (01) - Nivelar o manômetro e colocar o nível da água no beacker em 1800 ml;
- (02) - Ligar o aquecimento (cuidado com o contato com o aquecedor: evitar queimaduras) e registrar o valor de h_1 e h_2 a cada 5° C (medindo no termômetro interno ao kitazato);
- (03) - A temperatura indicada pelo termômetro imerso na água serve para controle;
- (04) - Ao terminar, desligar o aquecedor e deixar o sistema retornar naturalmente ao estado inicial.

(em nenhuma hipótese alterar a posição do suporte deslizante ou afrouxar o estrangulador da mangueira: estes procedimentos de ajuste só podem ser efetuados na temperatura ambiente!!!)



OBJETIVOS: Aprender a construir um Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro, a partir de um Galvanômetro.

TEORIA: Apresentamos na Fig. 01 o instrumento conhecido como GALVANÔMETRO e que serve de base para construção de vários instrumentos de medida, inclusive o MULTÍMETRO.

O cilindro onde está fixado o ponteiro tem uma bobina de fios enrolados em sua superfície lateral.

As extremidades deste enrolamento comunica-se ao exterior mediante dois fios flexíveis indicados Por (+) e (-).

O conjunto é colocado e pode girar livremente dentro da cavidade de um ímã natural constituindo uma espécie de motor elétrico.

Quando há corrente circulando entre (+) e (-) o ponteiro gira e sua deflexão indica a intensidade dessa corrente.

No eixo da bobina há uma mola (não representada na Fig. 1) com o objetivo de controlar o movimento do ponteiro.

Quando há equilíbrio entre a ação eletromagnética e reação dessa mola o ponteiro pára indicando pela deflexão a intensidade da corrente elétrica.

Dois características são importantes nas aplicações do GALVANÔMETRO:

R_g = Resistência interna	i_g = Corrente máxima no Galvanômetro
-----------------------------	---

A Resistência interna representa a resistência elétrica do fio enrolado na bobina.

A corrente máxima é aquela que produz a deflexão máxima do ponteiro.

Precisamos do conhecimento dessas duas grandezas para entender a utilização do Galvanômetro como Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro.

Todos requerem o máximo cuidado e em sua operação usaremos sempre o teste de polaridade já conhecido em experiências anteriores:

Deixamos o fio que vai ser ligado ao polo positivo da fonte em aberto e após a montagem de todo o circuito tocamos a ponta no polo positivo observando o(s) ponteiro(s) do(s) instrumento(s). Se tudo estiver em ordem fazemos a conexão definitiva deste fio.

(I) - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA INTERNA DO GALVANÔMETRO

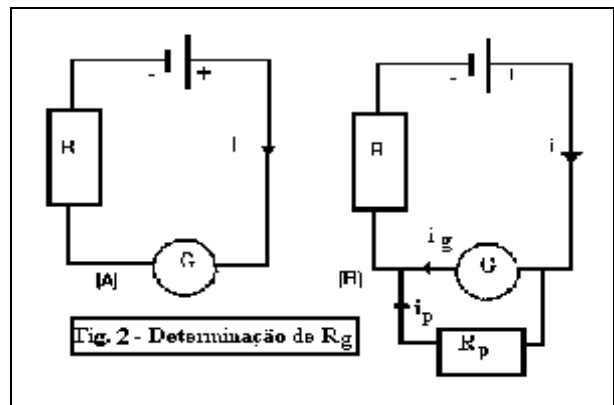
Observe a parte (A) da Fig. 02:

(1) - Ajustamos a tensão na fonte e o valor de R até que o valor de c próximo ao valor máximo (i);

(2) - Na parte (B) introduzimos uma resistência e a ajustamos até que a corrente i_g chegue a metade do valor anterior ($i/2$);

(3) - Quando isto acontecer: $R_p = R_g$.

(4) - Por outro lado se medirmos a tensão da fonte poderemos calcular a corrente máxima que pode circular no Galvanômetro (i_g).



(II) - USO DO GALVANÔMETRO COMO AMPERÍMETRO.

(5) - A idéia de usar o Galvanômetro como Amperímetro está na Fig. 02.

(6) - Suponha que desejamos medir uma corrente maior do que a corrente máxima do Galvanômetro (I). Podemos calcular o valor de R_p de tal modo que quando a corrente i se dividir em i_g e i_p o valor de i_g seja a corrente máxima do Galvanômetro.

(7) - É fácil mostrar que o valor de R_p que atende a esta situação é:

$$R_p = \frac{R_g i_g}{(i - i_g)} \quad (01)$$

QUANDO O GALVANÔMETRO FOR LIGADO COM R_p FUNCIONARÁ COMO AMPERÍMETRO CUJO MÁXIMO É I.

(III) - USO DO GALVANÔMETRO COMO VOLTÍMETRO.

(8) - Para transformar um Galvanômetro em Voltímetro basta calcular o valor de R_s de tal modo que i seja a corrente máxima do Galvanômetro.

(9) - Observando a Fig. (4) é fácil ver que o valor adequado de R_s é dado Por:

$$R_s = \frac{V}{i} - R_g \quad (02)$$

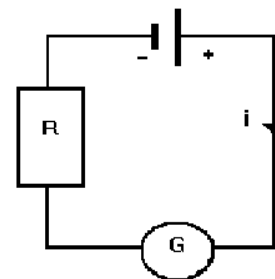


Fig. 3 - Voltímetro

QUANDO O GALVANÔMETRO FOR LIGADO COM R_s FUNCIONARÁ COMO VOLTÍMETRO DE VALOR MÁXIMO V.

(IV) - USO DO GALVANÔMETRO COMO OHMÍMETRO.

(10) - Para fazer funcionar o Galvanômetro como medidor de Resistências (Ohmímetro) usamos o circuito da Fig. (4);

(11) - Usamos uma Resistência Variável;

(12) - Colocamos em curto circuito os dois fios que estão desligados e ajustamos o Resistor Variável para que ocorra a corrente máxima no Galvanômetro : isto corresponde a uma Resistência nula ligada entre estes dois pontos;

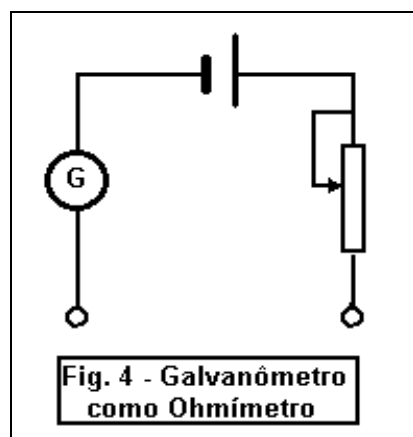


Fig. 4 - Galvanômetro como Ohmímetro

(13) - Agora colocamos uma resistência de valor conhecido (veja a Fig. 4) e anotamos o valor da corrente. Podemos repetir para várias resistências conhecidas e construir uma tabela e um gráfico de calibração;

(14) - Quando colocarmos um resistor de valor desconhecido podemos deduzir o seu valor sabendo o valor da corrente e usando o gráfico de calibração;

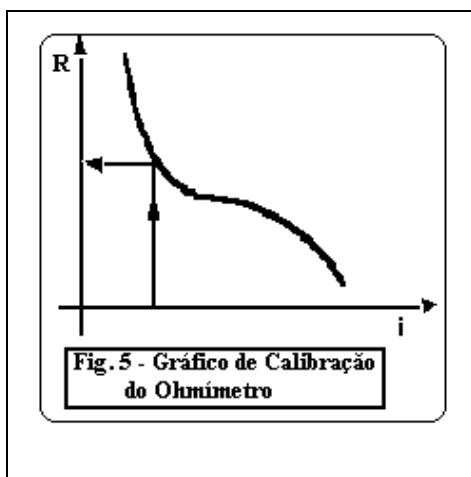


Fig. 5 - Gráfico de Calibração do Ohmímetro

QUANDO O GALVANÔMETRO É LIGADO NESTE CIRCUITO PASSA A FUNCIONAR COMO OHMÍMETRO ATRAVÉS DO USO DO GRÁFICO DE CALIBRAÇÃO.

MONTAGEM

Na Fig. (06) apresentamos os equipamentos que vamos utilizar nos estudos da transformação do Galvanômetro em Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro.

A fonte de energia é constituída por um transformador com várias derivações no secundário (Fig. 07) e um retificador. Uma chave elétrica colocada no primário deve ser usada para desligar a fonte sempre que não estiver em uso.

Na mudança da tensão de saída do transformador a chave deve estar desligada. Em funcionamento o transformador apresenta um "ruído" de baixa frequência, que é normal.

A saída do retificador é de corrente contínua e os polos estão identificados (+ = vermelho; - = preto).

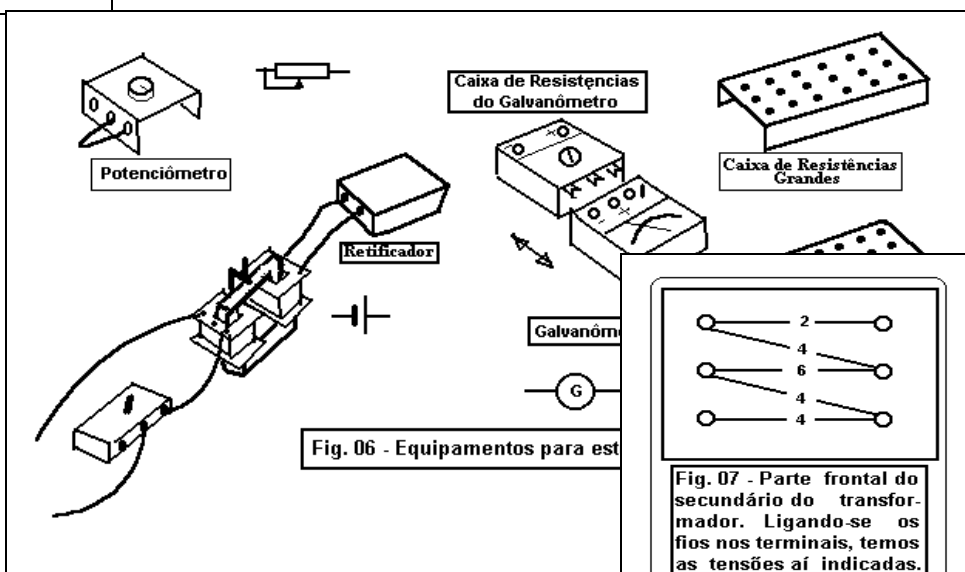


Fig. 06 - Equipamentos para est

Fig. 07 - Parte frontal do secundário do transformador. Ligando-se os fios nos terminais, temos as tensões aí indicadas.

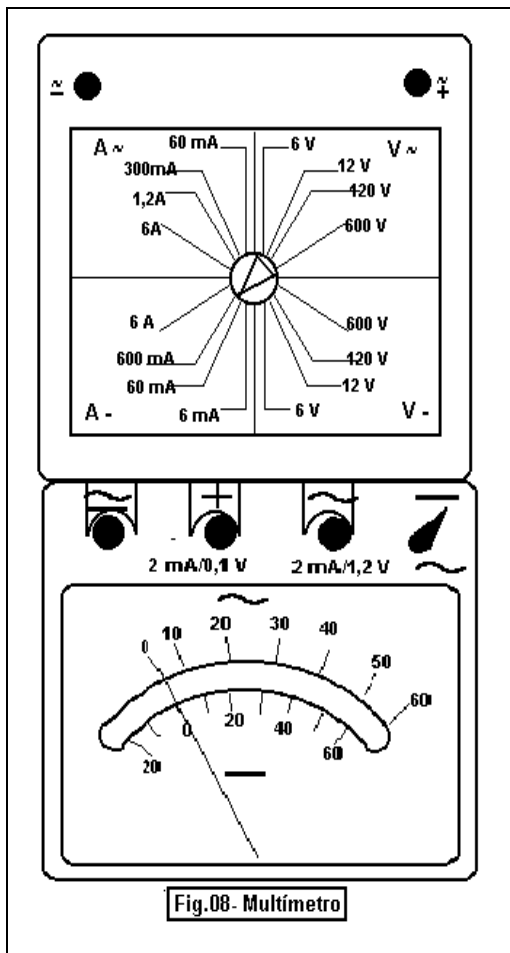


Fig.08- Multímetro

O multímetro (Fig. 08) é constituído por duas partes: o Galvanômetro (parte inferior) e a Caixa de Resistências.

Quando estas partes estão acopladas a ligação elétrica é feita nos bornes da parte superior tanto para corrente contínua como alternada. A chave existente na caixa do Galvanômetro seleciona essas funções. Na Fig. (08) está colocada para corrente contínua e assim deve permanecer em toda a experiência.

A Caixa de Resistências possui quatro setores distintos para Corrente Alternada (A~), Corrente Contínua (A-), Tensão Alternada (V~) e Tensão Contínua (V-). Vamos trabalhar nos setores de tensão e corrente contínuas.

Na Fig. (08) está selecionada a escala de corrente contínua com valor máximo de 600 mA.

Para leitura imaginamos o valor 60, na escala inferior do ponteiro, como 600.

Nas escalas que não são múltiplos ou submúltiplos de 60 temos de fazer a conversão. Por exemplo: na escala de 12 V, imaginamos o 60 como 6 e multiplicamos por 2.

Na escala de 6 mA ou 6 V o 60 é imaginado como 6.

Quando o Galvanômetro está desacoplado da Caixa de Resistências os bornes indicados por (-) e (+) são usados para conexão de correntes contínuas. Próximo a eles está a indicação das características do Galvanômetro: 2 mA/0,1 V.

Com estes valores podemos calcular R_G :

$$R_G = \frac{V}{I} = \frac{0,1}{0,002} = 50\Omega \quad (03)$$

Fig. (09) : Duas caixas de resistores serão usadas para conseguir valores de resistências adequadas ao funcionamento do Galvanômetro como Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro.

Vemos nessa figura as ligações em série (A) e em paralelo (B) para obtenção da soma dos resistores ou de metade de seu valor, quando necessário.

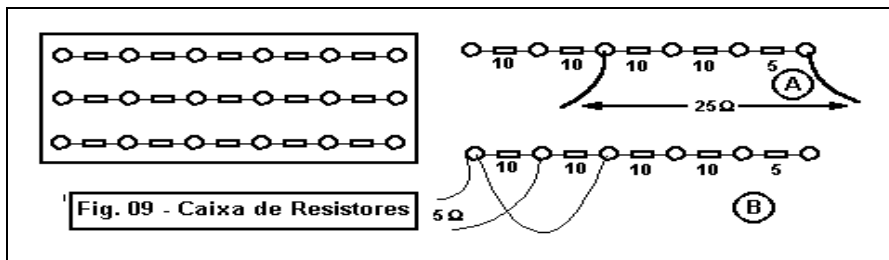


Fig. 09 - Caixa de Resistores

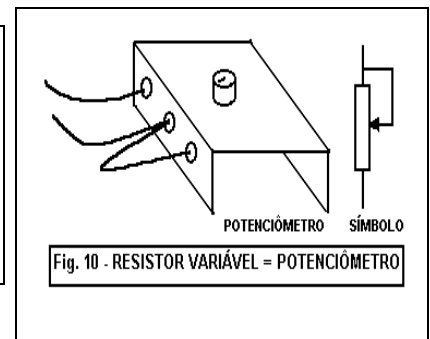


Fig. 10 - RESISTOR VARIÁVEL = POTENCIÔMETRO

Para variar continuamente o valor de uma resistência, usaremos o potenciômetro (Fig. 10).

PROCEDIMENTO I : O GALVANÔMETRO COMO AMPERÍMETRO

- (01)-Verifique se a chave do Transformador está desligada;
- (02)- Coloque o botão do Potenciômetro no meio de seu curso;
- (03)- Coloque o Multímetro em 6 mA – A- (corrente contínua);
- (04)- Coloque a chave seletora do Galvanômetro em Corrente Contínua (símbolo = -);

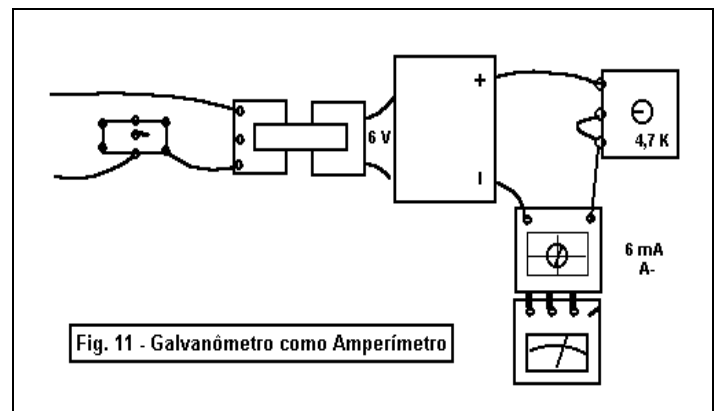


Fig. 11 - Galvanômetro como Amperímetro

- (05)- Coloque os fios do secundário do Transformador em 6 V e ligue a chave (faça o teste recomendado logo após a Fig. 1);
- (06)- Ajuste o Potenciômetro lentamente e com cuidado na corrente de 4 mA (40 na escala inferior do ponteiro);

Vamos calcular a R_p para essa situação: (Eq. 01)

$$R_p = \frac{50 \times 2}{6 - 2} = 25 \Omega$$

Vamos testar esse valor.

(07)- Desligue a chave e, sem alterar o ajuste do Potenciômetro (**isso é muito importante!**) desacople cuidadosamente o Galvanômetro da Caixa de Resistências;

(08)- Monte o circuito da Fig. (12) onde a resistência a ser ligada em paralelo com o Galvanômetro é de 25Ω ;

(09)- Depois de verificar cuidadosamente as ligações e polaridades ligue a chave, fazendo o teste citado anteriormente;

(10)- O valor indicado no Galvanômetro deve ser de 4 mA provando ser esta a resistência ligada na caixa de resistências do Galvanômetro quando a escala de 6 mA é selecionada.

Qual deve ser o R_p para 10 mA? Faça e teste!!!

PROCEDIMENTO II : O GALVANÔMETRO COMO VOLTÍMETRO

(01)-Verifique se a chave do Transformador está desligada;

(02)- Coloque o botão do Potenciômetro no meio de seu curso;

(03)- Coloque o Multímetro em 6 V – V- (tensão contínua);

(04)- Coloque a chave seletora do Galvanômetro em Corrente Contínua (símbolo = -);

(05)- Coloque os fios do secundário do Transformador em 4 V e ligue a chave (faça o teste recomendado logo após a Fig. 1);

(06)- Ajuste o Potenciômetro lentamente e com cuidado na tensão de 5 V (50 na escala inferior do ponteiro);

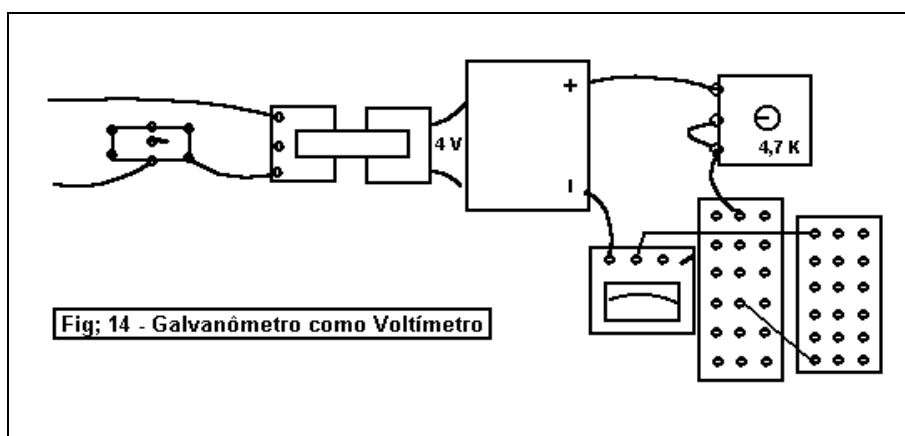
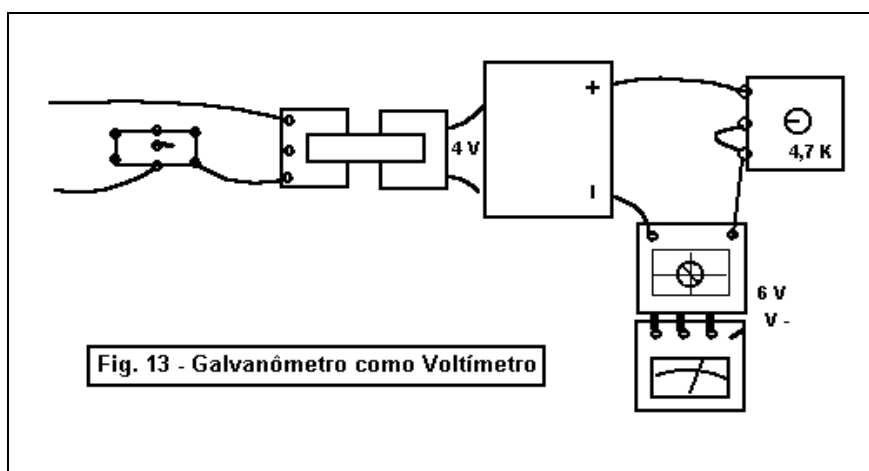
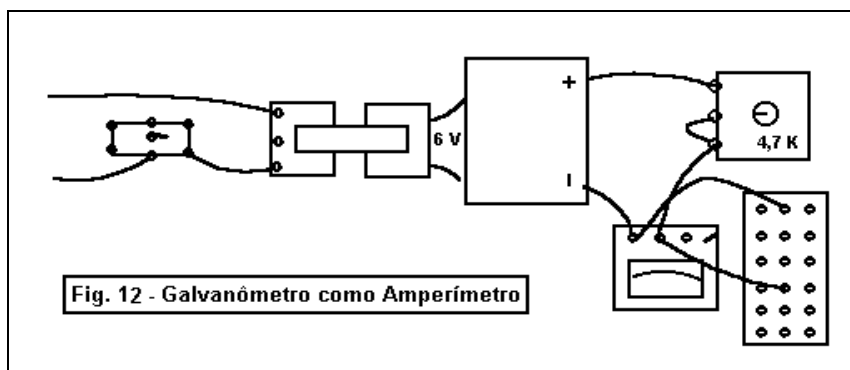
Vamos calcular a R_s para essa situação: (Eq. 02)

$$R_s = \frac{6}{0,002} - 50 = 2950 \Omega$$

Vamos testar esse valor.

(07)- Desligue a chave e, sem alterar o ajuste do Potenciômetro (**isso é muito importante!**) desacople cuidadosamente o Galvanômetro da Caixa de Resistências;

(08)- Monte o circuito da Fig. (14) onde a resistência a ser ligada em série com o Galvanômetro é de 2950Ω (vamos associar as duas caixas de resistores);



- (09)- Depois de verificar cuidadosamente as ligações e polaridades ligue a chave, fazendo o teste citado anteriormente;
- (10)- O valor indicado no Galvanômetro deve ser de 5 mA provando ser esta a resistência ligada na caixa de resistências do Galvanômetro quando a escala de 6 V é selecionada.

Qual deve ser o R_S para 10 V? Faça e teste!!!

PROCEDIMENTO III : O GALVANÔMETRO COMO OHMÍMETRO

(01)-Verifique se a chave do Transformador está desligada;

(02)- Coloque o botão do Potenciômetro no meio de seu curso;

(03)- Coloque a chave seletora do Galvanômetro em Corrente Contínua (símbolo = -);

(04)- Coloque os fios que saem do polo negativo do retificador e do polo negativo do Galvanômetro em curto;

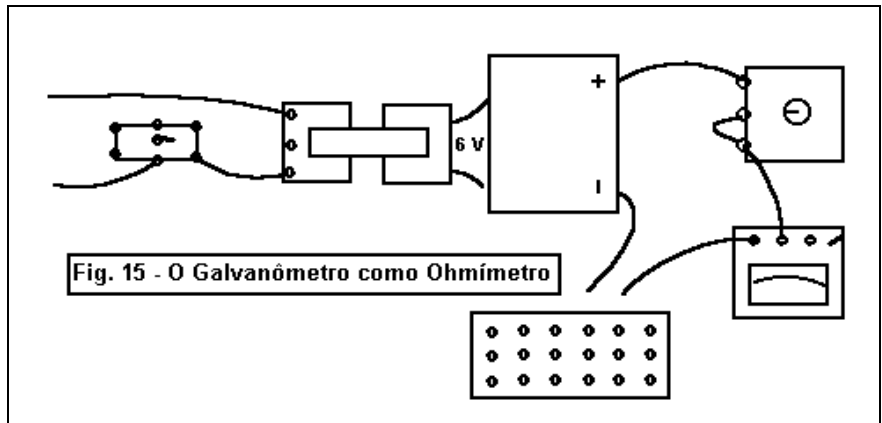


Fig. 15 - O Galvanômetro como Ohmímetro

(05)- Coloque os fios do secundário do Transformador em 6 V e ligue a chave (faça o teste recomendado logo após a Fig. 1);

(06)- Ajuste o Potenciômetro lentamente e com cuidado até o valor de 60 na escala inferior do ponteiro;

(07)- Não altere ao ajuste do Potenciômetro;

(08)- Desfaça o curto e ligue esses dois fios as resistências indicadas na Tabela 1 do Relatório, usando as caixas de resistores. Anote as correntes obtidas (com esses valores podemos traçar a curva de calibração do ohmímetro);

(09)- Para testar, meça as correntes para os valores fracionários de resistências indicadas na Tabela 2 do Relatório. Com essas correntes e a curva de calibração podemos obter os valores dessas resistências e comparar.

**FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 5: Circuito RC**

OBJETIVOS: Determinar a variação exponencial da corrente com o tempo e a constante de tempo do circuito RC.

TEORIA: No circuito RC, quando a chave é ligada, o capacitor está descarregado ($q = 0, t = 0, i = 0$) e começa o carregamento com corrente máxima. A carga vai aumentando e a corrente diminuindo até que a diferença de potencial entre as placas do capacitor seja igual à da fonte de corrente contínua.

Durante o carregamento do capacitor $i = \frac{V}{R} e^{-t/RC}$.

Para $t = RC, i = 0,37 \frac{V}{R}$ e $\tau_c = RC$ é a ‘Constante de Tempo Capacitiva’.

Para $t = 5RC \rightarrow i = 0,0067 \frac{V}{R}$ ‘O Capacitor está praticamente carregado’.

MONTAGEM A: Medida da corrente na descarga

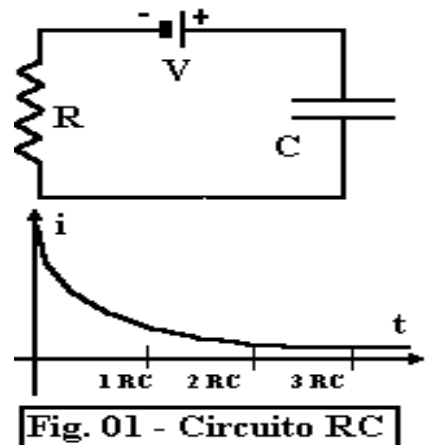
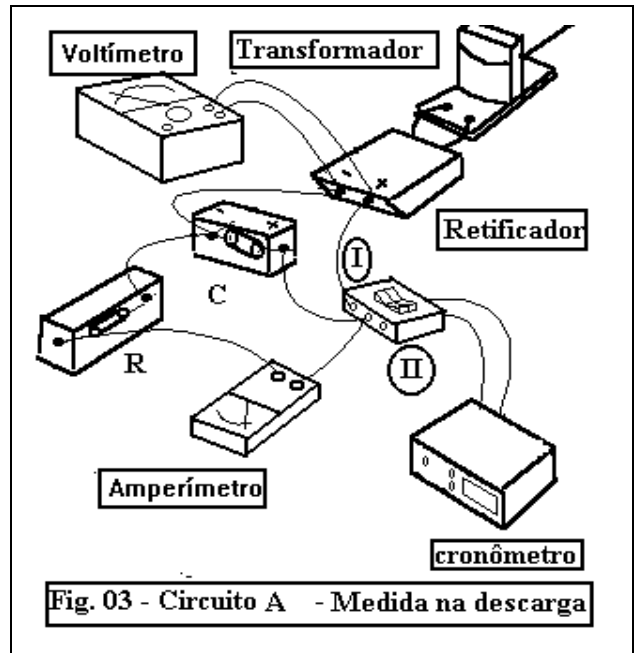
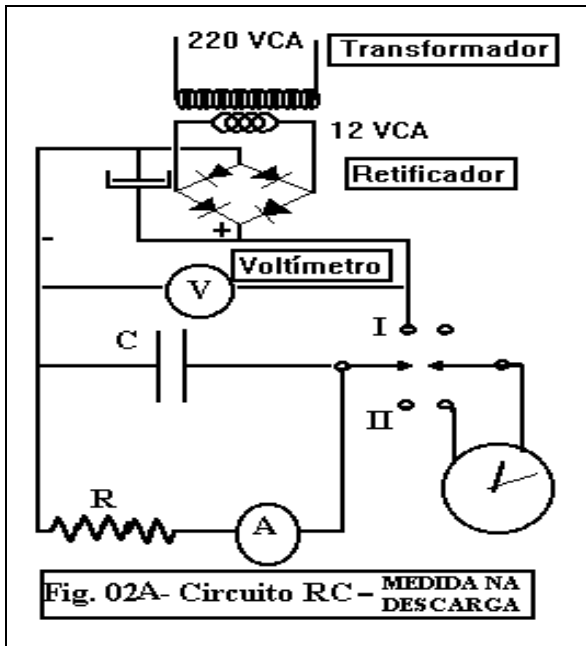


Fig. 01 - Circuito RC

O circuito usa uma chave elétrica de duas posições e duas seções: numa delas comanda-se o circuito e na outra o cronômetro.



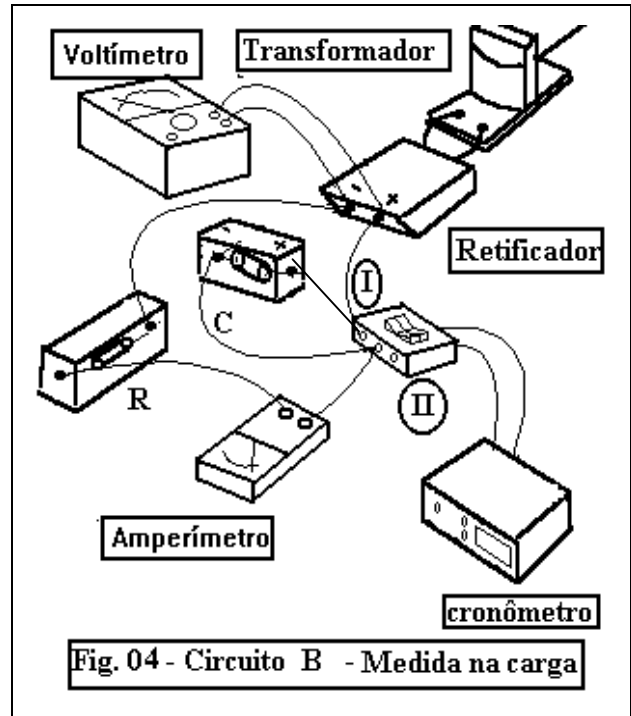
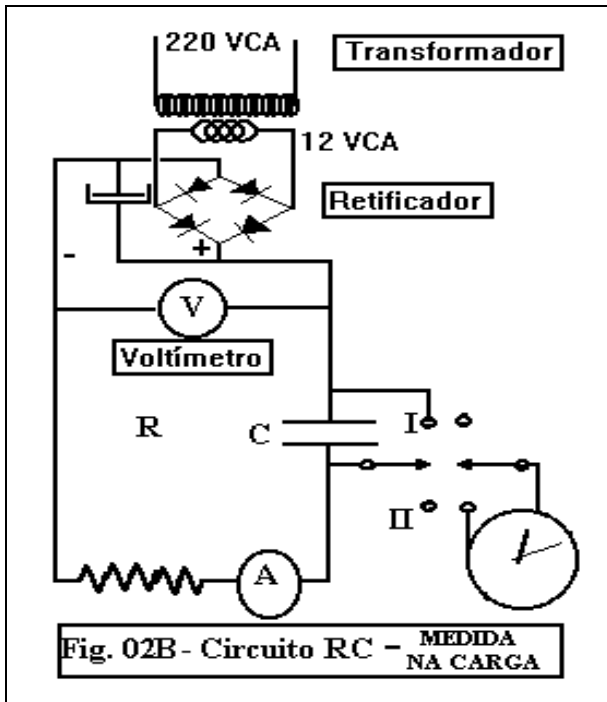
Em (I) a fonte carrega o capacitor enquanto pode-se observar a corrente máxima do circuito; em (II) o capacitor é descarregado enquanto o Amperímetro mede a corrente e o cronômetro marca o tempo de descarga. O carregamento do capacitor é praticamente instantâneo neste circuito mas fixaremos um tempo de 15 s para uniformizar. O Voltímetro mede a tensão da fonte de corrente contínua.

PROCEDIMENTO:

- (01) Confira as ligações do circuito;
- (02) Coloque a chave em (I) (15s) e “zere” o cr onômetro;
- (03) Passe a chave a (II) e quando o Amperímetro indicar a 1ª corrente da tabela volte a (I);
- (04) Anote o tempo indicado no cronômetro;
- (05) Repita para as outras correntes.

MONTAGEM B: Medida da corrente na carga

O circuito usa uma chave elétrica de duas posições e duas seções: numa delas comanda-se o circuito e na outra o cronômetro.



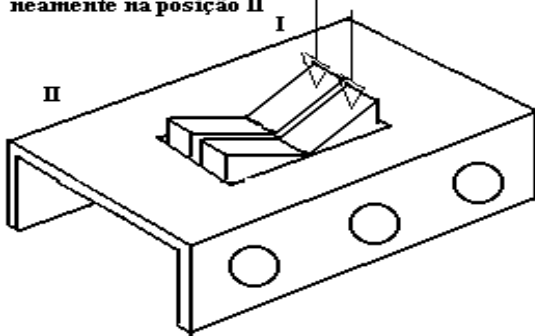
Em (I) o capacitor está em curto circuito e o amperímetro indica a corrente máxima; em (II) a fonte carrega o capacitor enquanto o Amperímetro mede a corrente e o cronômetro marca o tempo de carga; voltando a (I) o capacitor é descarregado. O descarregamento do capacitor é praticamente instantâneo neste circuito. O Voltímetro mede a tensão da fonte de corrente contínua.

PROCEDIMENTO:

- (01) Confira as ligações do circuito;
- (02) Coloque a chave em II;
- (03) ‘Zere’ o cronômetro e coloque a chave em (I);
- (04) Passe a chave a (II) e quando o Amperímetro indicar a 1ª corrente da tabela volte a (I);
- (05) Anote o tempo indicado no cronômetro;
- (06) Repita para as outras correntes.

OBSERVAÇÕES SOBRE O ACIONAMENTO DA CHAVE ELÉTRICA

Pressionar as duas chaves simultaneamente na posição I. Ao soltar, pressionar simultaneamente na posição II



Na posição II, manter pressionado o lado de comando do circuito e soltar o lado de controle do cronômetro

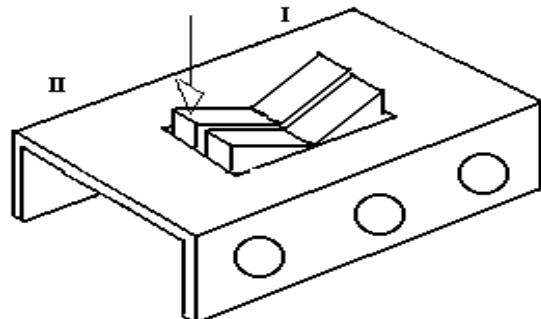


FIG. 05 - Funcionamento da Chave Elétrica no circuito de descarga. No caso da carga, inverter as posições I e II. Manter o lado do circuito pressionado durante a medida do tempo. Ao soltar, voltar a pressionar o lado de comando do cronômetro para desligá-lo

EXPERIÊNCIA 6: Circuito RLC - Ressonância

OBJETIVOS: Estudar a Ressonância no Circuito RLC.

TEORIA: No circuito RLC, o gerador aplica uma tensão alternada $V = V_0 \sin(\omega t)$. A corrente resultante é defasada em relação à tensão mas tem a mesma frequência:

$$i = i_0 \sin(\omega t - \delta) \rightarrow \delta = \text{DEFASAGEM}$$

$$i_0 = \frac{V_0}{Z} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X_L = \text{Reatância Indutiva} = \omega L$$

$$X_C = \text{Reatância Capacitiva} = \frac{1}{\omega C}$$

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right)$$

Se a frequência do gerador varia X_L , X_C e Z mudam e a corrente se altera mesmo que V_0 seja constante.

Com $X_L = X_C$, Z é mínima, i é máxima e ocorre a situação conhecida como "Ressonância".

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \text{ (rad/s)}. \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \text{ (Hz)}.$$

$$i_0 = \frac{V_0}{Z} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

$$\rightarrow i_0 = \frac{V_0}{R}$$

Os elementos do circuito RLC, em corrente alternada apresentam comportamento similar a resistores nos circuitos de corrente contínua.

$$V_C = X_C i \rightarrow V_C = \frac{1}{\omega C} i \rightarrow V_L = X_L i \rightarrow V_L = \omega L i \rightarrow V_G = Z i = \left(\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \right) i$$

FATOR DE QUALIDADE DO CIRCUITO RLC

Definição de fator de Qualidade no circuito RLC:

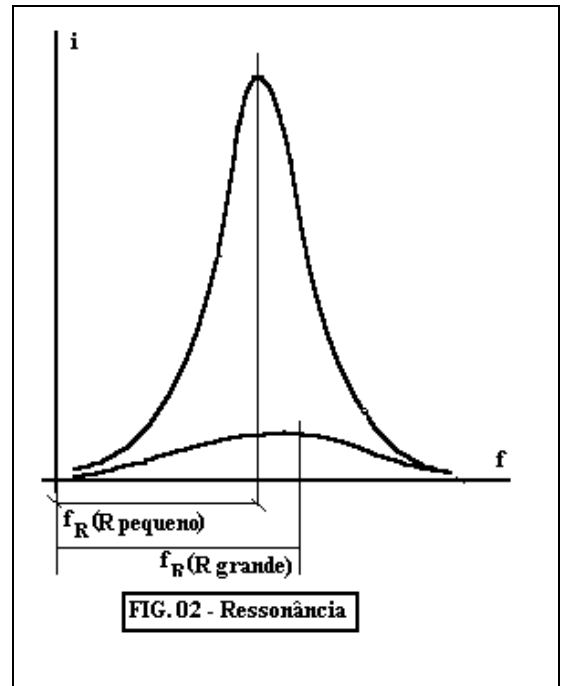
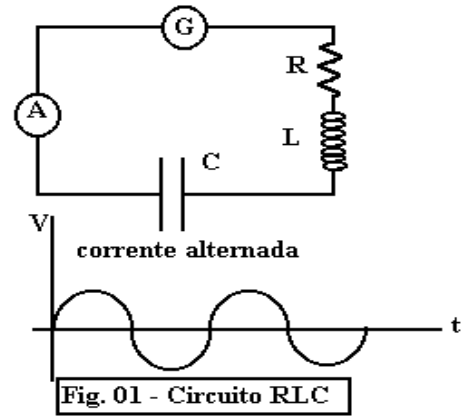
$$Q = \frac{2\pi E}{\Delta E} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E = \text{energia inicial total} \\ \Delta E = \text{energia perdida num ciclo} \end{array} \right.$$

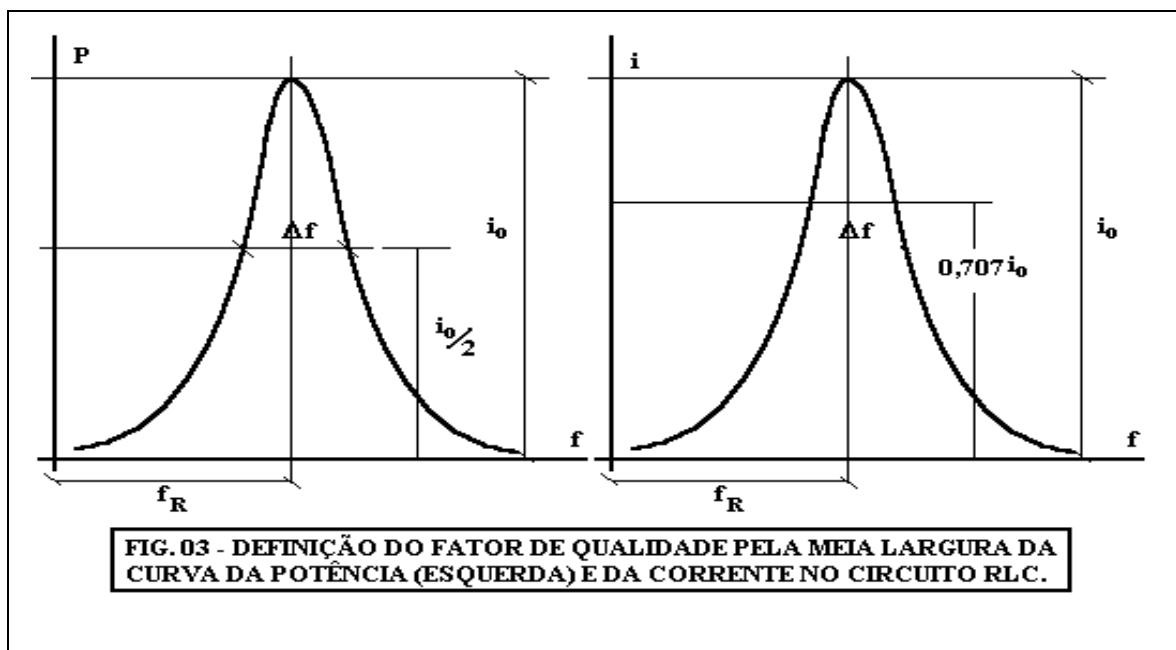
Fazendo os cálculos: $Q = \frac{\omega_0 L}{R} \approx \frac{\omega_0}{\Delta \omega} = \frac{f_R}{\Delta f} \rightarrow \Delta f = \text{largura no ponto médio do gráfico } P \times f.$

Nosso gráfico foi traçado com medidas de $i \times f$. R representa a resistência total do circuito incluindo o Resistor, o Amperímetro (cerca de 86Ω) e o indutor ($9,5 \Omega$).

Como a potência é calculada pela fórmula $P = R i^2$ concluímos que no ponto em que a função $P = f(i)$ atingir o valor correspondente a $(P_{MAX})/2$ a corrente correspondente será $i_{MAX} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 0,707 i_{MAX}$

Portanto, nesta posição do gráfico $i \times f$ deveremos determinar Δf para calcular Q .





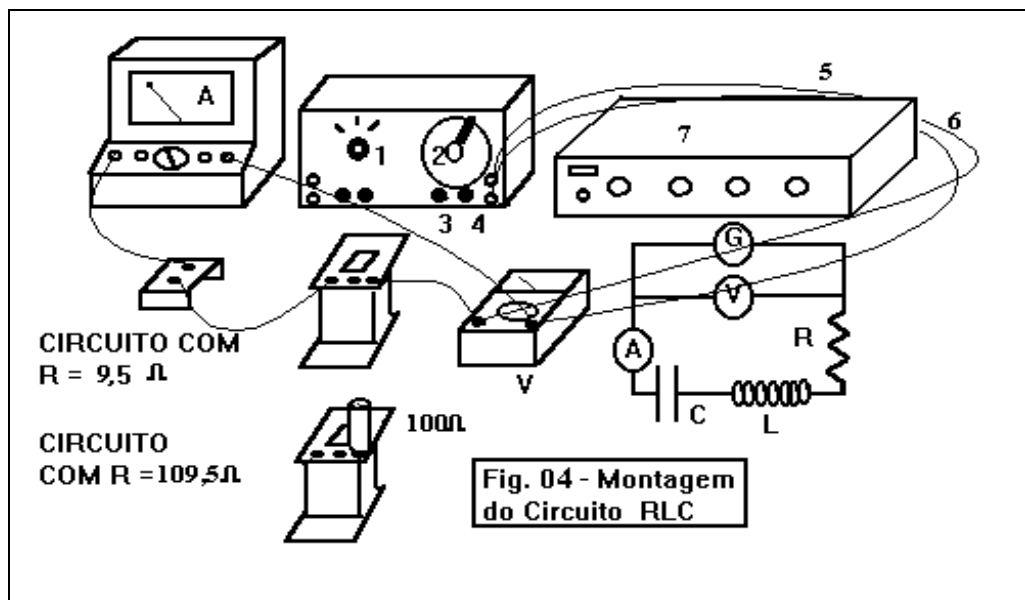
Aplicação do circuito RLC em sintonia de emissoras de rádio: Num circuito de alto “Q” é possível selecionar determinada frequência. Imaginando a antena em substituição ao gerador e a captação de várias frequências diferentes a seleção será feita pelo fato de só a frequência natural do circuito (f_0) apresentará uma “resposta”, isto é, uma corrente adequada a ser amplificada e ouvida nos alto-falantes.

Mudanças no valor de L com a colocação de núcleo de ferro no indutor: montamos o mesmo circuito RLC agora com a introdução de um núcleo de ferro no indutor. O valor de L vai aumentar e isto significa que a frequência de ressonância será menor. Alteramos a frequência do gerador, observando a corrente do circuito e mantendo a tensão constante, até atingir novamente a ressonância. Assim, podemos calcular a nova indutância da bobina com núcleo de ferro.

MONTAGEM I: LENTAMENTO DA CURVA DE RESSONÂNCIA

PROCEDIMENTO:

- (01) Confira as ligações do circuito;
- (02) Coloque (3) e (4) no mínimo (sentido antihorário);
- (03) Ligue o gerador e espere 5 min;
- (04) Ajuste a frequência em (1) e (2) conforme a tabela, no valor de f_0 ;
- (05) A onda senoidal gerada no gerador será amplificada e os fios que saem dele são ligados na entrada “auxiliar” do amplificador. A saída do amplificador é ligada ao circuito, conforme a fig. (02);



- (06) Antes de ligar o amplificador, coloque todos os seus “botões” em “zero” (sentido antihorário);
- (07) Coloque a escala do amperímetro em 0,001 A (CA ~) e o voltímetro em 2,5 V (CA ~);

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 7: Campo de Solenóides

OBJETIVOS: Testar a Lei de Ampère quando o campo de um Solenóide atua num Dipolo Magnético.

TEORIA: Um Solenóide é uma bobina com $L \gg D$. O campo magnético num ponto central é calculado por:

$$B = \mu_0 n i \quad (01)$$

μ_0 = Permeabilidade Magnética $4\pi \cdot 10^{-7} (\text{Wb} / \text{Am})$.

i_0 = corrente no fio do enrolamento (A)

n = número de espiras por unidade de comprimento (m^{-1})

Um Dipolo Magnético (pequeno ímã) colocado num campo magnético sofre a ação de um torque: $\vec{\ell} = \vec{\mu} \times \vec{B} \rightarrow \tau = \mu B \sin \theta$

Estando o ímã num suporte preso a um fio que torce quando o conjunto gira: $\tau = k \Delta\theta$ (02)

$$K\Delta\theta = \mu\mu_0 i_0 n \sin \theta \quad (03)$$

(k = Constante elástica do fio)

$$\frac{\Delta\theta}{\sin \theta} = \left(\frac{\mu\mu_0}{k} \right) n i_0 \quad (04)$$

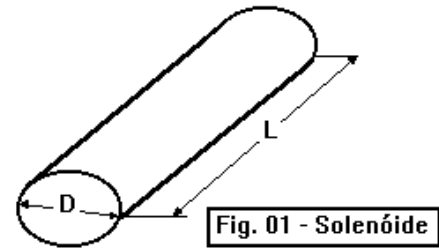


Fig. 01 - Solenóide

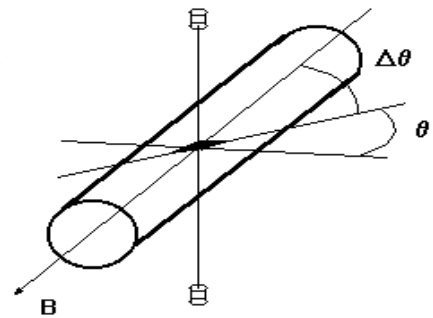


Fig. 02 - Dipolo Magnético

MONTAGEM:

O pequeno ímã é colocado no suporte cilíndrico da "Balança de Torção" (1).

O conjunto pode girar com amortecimento através da água colocada num beacker (2).

As bobinas podem ser ligadas na situação n ou $2n$ e isto é controlado pela posição da chave elétrica (3).

A corrente é gerada e medida na própria fonte (4).

O ângulo de giro do ímã é determinado pelo desvio do raio luminoso emitido em (5), refletido no espelho (6) e observado na escala (7).

Para evitar perturbações, a fonte e a chave elétrica estão em mesa separada.

Para diminuir a influência do Campo Magnético Terrestre, o conjunto foi montado de tal modo que na situação de repouso, o ímã fica paralelo ao mesmo.

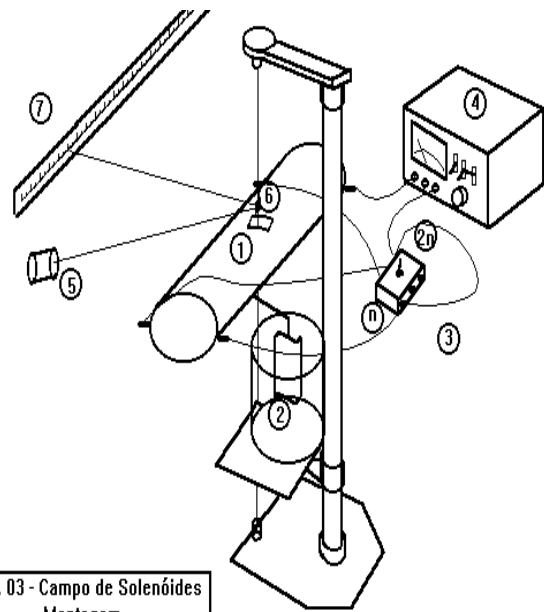


Fig. 03 - Campo de Solenóides Montagem

FUNCIONAMENTO DA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA:

1-2: bornes de saída da tensão contínua;

3: Ajuste da tensão de saída: ao ligar, a fonte deve estar no mínimo (anti-horário);

4: Seleciona a função do medidor da Fonte (Voltímetro e Amperímetro);

5: Controla o limitador de corrente (1,5 A);

- Observe a escala do medidor para a leitura da corrente de acordo com a posição do limitador de corrente.

- Só ligue a fonte com o ajuste (4) em zero. Gire este botão lentamente para evitar excesso de corrente.

6: Liga e desliga a fonte.

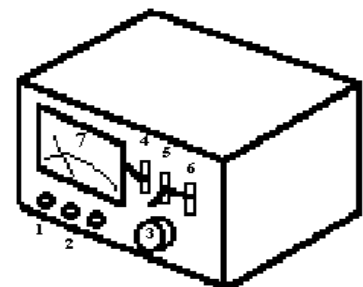


FIG. 04 - FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA

PROCEDIMENTO I: Campo Magnético do Solenóide.

(01) Observe na montagem auxiliar (na mesa maior) o mecanismo e a posição do ímã;

(02) Girando ou deslocando as bobinas, deixe o mecanismo livre para oscilar;

(03) Regule a posição do contrapeso para manter o braço do amortecedor na horizontal;

(04) Ajuste a posição do raio luminoso na escala (em zero): A distância entre a lente da lâmpada e o espelho deve ser aproximadamente 30 cm;

(05) A escala é colocada a 100 cm do espelho e o raio deve atingi-la perpendicularmente;

(06) Quando o espelho girar de um ângulo $\Delta\theta$ o raio luminoso girará de $2\Delta\theta$ e este ângulo pode ser determinado por:

$$\Delta\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{x}{D} \right) \quad (05)$$

(07) Depois de conferir as conexões dos fios, ligue o circuito faça medidas de x em função de i_0 , conforme as tabelas do relatório;

(08) As bobinas têm área transversal de $0,011 \text{ m}^2$;

(09) A parte elétrica foi montada em mesa separada para evitar perturbações durante as medidas: não toque na mesa onde está a Balança de Torção.

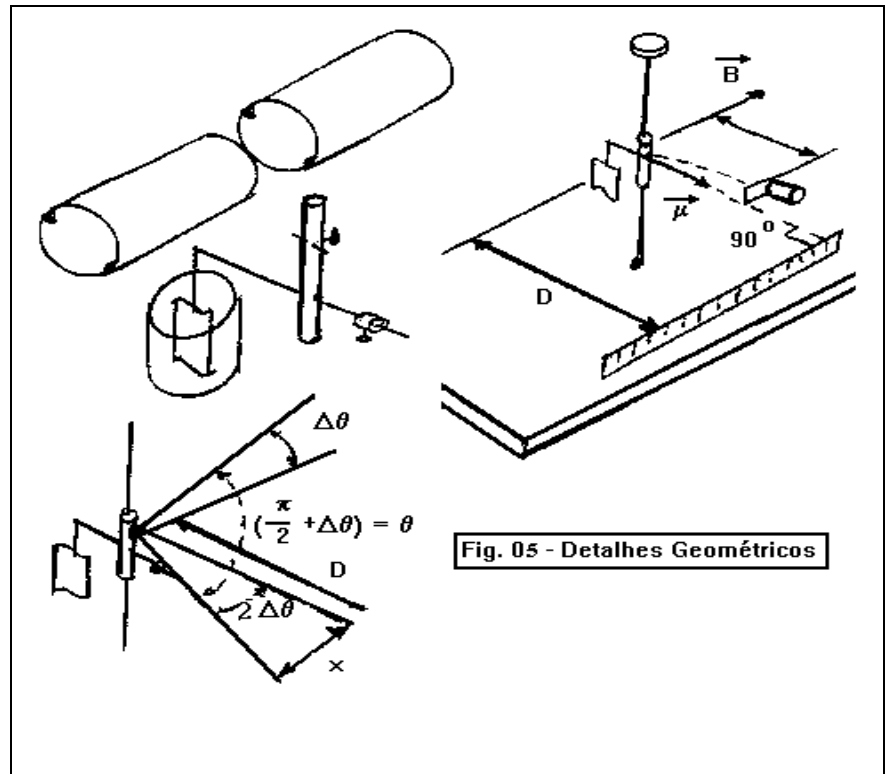


Fig. 05 - Detalhes Geométricos

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 8: Campo Magnético Terrestre

OBJETIVOS: Determinar o Campo Magnético da Terra

TEORIA: O Campo Magnético Terrestre tem sua origem atribuída à presença de metais pesados, em estado pastoso, no interior da Terra. Os cientistas começaram a desconfiar desse tipo particular de constituição do planeta quando perceberam que sua densidade média é $5,3 \text{ g/cm}^3$ enquanto a densidade das primeiras camadas da crosta (SiMa e SiAl) não passa de $2,5 \text{ g/cm}^3$.

Metais com densidade alta (acima de 7 g/cm^3) como o ferro, o cromo e o níquel (materiais magnéticos) existir nas camadas mais internas.

Vemos na Fig. (01) o campo magnético B_T formando um ângulo α com a direção horizontal, em Recife. Esse ângulo é chamado de "declividade magnética local".

Vamos chamar de B_H a componente horizontal de B_T :

$$B_H = B_T \cos \alpha \quad B_T = \frac{B_H}{\cos \alpha} \quad (01)$$

Nesta experiência vamos determinar o valor de B_H medindo o efeito de um campo magnético conhecido "B" sobre uma agulha de bússola.

O Campo B será produzido por um conjunto de bobinas que têm a separação igual ao raio (Fig. 02).

Esse arranjo (conhecido como "Bobinas de Helmholtz") forma um campo magnético uniforme na região central, calculado por:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 N i}{R} \quad (02)$$

μ_0 = permeabilidade magnética no vácuo = $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ W/Am}$

N = número de espiras de cada bobina = 130

R = raio da bobina = 0,150 m

Com esses valores: $B = 7,789 \times 10^{-4} i$ (03)

Colocando-se i em A, B estará em W/m^2 ou T.

Na experiência, antes de ligar a corrente, deixamos a agulha de bússola paralela a B_H girando adequadamente a base das bobinas.

Quando estabelecemos a corrente a agulha gira pelo efeito do torque de um dipolo num campo magnético:

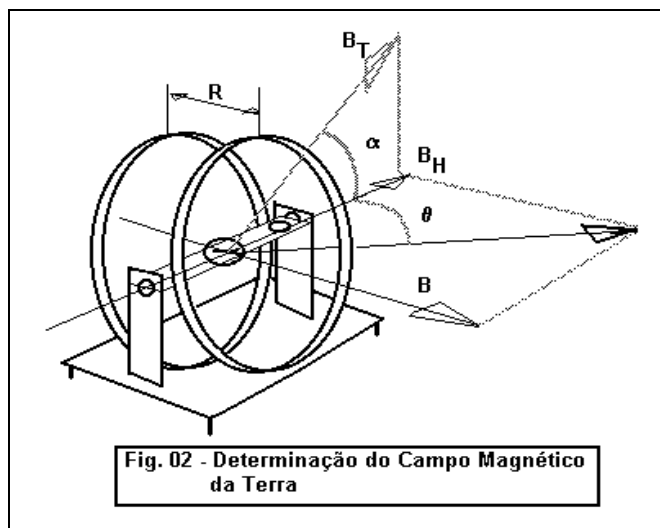
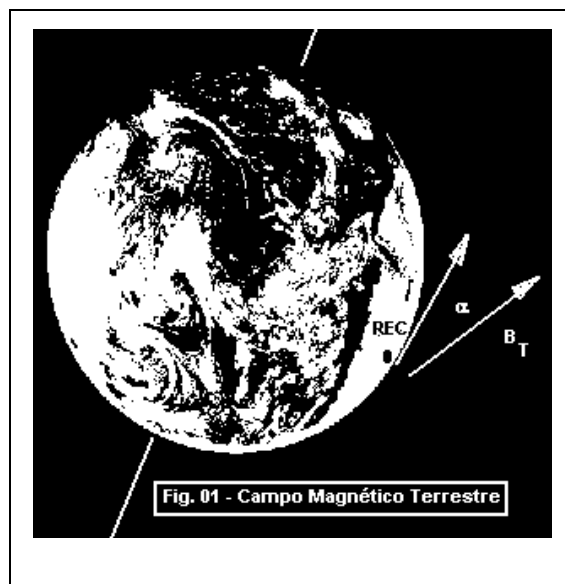
$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \rightarrow \tau = \mu B \sin \theta \quad (04)$$

Observando a Fig. (02) notamos que: $B_H = B \cot \theta$ (05)

Juntando (03) e (05), chegamos a: $B_H = 7,789 \times 10^{-4} i \cot \theta$ (06)

A partir de (06): $i = \frac{B_H}{7,789 \times 10^{-4}} \tan \theta$ (07)

Usando então, a Eq. (01) podemos determinar B_T desde que conheçamos a declividade magnética em Recife.



MONTAGEM

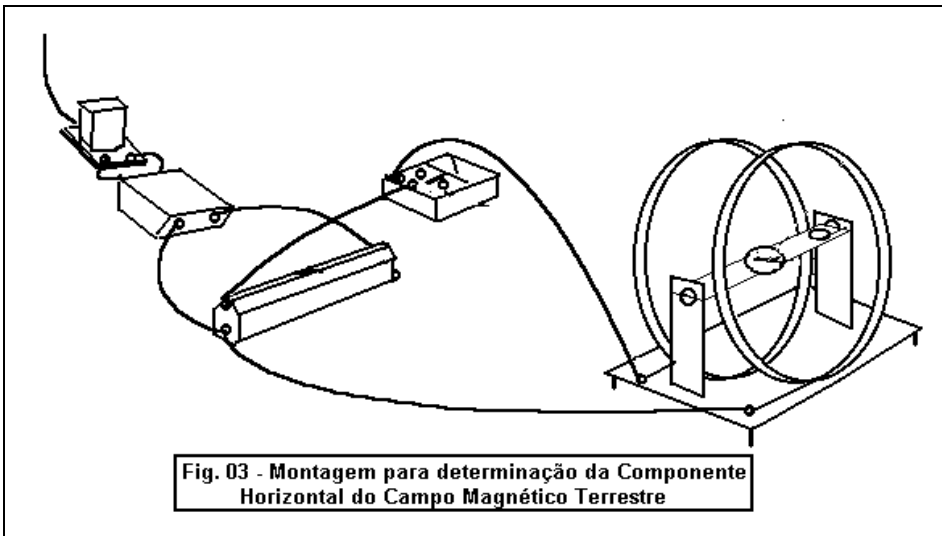


Fig. 03 - Montagem para determinação da Componente Horizontal do Campo Magnético Terrestre

O circuito apresenta um divisor de tensão formado por um potenciômetro para controle da corrente do circuito.

A fonte é constituída por um transformador e um retificador.

A polaridade das ligações deve ser respeitada: no retificador e no multímetro o terminal vermelho corresponde ao polo positivo.

Se for necessário inverter a polaridade para conseguir deflexão da agulha de bússola na direção correta basta inverter os fios na ligação às bobinas.

O multímetro estará sempre na escala de 100 ma, corrente contínua.

A base tem um nível esférico e quatro parafusos para ajuste e nivelamento.

A regulagem da corrente com o poten-

ciômetro é feita deslocando-se o seu cursor. Quando este está no lado esquerdo (na figura) a corrente é mínima.

A bússola e o nível estão adequadamente fixadas.

A Fig. (04) mostra a medida da declividade magnética:

(A)- O aro circular onde está colocada a bússola é colocado na horizontal. A agulha fica livre para oscilar no plano horizontal, em torno do eixo vertical, e naturalmente aponta para o norte.

(B)- A base é girada de modo que a direção da agulha coincida a direção das duas hastes de suporte.

(C)- O conjunto com as duas hastes de suporte é girado de 90° deixando o eixo da agulha no plano horizontal, perpendicular à direção N - S. A agulha da bússola fica orientada na direção do campo magnético terrestre e α é a medida da declividade magnética.

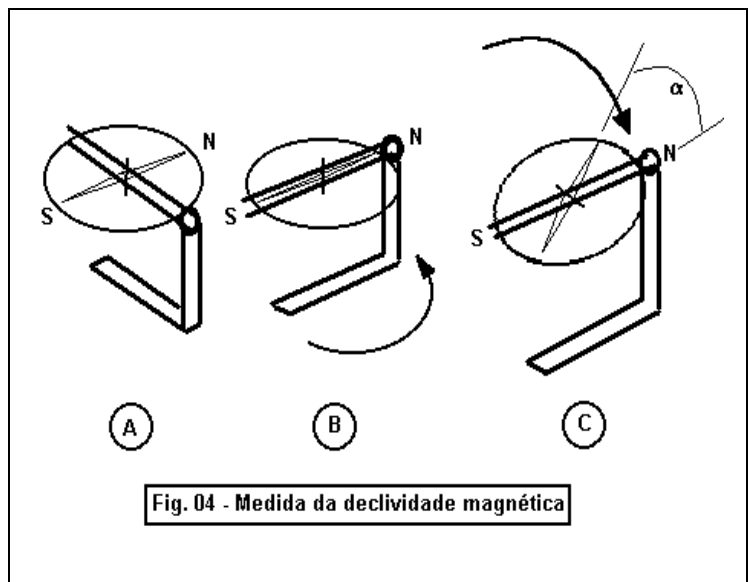


Fig. 04 - Medida da declividade magnética

PROCEDIMENTO

- (1)- Gire a base das bobinas de Helmholtz de modo que a agulha da bússola aponte N - S;
- (2)- Nivele usando os quatro parafusos da base;
- (3)- Confira as ligações do circuito e coloque o cursor do reostato próximo ao borne vermelho;
- (4)- Coloque o multímetro na escala de 100 mA;
- (5)- Ligue a fonte e meça a corrente para os ângulos indicados na Tabela 1 do Relatório;
- (6)- Execute os passos da Fig. (04) para determinar a declividade magnética.

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 9: Lentes Convergentes

OBJETIVOS: Comprovar a Equação das Lentes Convergentes Determinar a Distância Focal e o Tamanho do Objeto.

TEORIA: Formação de Imagem numa Lente Convergente

RAIO 1: Passa pelo foco e é refratado paralelamente;

RAIO 2: Passa pelo vértice e prossegue sem desvio.

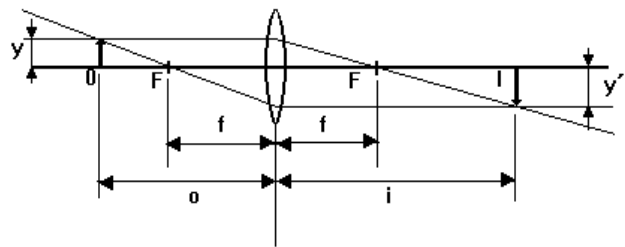


Fig. 01 - Construção da imagem real

f = Distância Focal

o = Distância do Objeto

i = Distância da Imagem

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

y = Tamanho do Objeto

y' = Tamanho da Imagem

m = Amplificação Transversal

$$m = \frac{y'}{y} \rightarrow \frac{y'}{y} = \left| \frac{i}{o} \right|$$

Na figura a imagem é: REAL, INVERTIDA, AUMENTADA (A imagem real pode ser vista numa tela.)

Quando o Objeto está situado entre o foco e o vértice a imagem é: Virtual, direita, aumentada ou diminuída em função dos valores de "o" e "f".

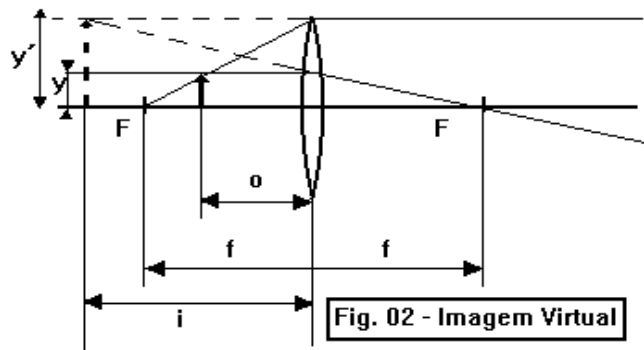


Fig. 02 - Imagem Virtual

A análise destas relações pode ser feita numericamente pela comparação entre os valores de f e y encontrados pelo cálculo a partir das medidas e os valores teóricos correspondentes.

Também pode ser realizada graficamente por dois processos:

(I) - Análise com o gráfico $\text{mm} (1/o) \times (1/i)$.

$$\frac{1}{o} = \frac{1}{f} - \frac{1}{i} \rightarrow Y = B + AX \rightarrow Y \equiv \frac{1}{o} \rightarrow B \equiv \frac{1}{f}$$

$$A = -1 \rightarrow X \equiv \frac{1}{i} \quad \text{NO GRÁFICO:}$$

$$A = \frac{CO(\text{mm}) \div M_{\frac{1}{o}}}{CA(\text{mm}) \div M_{\frac{1}{i}}} \rightarrow B = \left[CO(\text{mm}) \div M_{\frac{1}{o}} \right]$$

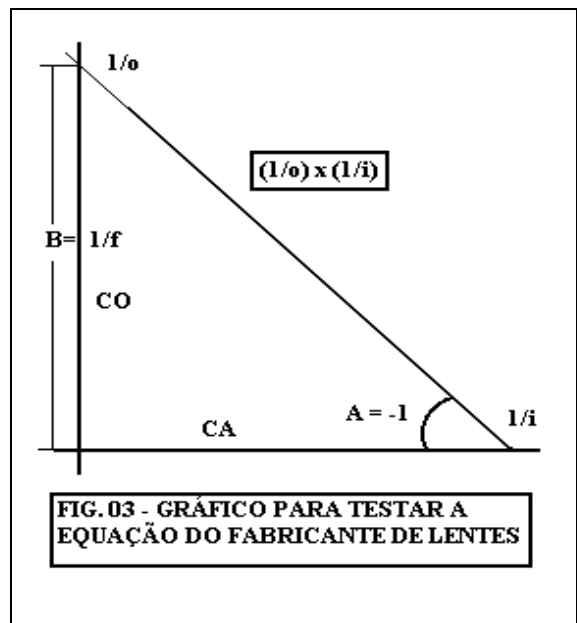


FIG. 03 - GRÁFICO PARA TESTAR A EQUAÇÃO DO FABRICANTE DE LENTES

(II) - Análise com o gráfico mm (o) x (i) determinação de f.

O gráfico deve ser traçado com módulos idênticos nos dois eixos. Desse modo, traçando-se a bissetriz do quadrante, tem-se no seu encontro com a curva um ponto de abscissa igual à ordenada.

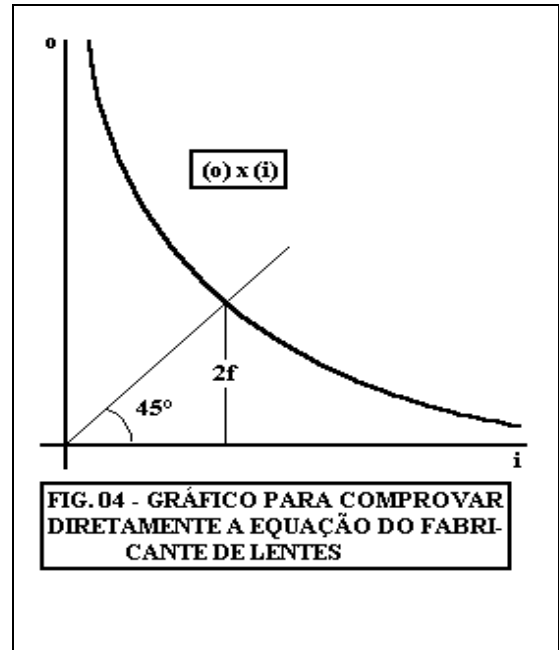
DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL:

Na equação:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{o} = \frac{1}{i} \rightarrow \frac{1}{2i} = \frac{1}{2o} = \frac{1}{f}$$

Conclusão: $f = 2o$

A abscissa ou ordenada no ponto de interseção da bissetriz com a curva vale $f/2$

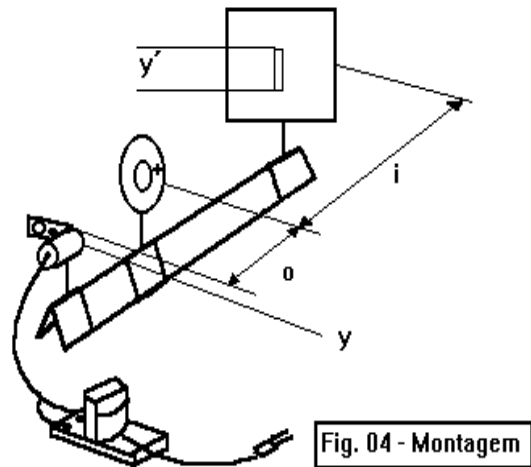


MONTAGEM:

A fonte de luz tem uma lente condensadora com um cursor que possui algumas fendas. Usaremos a fenda retangular para facilitar a focalização: Este é o objeto cuja imagem será observada na tela. A figura (04) mostra como devem ser feitas as medidas de o, i e y'.

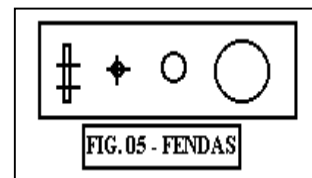
PROCEDIMENTO I: DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA DA IMAGEM E DO SEU TAMANHO

- (01) Centralize a lâmpada no soquete usando os três parafusos da sua base;
- (02) Coloque a fenda do cursor que servirá de objeto no centro do soquete, deslocando-o;
- (03) Centralize a lente relativamente ao objeto;
- (04) Estabeleça a distância "o" da tabela e ligue a lâmpada;
- (05) Desloque a tela até conseguir a imagem nítida. Meça y' e i;
- (06) Repita para um outros valores de o.
- (07) Meça também o valor de y (tamanho do objeto).



PROCEDIMENTO II: DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA FOCAL DE UMA LENTE CONVERGENTE COM UMA SÓ MEDIDA

- (08) Instale a fenda de maior diâmetro;
- (09) Coloque a lente o mais afastada possível da fonte de luz;
- (10) Coloque a tela após a lente;
- (11) Desloque a tela até conseguir a maior focalização possível da imagem da fenda;
- (12) A distância entre a lente e a tela é a distância focal.



EXPERIÊNCIA 10: Refração num Prisma

OBJETIVOS: Descobrir a Relação entre (n) e (λ) . A relação teórica entre o índice de refração e o comprimento de onda é difícil de obter tendo em vista a grande quantidade de fatores que influem, tais como:

- composição do material;
- presença de impurezas;
- forma de cristalização;
- processo de fabricação;
- etc.

TEORIA: Um raio de luz na direção (1-4), sofre refração ao entrar no prisma; segue dentro do prisma pelo caminho (1-2), volta ao ar numa segunda refração e sai em (2) na direção (4-2): θ é o desvio total entre as direções (1-4) e (4-2). Aplicando a lei de Snell a estas duas refrações:

$$\begin{cases} \text{sen } \theta_1 = n \text{ sen } \theta_2 \\ \text{sen } \theta_3 = n \text{ sen } \theta_4 \end{cases} \quad (01)$$

$$\Delta 142 \rightarrow \begin{cases} \theta = \alpha + \beta \\ \alpha = \theta_1 - \theta_2 \\ \beta = \theta_4 - \theta_3 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_1 - \theta_2 + \theta_4 - \theta_3 \\ \theta &= \theta_1 + \theta_4 - (\theta_2 + \theta_3) \end{aligned} \quad (02)$$

$$\Delta 152 \rightarrow A + \frac{\pi}{2} - \theta_2 + \frac{\pi}{2} - \theta_3 = \pi \quad A = \theta_2 + \theta_3 \quad (03)$$

$$\text{ou } \rightarrow \Delta 132 \rightarrow A = \theta_2 + \theta_3$$

$$(02) \rightarrow \theta = (\theta_1 + \theta_4) - A \quad (04)$$

Se $(1-2) \parallel (6-7)$ $\theta_1 = \theta_4 \rightarrow \theta_2 = \theta_3 \rightarrow (02) \rightarrow \alpha = \beta$ (Essa condição de Desvio mínimo é demonstrada em seguida)

Os triângulos (142) e (132) são isósceles e $(\overline{1-3}) = (\overline{2-3}) \rightarrow (\overline{1-4}) = (\overline{2-4})$

Os pontos 3, 4 e 5 estão alinhados na altura do triângulo (567)

Nesse caso (04) dá:

$$\begin{aligned} A + \theta &= \theta_1 + \theta_4 = 2\theta_1 \rightarrow \text{sen}\left(\frac{A + \theta}{2}\right) = \text{sen}(\theta_1) \\ \text{sen}\left(\frac{A + \theta}{2}\right) &= n \text{ sen}(\theta_2) = n \text{ sen}\left(\frac{A}{2}\right) \\ n &= \frac{\text{sen}[0,5(A + \theta)]}{\text{sen}(0,5A)} \end{aligned} \quad (05)$$

Na prática, a situação citada para o raio (1-2), que pode ser vista dentro do prisma, é denominada de "DESVIO MÍNIMO". Usando um prisma equilátero,

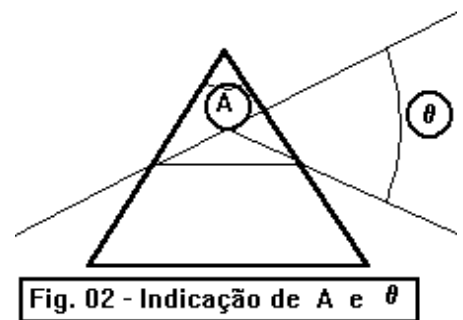
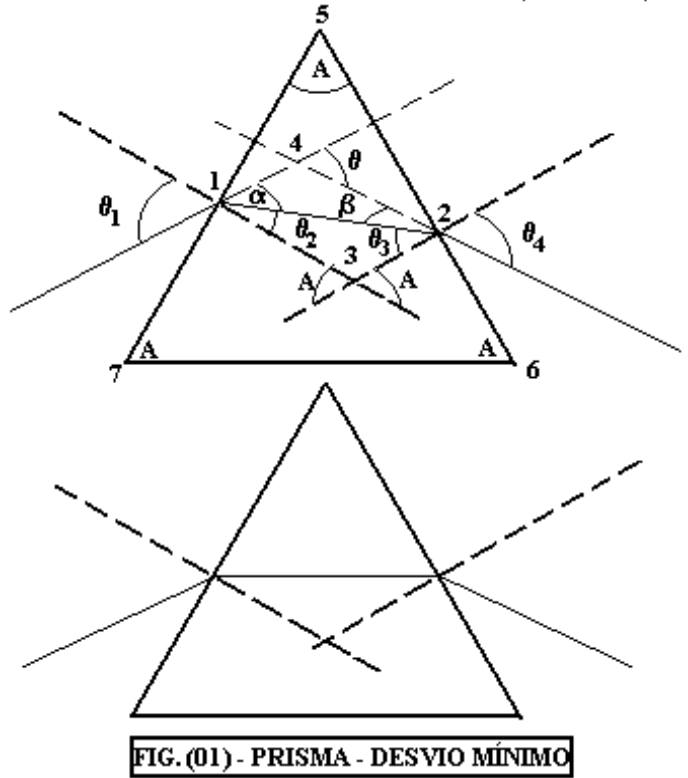
$$A = 60^\circ, e: \quad n = 2 \text{ sen}(0,5\theta_{\text{mín}} + 30^\circ)$$

Girando o prisma e observando a posição do espectro é fácil localizar a posição correspondente ao desvio mínimo.

CONDIÇÃO DE DESVIO MÍNIMO:

Retomando a Eq. (04) $\theta = (\theta_1 + \theta_4) - A$, sabemos que o valor mínimo de θ ocorre quando a primeira derivada for nula e a segunda for positiva. A primeira derivada é:

$$d\theta = \frac{d\theta_1}{d\theta} + \frac{d\theta_4}{d\theta} = 0 \rightarrow \frac{d\theta_1}{d\theta} = -\frac{d\theta_4}{d\theta} \rightarrow \theta_1 = \arcsen(n \text{ sen } \theta_2) \rightarrow \theta_4 = \arcsen(n \text{ sen } \theta_3)$$



$$\frac{1}{\sqrt{1-(n \operatorname{sen} \theta_2)^2}} \left(n \frac{d\theta_2}{d\theta} \right) = - \frac{1}{\sqrt{1-(n \operatorname{sen} \theta_3)^2}} \left(n \frac{d\theta_3}{d\theta} \right) \quad (06)$$

De (03): $A = \theta_2 + \theta_3 \rightarrow \theta_2 = A - \theta_3 \rightarrow \frac{d\theta_2}{d\theta} = - \frac{d\theta_3}{d\theta}$ (07)

(07) em (06): $\frac{1}{\sqrt{1-(n \operatorname{sen} \theta_2)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-(n \operatorname{sen} \theta_3)^2}} \rightarrow \theta_2 = \theta_3$ (08)

Para testar se esta condição corresponde a um mínimo, calculemos a segunda derivada

$$d^2\theta = \frac{d^2\theta_1}{d\theta^2} + \frac{d^2\theta_4}{d\theta^2} \quad (09)$$

A condição (08) implica em serem iguais os ângulos θ_1 e θ_4 . A expressão (09) é positiva e (08) corresponde ao desvio mínimo.

A condição geométrica de desvio mínimo decorre do fato de termos a igualdade desses ângulos (08).

MONTAGEM:

(01) Sem o prisma, ajuste a posição das lentes (02) e (04) de modo a conseguir uma imagem nítida da fenda (03) na tela (06);

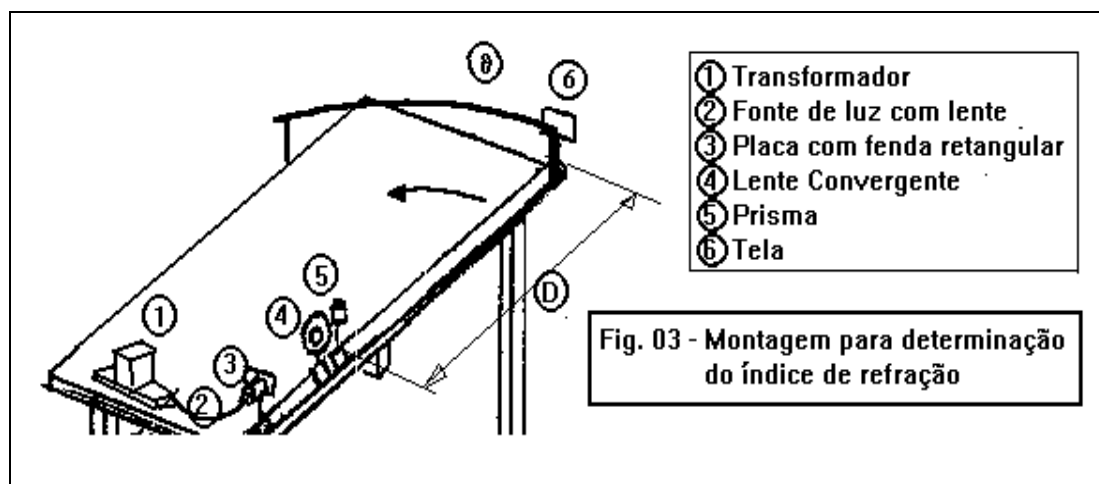
(02) Coloque o prisma e localize a posição correspondente ao desvio mínimo (gire o banco óptico para poder observar na tela pequena);

(03) Observe a posição central das bandas correspondentes à emissão do filamento de Tungstênio;

(04) Use a tela (06) olhando-a por trás;

(05) Tome a parte central de cada cor para medir o seu deslocamento ao longo da escala circular.

ESPECTRO VISÍVEL	
COR	$\lambda (10^{-10} \text{ m}) (\text{Å}^0)$
Violeta	4150
Anil	4650
Azul	4950
Verde	5300
Verde - Amarelo	5625
Amarelo	5800
Laranja	6025
Vermelho	6900



(06) Para determinar o ângulo de desvio de cada cor dividimos o arco medido na escala circular S (cm) pelo raio (D) (cm). O ÂNGULO ESTARÁ EM RADIANOS.

(07) Usaremos três tipos de prisma para comparar suas características e entender suas aplicações (vidro FLINT, vidro CROWN e vidro de QUARTZO FUNDIDO).

(08) Para facilitar os cálculos é possível ajustar o valor de D em 100,0 cm.

OBJETIVOS: Determinação de comprimentos de onda do Espectro do Vapor de Mercúrio com uma Rede de Difração.

TEORIA: A fig. (01) apresenta o modelo de propagação da luz atribuído a Huygens e Fresnel. A luz emitida em (1) propaga-se em frentes de onda esféricas (observação experimental quando lançamos uma pedra num lago).

De acordo com este modelo cada ponto da frente de onda funciona como nova fonte. Procuramos mostrar isto na frente 2 onde vemos que as ondas secundárias aí geradas formam, por interferência a frente 3 (não traçada) e em seguida a frente 4 (traçada).

Havendo um anteparo, como em (5) as ondas secundárias geradas em seu limiar originam um feixe divergente em (6) como se a luz estivesse "contornando" um obstáculo.

Este efeito é chamado de Difração

Na Fig. (02) vemos a interferência produzida por difração em duas fendas.

A luz emitida da esquerda atinge as duas fendas no mesmo instante gerando aí ondas secundárias que sofrem difração e passam a interferir. É possível ver a formação de regiões de interferência onde se formam máximos de luminosidade e que designamos por $m = 0$, $m = 1$ e $m = 2$ (máximo central e máximos secundários). Essa interferência ocorre porque há uma diferença de percurso entre os raios que saem da fenda superior e inferior (b , na figura).

A condição para formar máximos de interferência é ter essa diferença de percurso igual a um número inteiro de comprimentos de onda. Para o 1º máximo ($m = 1$) $b = \lambda$.

A figura mostra que $b = a \sin \theta$ e assim concluímos que a posição dos máximos na DIFRAÇÃO numa rede de separação 'a'.

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{a}$$

" θ " é o ângulo entre a direção de ocorrência do 1º máximo e do máximo central; "m" é a ordem dos m máximos ($m = 0$; máximo central) ($m = 1$; 1º. máximo) a é a separação entre as fendas (a, em m, é o inverso do número de fendas por unidade de comprimento). λ é o comprimento de onda ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$). Com $m = 1$:

$$\lambda = a \sin \theta \rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{d}{D}\right)$$

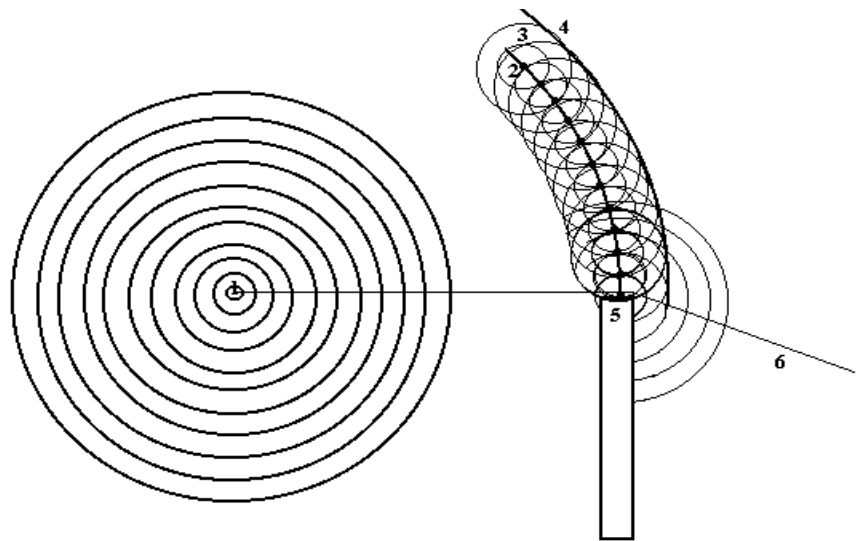


FIG. (01) - PRINCÍPIO DE HUYGHENS-FRESNEL PARA O MODELO DE PROPAGAÇÃO DA LUZ

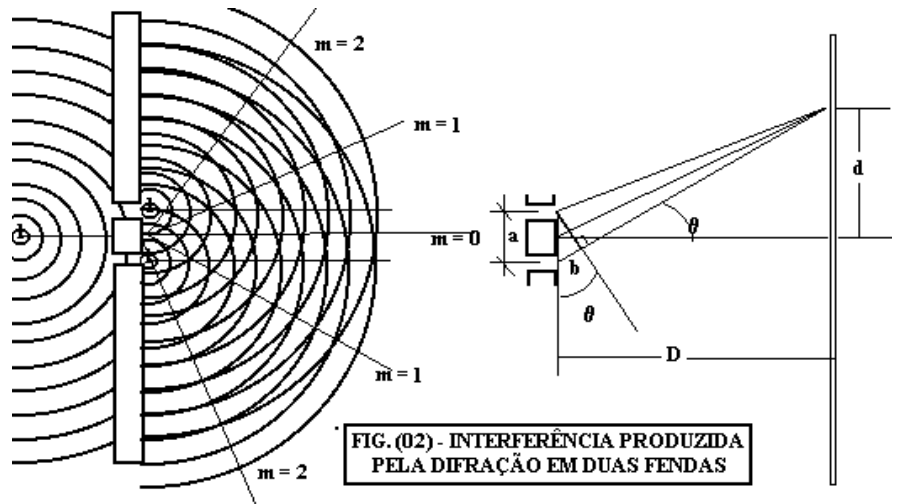


FIG. (02) - INTERFERÊNCIA PRODUZIDA PELA DIFRAÇÃO EM DUAS FENDAS

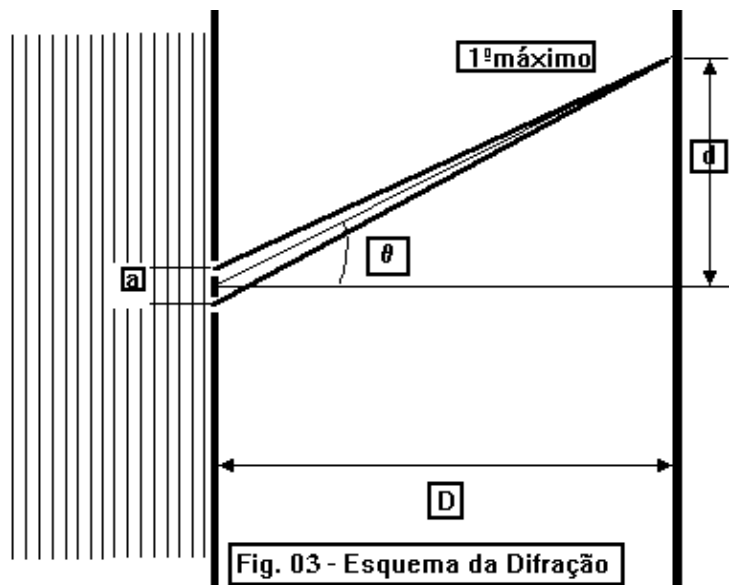
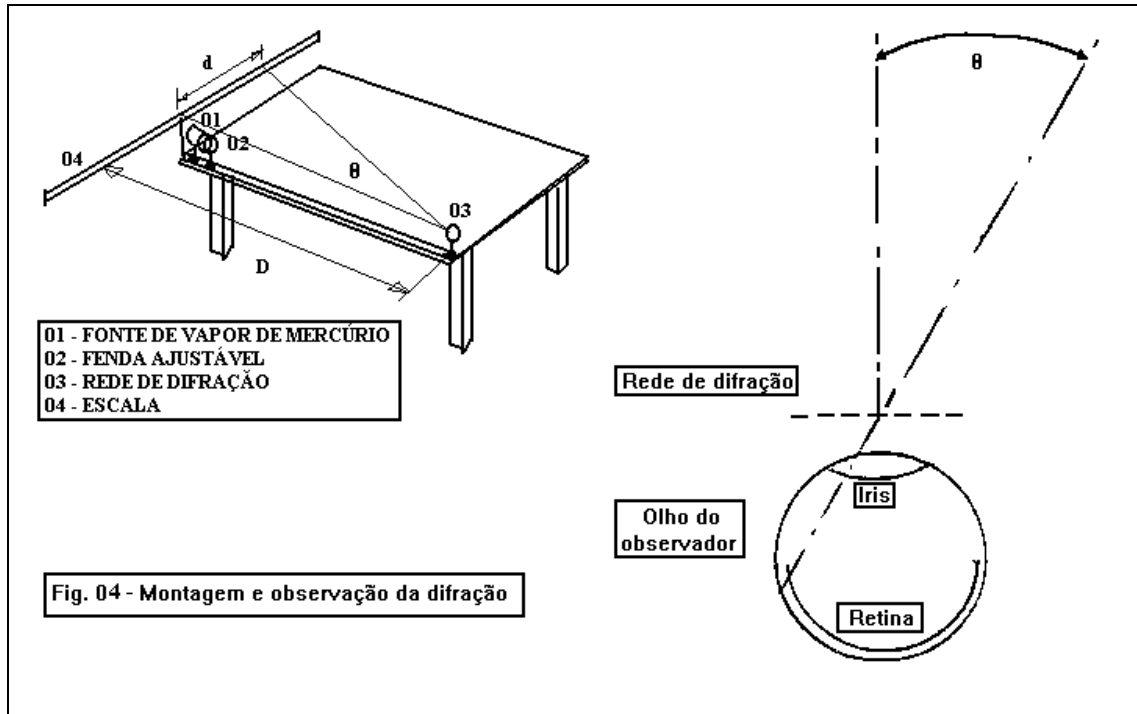


Fig. 03 - Esquema da Difração

MONTAGEM:

- (01) Fonte de Luz (vapor de Hg)
- (02) Fenda ajustável
- (03) Rede de Difração (570 linhas/mm)
- (04) Escala com dois Indicadores da posição das raios espectrais.



PROCEDIMENTO:

- (01) A linha (2) - (3) da figura deve ser perpendicular à escala (4);
- (02) A lâmpada é colocada de modo que a fenda fique no centro da escala;
- (03) Observe através da fenda de modo a ver a posição das raias à direita e à esquerda;
- (04) Anote estas posições;
- (05) Calcule distância entre estas posições e divida por dois (d);
- (06) A distância entre a escala e a rede é D;
- (07) Observe as raias bem definidas da emissão do vapor de mercúrio sobre o espectro contínuo do filamento da lâmpada;
- (08) A imagem observada nesta experiência é virtual. A luz penetra no globo ocular do observador e atinge a retina. O mecanismo da visão faz com que interpretemos a fonte dessa impressão na direção da reta de incidência. É assim que vemos as raias coloridas dos dois lados da escala. É uma espécie de “ilusão de ótica”.

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 12 - Campo de Bobinas Circulares

OBJETIVOS : Estudar o comportamento de um Dipolo Magnético num Campo Magnético externo.

TEORIA: O Campo magnético de uma Bobina circular de raio R a uma distância x do centro ao longo de um eixo perpendicular ao seu plano é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 N_0 i_0 R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (01)$$

No centro da bobina: $B = \frac{\mu_0 N_0 i_0}{R} \quad (02)$

μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo, igual a $4\pi \times 10^{-7}$ W/Am. (Usaremos $i_0 = 5$ A)

Na Experiência, colocaremos uma pequena bobina de seção retangular ($50 \times 70 \text{ mm}^2 = 0,0035 \text{ m}^2$) e 100 espiras, no centro da bobina circular e perpendicularmente à sua área.

Quando uma corrente i circular nesta bobina formar-se-á um *Dipolo Magnético de Momento*

$$\mu = NiA = 0,35 i \quad (03)$$

Este Momento estará inicialmente perpendicular ao campo magnético criado pela corrente i_0 na bobina circular e sofrerá a ação de um torque dado por:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (04)$$

O módulo desse torque será: $\tau = \mu B \sin \theta$

$$[\theta = (\pi/2) + \Delta\theta] \quad (05)$$

Sob a ação do torque o dipolo gira de um ângulo $\Delta\theta$ provocando uma reação elástica de torção no fio, dada por

$$k\Delta\theta \left(\begin{array}{l} k = \text{constante elástica} \\ \text{do fio de suspensão} \end{array} \right) \quad (06)$$

Quando houver equilíbrio entre estes dois agentes:

$$k\Delta\theta = \mu B \sin \theta = \frac{NiA\mu_0 N_0 i_0}{R} \sin \theta \quad (07)$$

Daí tiramos: $\frac{\Delta\theta}{\sin \theta} = \frac{0,35\mu_0 5 N_0 i}{R k} = \frac{1,75\mu_0 N_0 i}{k R} \quad (08)$

Finalmente: $\frac{\Delta\theta}{\sin \theta} = \frac{1,75\mu_0}{k} \left(\frac{N_0 i}{R} \right) \quad (09)$

Testaremos esta equação. N_0 e R serão variados em duas bobinas com as seguintes características:

BOBINA MAIOR = 5 ou 10 espiras (BM) R = 0,200 m **BOBINA MENOR = 5 ou 10 espiras (Bm) R = 0,100 m**

MONTAGEM

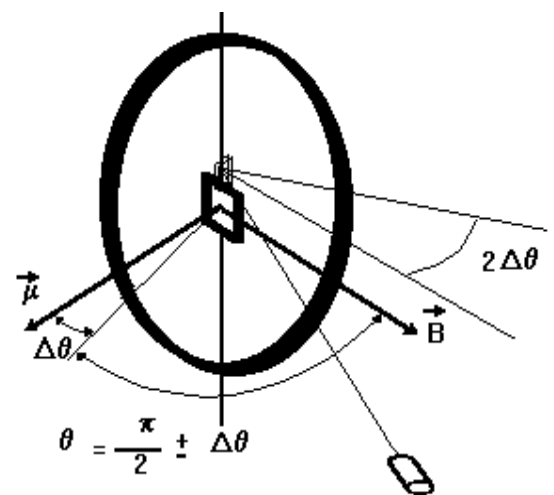


Fig. 02 - Dipolo num Campo Magnético

MONTAGEM

A bobina pequena é montada perpendicularmente ao plano das bobinas grandes (Fig. 3) de tal modo que o ângulo entre μ e B é inicialmente de 90° .

A luz que é emitida atinge o espelho colocado no suporte da bobina pequena e reflete-se numa escala afastada de uma distância D .

Com o sistema em repouso (atenção ao amortecimento das vibrações na água) a posição do raio luminoso na escala deve ser marcada como a origem das medidas de x .

Quando um espelho gira de um ângulo $\Delta\theta$, o raio refletido gira de $2\Delta\theta$.

Assim:

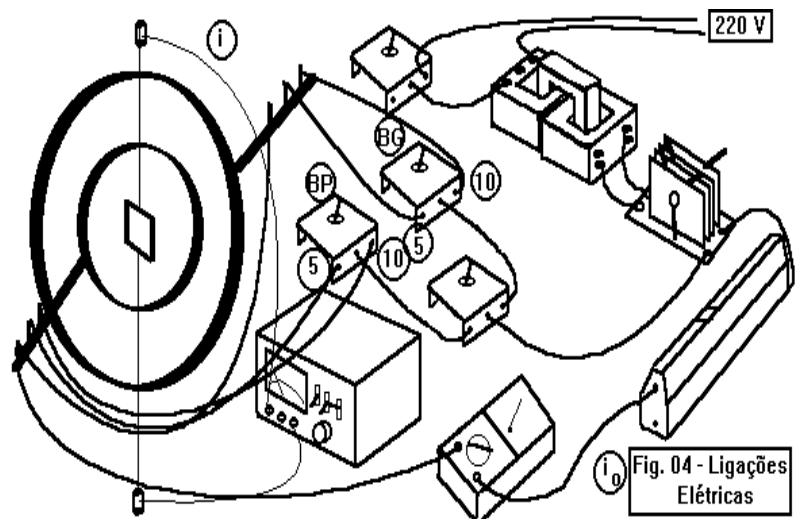
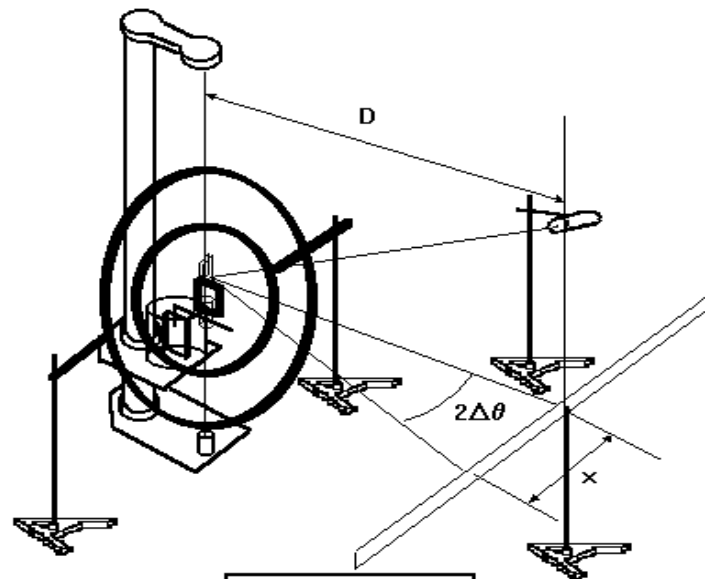
$$\Delta\theta = 0,5 \tan^{-1}(d/D) \quad (10)$$

É difícil conseguir a parada total do raio luminoso na escala. Quando a oscilação estiver reduzida a um mínimo deve-se considerar a posição média. A Fig. 04 apresenta as ligações elétricas e os dispositivos de alimentação das bobinas que são colocados numa mesa separada da montagem principal para evitar vibrações. O circuito que alimenta a BP está indicado com os fios mais finos. Antes de ligar a fonte verifique que o botão de ajuste esteja em "zero" (sentido antihorário). Os outros ajustes ficam indicando AMPÈRES e 1,5 A. Nesta situação cada divisão inferior da escala do instrumento indicará 0,050 A. O circuito de alimentação das Bobinas grandes tem três chaves elétricas de comutação para permitir a ligação da BM ou Bm com 5 ou 10 espiras. É só seguir as indicações. Antes de ligar a Fonte verifique que o botão de ajuste esteja em "zero" (sentido antihorário). O Instrumento de medida da corrente destas bobinas fica com o seletor na posição **DCmA**

- 250 & A (ATENÇÃO : Em outra posição, o instrumento queimar). A leitura da corrente de 5 A (fixa) será feita na escala DC μ A-mA & A. A corrente de 5 A fará esquentar o fio das bobinas e produz desgaste na Fonte e no Amperímetro. Assim, não deve ficar por muito tempo circulando. Quando parar por qualquer motivo, desligue a fonte.

PROCEDIMENTO: Campo de Bobinas Circulares

Siga as instruções do item anterior e observe bem as tabelas do Relatório. O mais importante é não tocar na mesa da montagem, verificar o nível de água do sistema de amortecimento e completar, desligar as fontes de alimentação quando não estiver efetuando medidas. NUNCA LIGAR AS FONTES ELÉTRICAS SEM ANTES CERTIFICAR-SE QUE O BOTÃO DE AJUSTE ESTEJA EM 'ZERO'.



EXPERIÊNCIA 13 : Polarização

OBJETIVOS: Comprovação da Lei de Malüs

TEORIA: Luz não polarizada com Intensidade I_0 atravessa um Polarizador com direção de passagem (1-1). A luz que passa está polarizada nesta direção e tem intensidade $I_0/2$.

Esta luz atravessa um segundo polarizador com direção (2-2).

A luz resultante está polarizada nesta direção e tem intensidade igual a

$$\left[I_0 \cos^2(\theta_0/2) \right] \quad (\text{Lei de Malüs}) \quad (01)$$

Nos **COMPLEMENTOS TEÓRICOS** demonstramos a lei de Malüs.

Para determinar a *Intensidade da luz (Energia por unidade de área e tempo)* usaremos um **LDR** (Resistor dependente da luz). Submetido a uma diferença de Potencial constante, um LDR apresenta uma corrente aproximadamente proporcional à intensidade luminosa incidente.

MONTAGEM: (Fig.02)

O LDR é alimentado por uma fonte de corrente contínua, medindo-se a tensão e a corrente.

Os polarizadores devem ser alinhados de modo que fiquem na mesma altura da linha imaginária que vai da fonte de luz ao LDR.

Antes da realização da experiência propriamente dita é necessário “calibrar” os polarizadores usando um PRISMA DE “BREWSTER”, apresentado na figura (03).

Este prisma é construído com base numa propriedade conhecida como “polarização na reflexão”.

De acordo com esta propriedade quando a luz atinge um meio transparente em determinado ângulo, o raio refletido está polarizado se:

$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1} \quad (02)$$

Na figura (03) n_1 é o índice de refração do ar e n_2 é o índice de refração do vidro. Assim, a luz que é polarizada em (2) é novamente polarizada em (3) e o efeito pode ser observado na tela (4). Quando a direção de polarização de (2) for horizontal a luminosidade em (4) deverá ser mínima. Desse modo, essa propriedade pode ser usada para calibrar o polarizador montado em (2) e assim determinar se a direção indicada pela haste branca está correta. Se não, uma correção pode ser efetuada.

Nos **COMPLEMENTOS TEÓRICOS** apresentamos uma explicação mais completa sobre a polarização na reflexão.

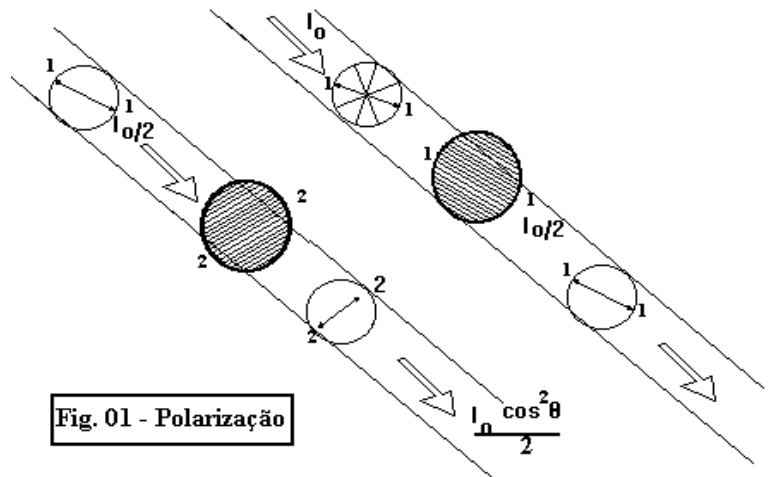


Fig. 01 - Polarização

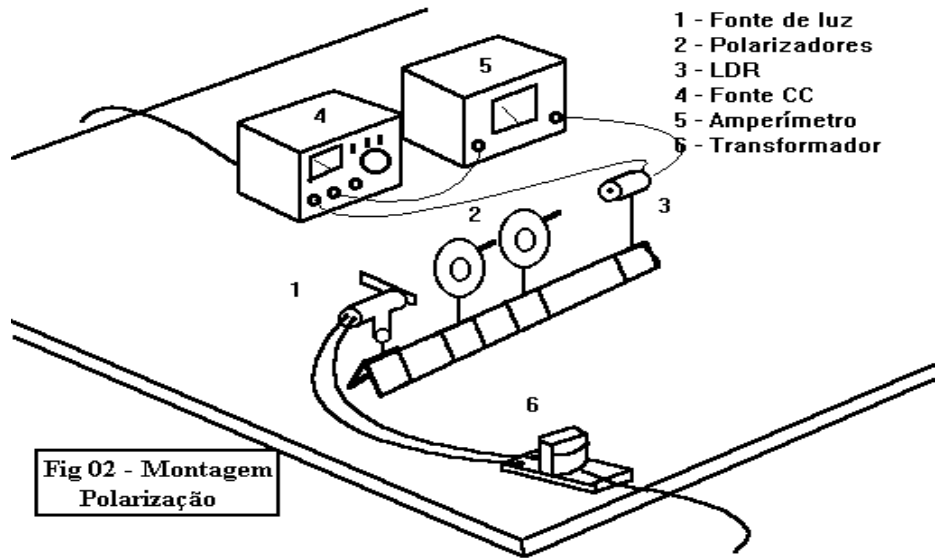


Fig 02 - Montagem Polarização

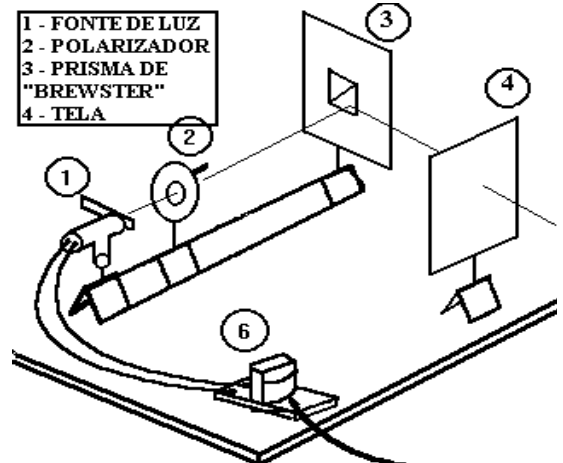


FIG. 03 - CALIBRAÇÃO DO POLARIZADOR USANDO A POLARIZAÇÃO NA REFLEXÃO

POLARIZAÇÃO CIRCULAR

A Fig. (04) apresenta outra propriedade conhecida como "polarização circular".

O dispositivo (7) é uma placa de um quarto de comprimento de onda que funciona num processo denominado de dupla refração.

Dentro de determinados materiais a luz apresenta dois tipos de velocidades em componentes perpendiculares a certa direção característica da substância.

Quando a luz polarizada no primeiro polarizador (2) apresenta o plano de vibração do campo elétrico formando 45° com esta direção, emerge de placa de $\lambda/4$ girando no espaço, num efeito conhecido como "polarização circular". Esta luz que sai de essa placa não está mais polarizada e não mais apresentará extinção ao atravessar o 2º polarizador.

Nos **COMPLEMENTOS TEÓRICOS** explicamos melhor essa característica da luz polarizada.

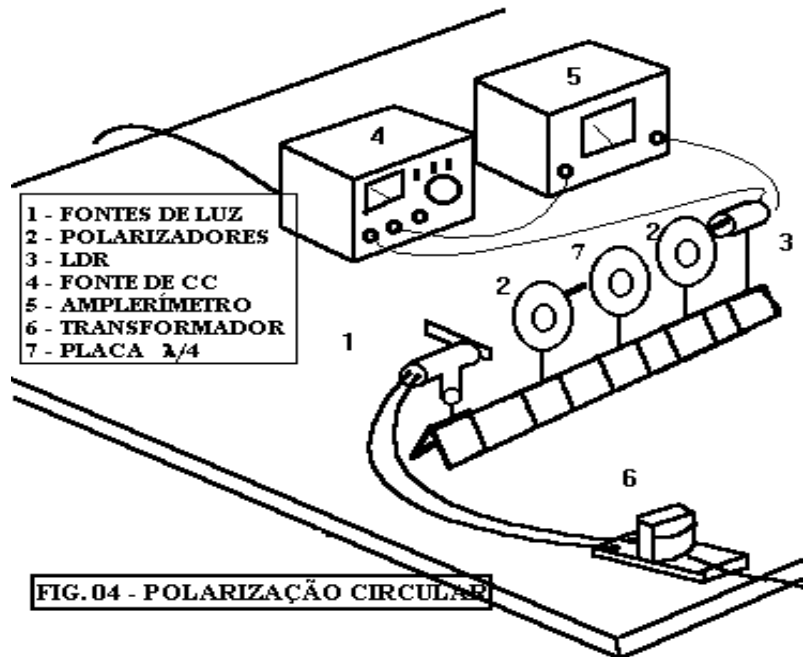


FIG. 04 - POLARIZAÇÃO CIRCULAR

PROCEDIMENTO I: Calibração dos Polarizadores

- (01) Observe a Fig. (03); coloque o polarizador alinhado entre a fonte de luz e o prisma;
- (02) A placa de suporte do prisma deve ficar perpendicular à direção de incidência;
- (03) Gire a haste do polarizador e observe a luminosidade na tela;
- (04) Deverá ocorrer luminosidade mínima quando a haste do polarizador estiver na horizontal. Se não, anote o ângulo no qual ocorre a intensidade mínima para usar em medidas futuras;
- (05) Faça o mesmo com o outro polarizador.

PROCEDIMENTO II: Lei de Malüs (Fig. 02)

- (01) Sem os polarizadores, regule a fonte (4) de modo a ter a corrente máxima, após ligar a lâmpada (anote a tensão da Fonte);
- (02) Coloque o 1º polarizador e meça a intensidade para diversos ângulos;
- (03) Coloque o 2º polarizador e meça a intensidade para ângulos diversos entre os dois polarizadores;
- (04) Em todas as medidas mantenha sempre a mesma tensão inicial.

PROCEDIMENTO III: Polarização Circular (Fig. 04)

- (01) Com base na Fig. (02) monte os dois polarizadores de tal modo a ocorrer intensidade mínima;
- (02) Coloque entre os polarizadores a placa de um quarto de comprimento de onda e gire seu suporte até conseguir eliminar a polarização obtida no item (01);
- (03) Verifique que para outras posições do suporte da placa de $\lambda/4$ continua ocorrendo a intensidade mínima quando os dois polarizadores estão cruzados.

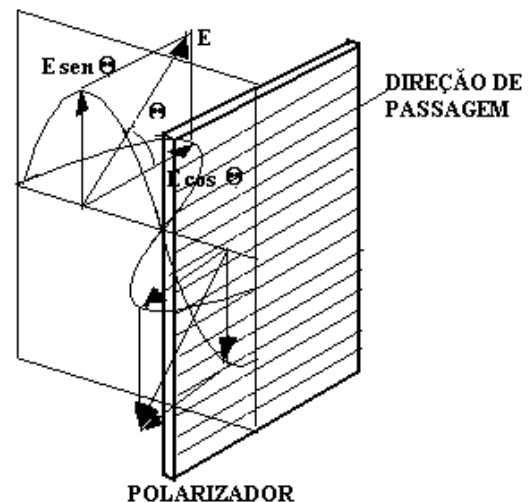


Fig. (05) - Demonstração da Lei de Malüs

COMPLEMENTOS TEÓRICOS

LEI DE MALÜS

Na Fig. (05) um feixe de luz não polarizada propaga-se da esquerda para a direita com o vetor campo elétrico ocupando qualquer posição, aleatoriamente, no espaço.

Na figura, o campo elétrico faz um ângulo θ com a direção de passagem do polarizador.

Isto quer dizer que a componente $E \cos \theta$ é transmitida e a componente $E \sin \theta$ é absorvida.

A Intensidade da onda eletromagnética é proporcional ao quadrado do campo elétrico.

Para calcular a intensidade transmitida pelo polarizador devemos calcular a soma $(E \cos \theta)^2$ com θ variando de 0 a 2π .

Como o valor de $\cos^2 \theta$ varia de 0 a 1 nesse intervalo é fácil ver que essa soma vai dar o valor médio da função nesse intervalo (supondo que o campo elétrico mantenha sua intensidade constante para as diversas direções no espaço).
 O valor médio de $\cos^2 \theta$ é $\frac{1}{2}$.

Fica assim comprovada a lei de Malüs.

POLARIZAÇÃO NA REFLEXÃO

A Fig. (06) mostra o que acontece com a luz não polarizada quando atinge a superfície divisória entre dois meios (plano horizontal hachuriado). Na INCIDÊNCIA, REFLEXÃO E TRANSMISSÃO vemos as duas componentes do campo elétrico (detalhe à esquerda).

Quando a condição de polarização ocorre (Eq. (02)) uma das componentes do campo elétrico é suprimida na reflexão e esta luz está polarizada por só ter campo vibrando num plano único do espaço.

Na condição expressa pela Eq. (02) os ângulos de incidência e refração são complementares (sua soma é 90°).

Também é verdade que, nessa condição, os raios refletido e refratado são perpendiculares entre si.

A Teoria Eletromagnética da Luz permite calcular os coeficientes de transmissão e reflexão da energia das componentes da luz nos planos de incidência (π) e perpendicular ao plano de incidência (σ).

Esses coeficientes representam relações entre a energia no raio refletido e incidente (coeficiente de Reflexão = **R**) e entre o raio transmitido e incidente (coeficiente de transmissão = **T**).

$$R_\pi = \frac{n_1 \cos \theta_r - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \quad R_\sigma = \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_r}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_r}$$

$$T_\pi = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_r + n_2 \cos \theta_i} \quad T_\sigma = \frac{2n_1 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_r}$$

Nota-se que o numerador dos coeficientes de reflexão podem se anular e pode-se mostrar que a hipótese $R_\sigma=0$ é incompatível com a Lei de Snell, restando portanto a possibilidade $R_\pi=0$.

Com $R_\pi=0$ $n_1 \cos \theta_r - n_2 \cos \theta_i = 0 \rightarrow n_1 \cos \theta_r = n_2 \cos \theta_i$

Lei de Snell $n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$

Multiplicando essas equações, obtemos: $n_1 n_2 \sin \theta_i \cos \theta_i = n_1 n_2 \sin \theta_r \cos \theta_r \rightarrow \sin 2\theta_i = \sin 2\theta_r$

A solução dessa última equação é (devemos excluir a possibilidade desses ângulos serem iguais em respeito à Lei de Snell):

$$2\theta_i = \pi - 2\theta_r \rightarrow \theta_i + \theta_r = \frac{\pi}{2}$$

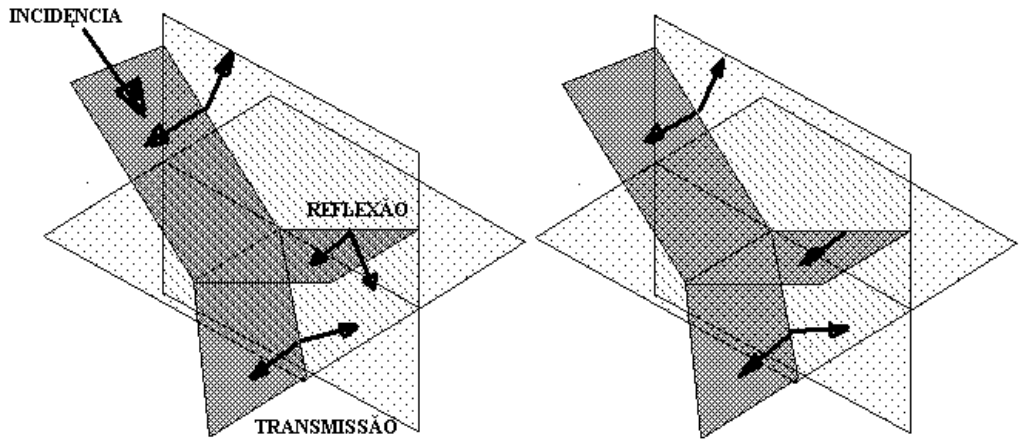


Fig. (06) - Polarização na Reflexão

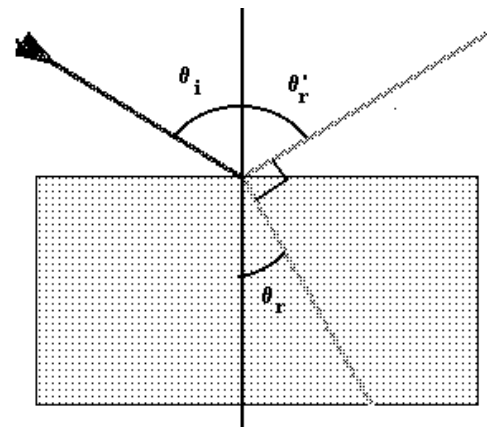


Fig. (07) - Esquema da Polarização na Reflexão

POLARIZAÇÃO CIRCULAR

Algumas substâncias apresentam dupla refração.

Dentro desses materiais as componentes do campo elétrico da luz apresentam velocidades de propagação diferentes conforme sua direção de vibração.

A espessura desses materiais pode ser calibrada de modo a produzir uma defasagem de um quarto de comprimento de onda.

A Fig. (08) mostra uma propagação em que as componentes horizontal e vertical do campo elétrico de uma onda eletromagnética luminosa estão em fase.

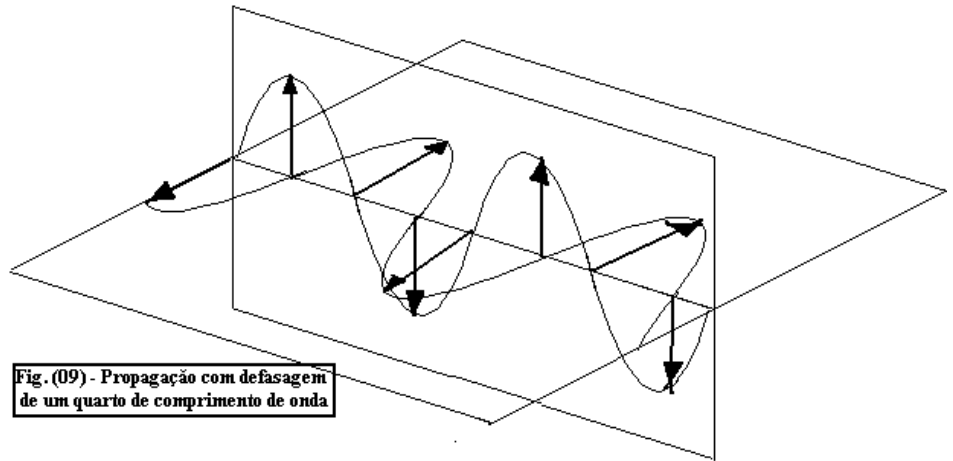


Fig. (09) - Propagação com defasagem de um quarto de comprimento de onda

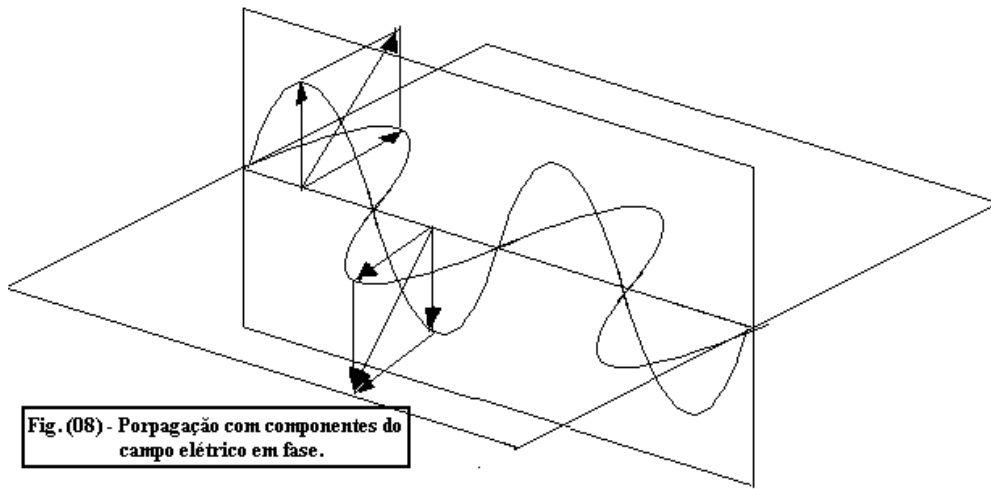


Fig. (08) - Propagação com componentes do campo elétrico em fase.

O plano de vibração resultante está formando 45° com o plano horizontal ou vertical, é fixo no espaço e a luz está polarizada.

Na Fig. (09) vemos uma defasagem de um quarto de comprimento de onda.

Nota-se claramente que, agora, o campo elétrico resultante vai girando no espaço à medida que se propaga.

Observe-se que a luz estava, na Fig. (08) polarizada com plano de polarização formando 45° com o plano horizontal.

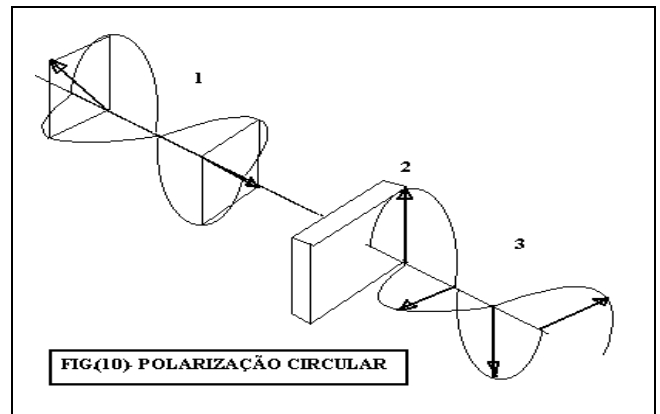
Essa condição deve ser cumprida para que ocorra a chamada

‘Polarização Circular’.

A Fig. (10) representa a disposição experimental para verificar essa propriedade.

Primeiramente polarizamos a luz, depois procuramos o ângulo estratégico de 45° girando a lâmina de $\lambda/4$.

Para testar se o ângulo foi obtido basta usar um segundo polarizador para verificar se a luz transmitida não está mais polarizada.



FIG(10) POLARIZAÇÃO CIRCULAR

FÍSICA EXPERIMENTAL II - MANUAL DE INSTRUÇÕES
EXPERIÊNCIA 14: V x i em Condutores e Semicondutores

OBJETIVOS: Analisar a relação entre V e i num resistor, numa lâmpada incandescente e num díodo.

TEORIA: A Lei de Ohm estabelece que a resistência de um condutor perfeito independe da Tensão e da Corrente, sendo uma constante definida por $R = V/i$

Assim, num resistor ideal $V = R i$

Num resistor que não segue a Lei de Ohm a resistência depende dos valores de V e i. A relação entre V e i não é linear mas a resistência, agora variável, continua sendo calculada por $R = V / i$.

Nesta experiência vamos pesquisar $V = f(i)$ para três materiais: um resistor comum, uma lâmpada incandescente e um semicondutor (diodo).

A fig. (01) mostra a formação de um semicondutor dopado, passando a constituir um conjunto onde há excesso de elétrons (tipo n) e onde há falta deles (tipo p).

Um díodo é construído pela junção de dois semicondutores, tipo n e tipo p.

Na forma de ligação denominada polarização direta o polo positivo da bateria é ligado ao lado da junção que tem excesso de elétrons e o polo negativo ao lado que tem falta: a corrente é estabelecida facilmente e a resistência é pequena.

Na polarização inversa a corrente dificilmente será estabelecida e a junção praticamente não conduz.

Em certos materiais a passagem da corrente em polarização direta produz emissão de luz originada pela liberação de energia que ocorre na transição de elétrons entre átomos. Esses díodos são chamados de LEDs (díodos emissores de luz). Isto tem diversas aplicações principalmente para indicar o funcionamento de dispositivos ou em displays alfanuméricos.

Outras aplicações importantes: retificação da corrente alternada, controle de tensão, proteção de dispositivos, sensores para medidores diversos, etc.

MONTAGEM

Usaremos a Fonte de Alimentação de Corrente Contínua indicada na Fig. (03) nas várias medidas desta experiência:

1-2: saídas da tensão contínua

3: ajuste da tensão de saída

A fonte só pode ser ligada com este ajuste em "zero".

4: ajuste do medidor da fonte:

VOLTÍMETRO: para cima

AMPERÍMETRO: para baixo

5: limitador da corrente da fonte:

PARA CIMA: 0,15 A

PARA BAIXO: 1,5 A

6: Chave liga - desliga:

LIGA: para cima

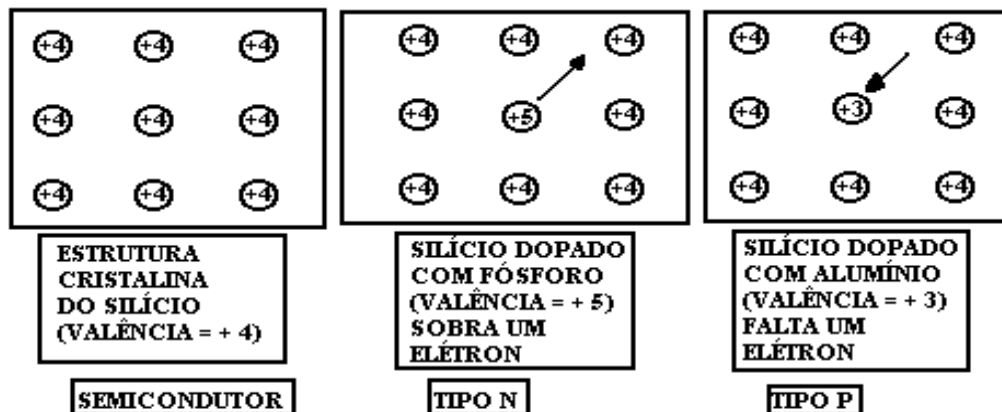


FIG. 01 - CONSTITUIÇÃO DE SEMICONdutoRES DOPADOS

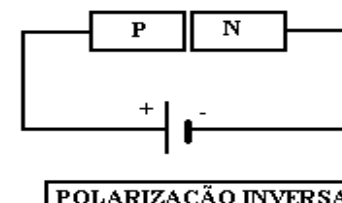
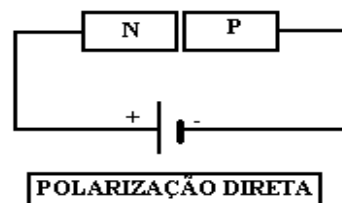


FIG. 02 - JUNÇÃO PN - NP

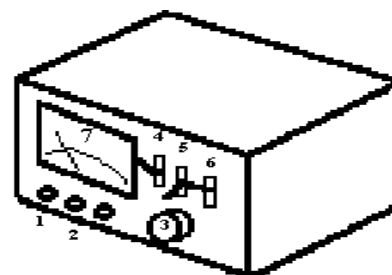


Fig. 03 - Fonte de Corrente Contínua

DESLIGA: para baixo

7:Medidor com duas escalas:

VOLTÍMETRO: cada divisão corresponde a 1 volt

AMPERÍMETRO: escala de 0,15 A (150 mA) - cada divisão vale 0,005 A (5 mA)

escala de 1,5 A - cada divisão vale 0,05 (50 mA)

A fig.(04) apresenta o circuito que utilizaremos para medir V e i no resistor e na lâmpada incandescente.

Mediante a operação da chave (5) (Fig. 03) pode-se medir a tensão e a corrente no resistor e na lâmpada.

Na Fig. (05) está o circuito a ser usado para as medidas com dois tipos de díodos.

Os resistores de $100\ \Omega$ e $10\ \Omega$ formam um **divisor de tensão**: quando o medidor da fonte indicar 10 V, a tensão nos terminais da resistência de $10\ \Omega$ será dez vezes menor, isto é 1,0 V. Essas tensões menores são mais adequadas para o estudo do comportamento de díodos.

Díodos têm polaridade indicada pela cor dos bornes de sua caixa (vermelho=+;preto=-)

Neste circuito está colocado um Amperímetro sensível que vai funcionar na escala de 60 mA.

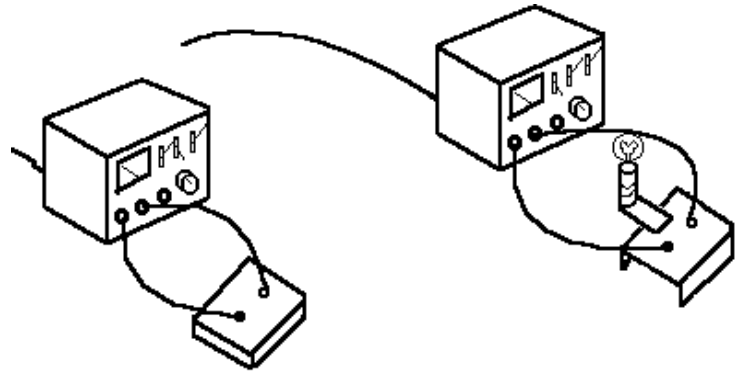


Fig. 04 - Ligações do Resistor e da Lâmpada

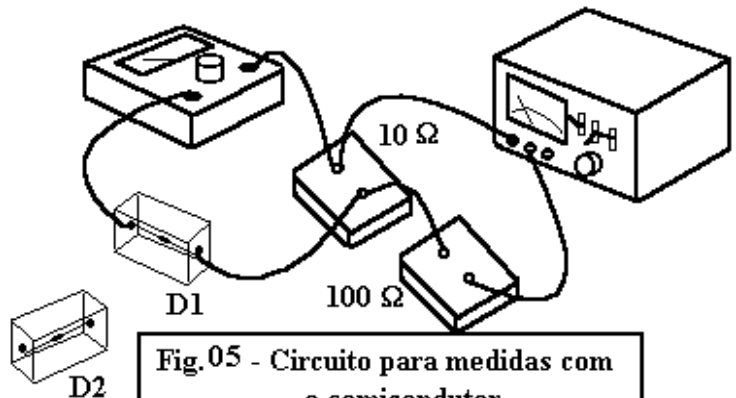


Fig. 05 - Circuito para medidas com o semicondutor

PROCEDIMENTO

(01) - Monte o circuito da Fig. (04) usando o resistor de $47\ \Omega$;

(02) - Selecione inicialmente a escala de 0,15 A e mude quando necessário (**cuidado: o excesso de corrente pode danificar a fonte ou o seu medidor**);

(03) - Antes de ligar a fonte certifique-se que a tensão de saída está em zero;

(04) - Meça vários valores de tensão e corrente e repita para a lâmpada incandescente;

(05) - Monte o circuito da Fig. (05) esquematizado na Fig. (06).

ATENÇÃO À POLARIDADE DO DÍODO, MEDIDOR E FONTE.

(06) - Efetue medidas de tensão e corrente para os dois tipos de diodo (D1 e D2) tanto na polarização direta quanto inversa.

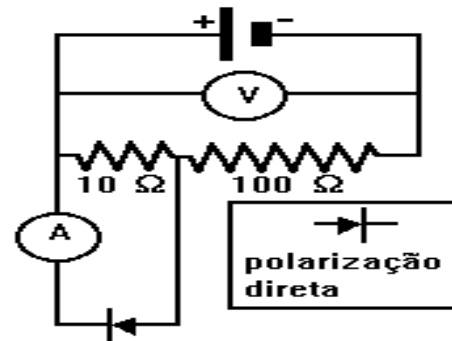


Fig. 06 - Esquema do circuito mostrando o diodo em polarização inversa (não conduz)