



Prova experimental

Sábado, 30 de Junho de 2001

Por favor, ler estas instruções antes de iniciar a prova:

1. O tempo disponível para a prova experimental é de 5 horas.
2. Utilizar apenas o material de escrita que lhe for fornecido.
3. Utilizar apenas um dos lados das folhas de papel.
4. Iniciar cada parte do problema numa folha separada.
5. Para cada questão, além das **folhas de papel em branco** onde pode escrever, existe também uma **folha de respostas** onde *deve* fazer o sumário dos resultados que obteve. Os resultados numéricos devem ser escritos com o número de algarismos significativos apropriado.
6. Escrever nas folhas em branco os resultados de todas as suas medidas e tudo o mais que considerar relevante para a resolução da questão. Por favor, utilizar o *mínimo de texto*; deverá procurar exprimir-se sobretudo com equações, números, figuras e gráficos.
7. Preencha as caixas no topo de cada folha de papel que utilizar, registando o número do país (**Country No.**), o código do país (**Country code**), o seu número de estudante (**Student No.**), o número da questão (**Question No.**) e numere cada página (**Page No.**) indicando ainda o número total de folhas usadas para cada questão (**Total No. of pages**). Escrever o número da questão e a secção a que está a responder no início de cada folha de papel. Se usar folhas de rascunho que não deseje que sejam corrigidas, marque-as com uma grande cruz sobre a folha e não as inclua na sua numeração.
8. No final da prova, ordenar as folhas *pela seguinte ordem*:
 - folha de respostas
 - folhas utilizadas, ordenadas
 - as folhas de rascunho inutilizadas
 - as folhas não utilizadas e o enunciado da prova.

Colocar todas as folhas dentro do envelope e deixe tudo sobre a sua mesa. **Não lhe é permitido retirar da sala quaisquer folhas de papel ou qualquer outro material utilizado na prova.**

LÍQUIDO EM ROTAÇÃO

A questão experimental consiste em três partes:

1. investigar o perfil da superfície livre de um líquido em rotação e a partir daí determinar a aceleração da gravidade,
2. estudar o líquido em rotação enquanto sistema óptico,
3. determinar o índice de refração do líquido.

Quando um vaso cilíndrico contendo um líquido roda em torno do eixo vertical que passa através do centro do vaso com velocidade angular constante ω , a superfície do líquido toma uma forma parabólica (ver figura 1). No equilíbrio, a tangente à superfície no ponto $P(x,y)$ faz um ângulo θ com a horizontal que é dado pela equação:

$$\tan \theta = \frac{\omega^2 x}{g}, \quad \text{para } |x| \leq R \quad (1)$$

onde R é o raio do vaso cilíndrico e g a aceleração da gravidade.

Pode ainda mostrar-se que para $\omega < \omega_{\max}$, no ponto $x = x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$, se tem

$$y(x_0) = h_0 \quad (2)$$

(onde ω_{\max} é a velocidade angular para a qual o ponto central da superfície do líquido toca no fundo do vaso). Ou seja: a altura do líquido em rotação no ponto x_0 é idêntica à do líquido em repouso.

O perfil da superfície do líquido em rotação é uma parábola definida pela equação

$$y = y_0 + \frac{x^2}{4C} \quad (3)$$

onde o vértice da parábola é o ponto $V(0, y_0)$ e o seu foco é $F(0, y_0 + C)$. Todos os raios de luz incidentes paralelamente ao eixo de simetria do cilindro (eixo óptico) passam pelo foco F (ver figura 1) após reflexão pela superfície parabólica do líquido.

Equipamento experimental

- Um vaso rígido de plástico, de forma cilíndrica, contendo glicerina líquida. Escalas milimétricas estão coladas no fundo do vaso e na superfície lateral.
- Uma plataforma giratória accionada por um pequeno motor eléctrico de corrente contínua, alimentado por uma fonte de tensão ajustável, com a qual se pode controlar a velocidade angular da plataforma.
- Um écran horizontal transparente sobre o qual se podem colocar folhas de papel milimétrico transparentes ou semi-transparentes. A posição deste écran pode ser ajustada nas direcções horizontal e vertical.

- Um ponteiro laser montado num suporte. A posição do ponteiro pode ser ajustada. A cabeça do ponteiro pode ser mudada.
- Cabeça adicional para o ponteiro laser.
- Uma régua.
- Um marcador de feltro.
- Um cronómetro. Carregar no botão da esquerda para reinicializar o contador (reset), no botão do meio para seleccionar o modo e no botão da direita para iniciar e parar a contagem.
- Rede de difracção com 500 ou 1000 linhas por mm. Confirme as características da rede que lhe foi fornecida.
- Um nível de bolha de ar.
- Óculos de protecção.

AVISOS IMPORTANTES

- **NÃO OLHAR DIRECTAMENTE PARA O FEIXE LASER. TENHA EM ATENÇÃO QUE A LUZ LASER PODE TAMBÉM SER PERIGOSA PARA OS OLHOS QUANDO REFLECTIDA POR UMA SUPERFÍCIE. PARA SUA SEGURANÇA, USE OS ÓCULOS DE PROTECÇÃO QUE LHE FORAM FORNECIDOS.**
- *Durante toda a prova experimental manipule com cuidado o vaso contendo glicerina.*
- *A plataforma giratória foi previamente nivelada na posição horizontal. Utilize o nível de bolha de ar apenas para o nivelamento horizontal do écran.*
- *Durante toda a experiência irá observar vários pontos luminosos no écran, produzidos quer por feixes reflectidos quer por feixes refractados nas várias interfaces entre o ar, o líquido, o écran e o próprio vaso. Tenha o maior cuidado para escolher para as suas medidas o ponto luminoso correcto.*
- *Quando mudar a velocidade de rotação da plataforma deverá fazê-lo de forma gradual e esperar o tempo suficiente para o líquido estabilizar na nova posição de equilíbrio, antes de fazer qualquer medida.*

EXPERIÊNCIA

Parte 1: DETERMINAÇÃO DE g USANDO UM LÍQUIDO EM ROTAÇÃO [7,5 pontos]

- Deduzir a equação 1.
- Medir a altura h_0 do líquido contido no vaso e o diâmetro interno $2R$ do vaso.
- Inserir o écran entre a fonte de luz e o vaso. Medir a distância H entre o écran e a plataforma giratória (ver figura 2).
- Alinhar o ponteiro laser de forma a que o feixe aponte para baixo na vertical e bata na superfície do líquido à distância $x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$ do eixo do vaso.
- Ponha a plataforma giratória a rodar devagar. Verifique que a velocidade é suficientemente baixa para que o ponto central do líquido em rotação não toque no fundo do vaso!
- Pode-se mostrar que, para $x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$, a altura do líquido se mantém idêntica à altura h_0 do líquido em repouso, seja qual for a velocidade angular ω . Usando este dado e medidas do ângulo θ entre a tangente à superfície do líquido em rotação e a horizontal no ponto x_0 para um conjunto de vários valores de ω , fazer uma experiência que lhe permita determinar a aceleração da gravidade g .
- Preparar tabelas dos valores directamente medidos, derivados ou intermédios em função de ω .
- Fazer o gráfico que será necessário para calcular g .
- Calcular o valor de g e a incerteza experimental associada.
- Transcrever os valores de $2R$, x_0 , h_0 , H e o valor experimental de g que obteve, com a incerteza respectiva, para a **folha de respostas**.

Parte 2: SISTEMA ÓPTICO

Nesta parte da prova experimental o líquido em rotação irá ser tratado como um sistema óptico. Como o raio de curvatura da superfície do líquido varia com a velocidade angular de rotação, a distância focal deste sistema óptico depende de ω .

2 a) Distância focal [5,5 pontos]

- Alinhar o ponteiro laser por forma a que o feixe aponte para baixo, na vertical, e para o centro do vaso. Marque o ponto P onde o feixe bate no écran. Assim, a linha definida por este ponto e o centro do vaso coincide com o eixo óptico do sistema (ver figura 2).

- Como a superfície do líquido em rotação se comporta como um espelho parabólico, qualquer raio incidente na superfície do líquido paralelamente ao eixo óptico, irá passar, após reflexão, pelo ponto F no eixo óptico.
- Ajustar a velocidade de rotação para localizar o ponto focal no écran. Medir a velocidade de rotação ω e a distância H entre o écran e a plataforma girante.
- Repetir o procedimento anterior para vários valores diferentes de H .
- Copiar para a **folha de respostas** os valores medidos de $2R$ e h_0 e o valor de ω para cada H .
- Com a ajuda do gráfico apropriado dos seus dados, determinar a equação que relaciona a distância focal com a velocidade angular. Copiar os resultados para a **folha de respostas**.

2 b) Análise da “imagem” projectada no écran [3,5 pontos]

Nesta parte da prova serão analisadas as características da “imagem” produzida por este sistema óptico. Proceder de acordo com os passos seguintes:

- Retirar a cabeça do ponteiro laser, desenroscando-a no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.
- Montar a segunda cabeça (que se encontra dentro de um envelope) e enroscá-la no sentido dos ponteiros do relógio. Com a nova cabeça o laser produz uma imagem extensa em vez de um feixe fino.
- Ajustar a posição do ponteiro laser por forma a que o feixe incida no centro do vaso praticamente na vertical.
- Colocar uma folha de papel semi-transparente no écran horizontal, o qual deverá estar próximo do vaso, de forma a que o feixe laser não passe através do papel, mas o feixe reflectido sim.
- Observar o tamanho e a orientação da “imagem” produzidas pela fonte de luz e pelo feixe reflectido quando o vaso não roda.
- Pôr a plataforma a rodar e aumentar gradualmente a velocidade de rotação ω até ao valor máximo possível observando simultaneamente o écran. À medida que ω aumenta, poderá observar diferentes intervalos de frequência angular nos quais as características das “imagens” são radicalmente diferentes. Descrever estas características **completando a tabela da folha de respostas**. Adicionar uma linha a esta tabela para cada intervalo de frequências de rotação e preencher a tabela utilizando as abreviaturas apropriadas (derivadas da língua inglesa!) descritas na folha de respostas.

Parte 3: ÍNDICE DE REFRAÇÃO [3,5 pontos]

Nesta parte da experiência será determinado o índice de refração do líquido usando uma rede de difracção. Quando luz monocromática de comprimento de onda λ incide normalmente numa rede de difracção, os máximos do padrão de difracção ocorrem para os ângulos α_m dados pela equação:

$$m\lambda = d \sin \alpha_m \quad (4)$$

onde m é a ordem da difracção e d a distância entre linhas consecutivas da rede. Nesta parte da prova será usada uma rede de difracção para determinar o comprimento de onda do laser e o índice de refração do líquido (ver figura 3). Proceda de acordo com os seguintes passos:

- Usar a rede para determinar o comprimento de onda do laser. Copiar o resultado para a **folha de respostas**.
- Submergir a rede dentro do líquido, no centro do vaso e na posição vertical.
- Alinhar o feixe laser para que ele entre no líquido incidindo lateralmente no vaso e perpendicularmente à rede de difracção.
- Observar o padrão de difracção produzido na escala milimétrica colada ao vaso. Medir todas as distâncias necessárias.
- Calcular o índice de refração n do líquido a partir das medidas. (O efeito do vaso de plástico no trajecto do raio luminoso pode ser ignorado.)
- Copiar o resultado da experiência para a **folha de respostas**.

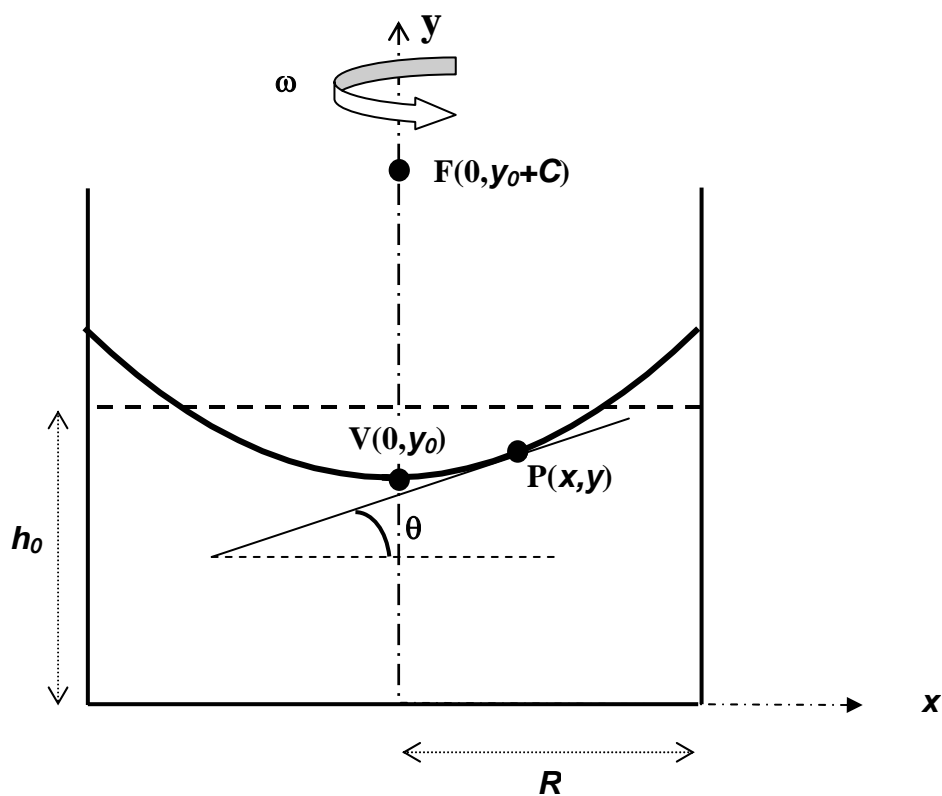


Figura 1. Definições do ângulo de inclinação θ no ponto $P(x, y)$, do vértice V e do foco F da superfície parabólica de um líquido, de altura inicial h_0 e raio R , que roda com velocidade angular constante ω em torno do eixo y .

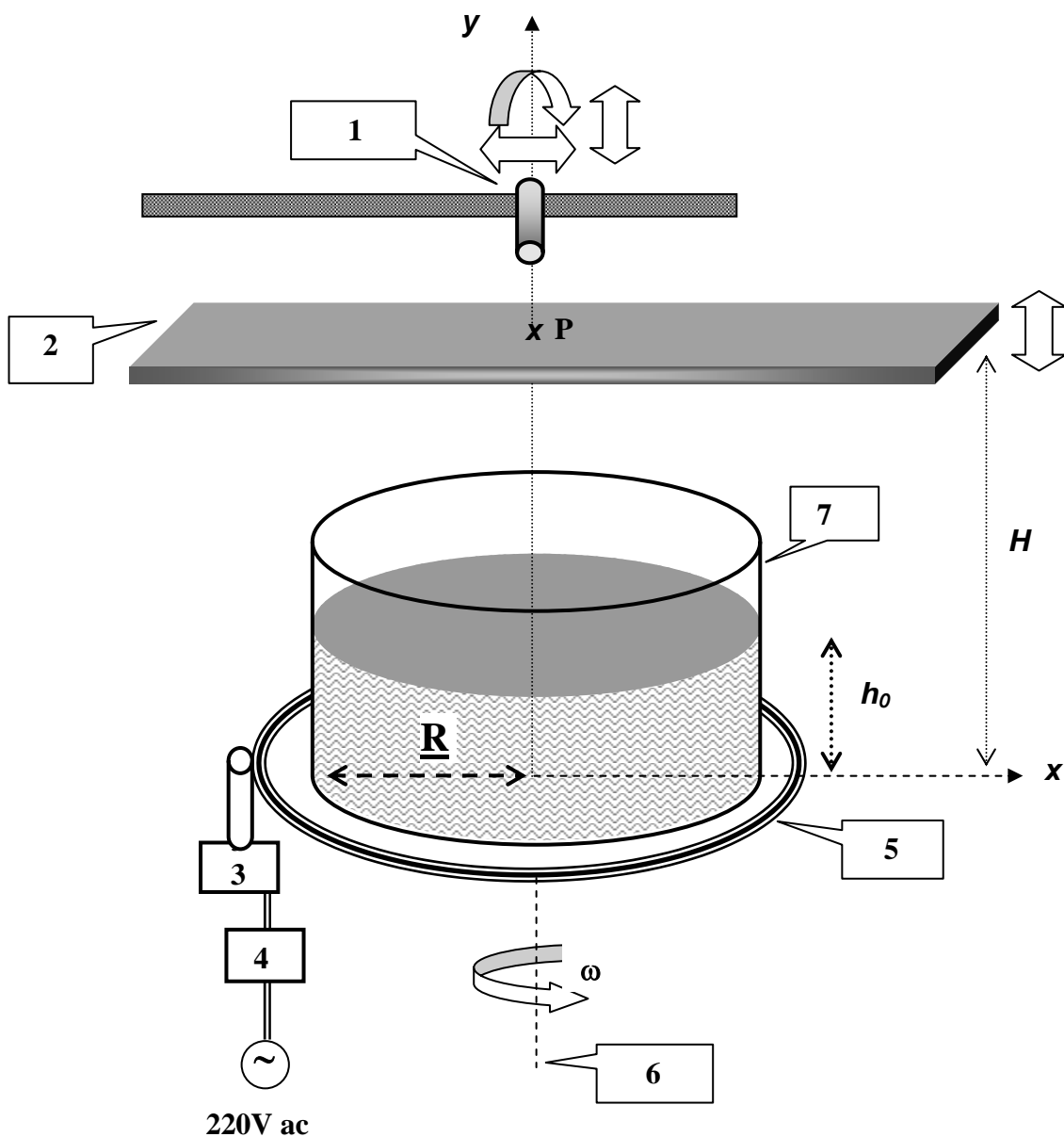


Figura 2 Dispositivo experimental para as partes 1 e 2.

1. Ponteiro laser no suporte, 2. Écran transparente, 3. Motor, 4. Controlador do motor
5. Plataforma giratória, 6. Eixo de rotação, 7. Vaso cilíndrico.

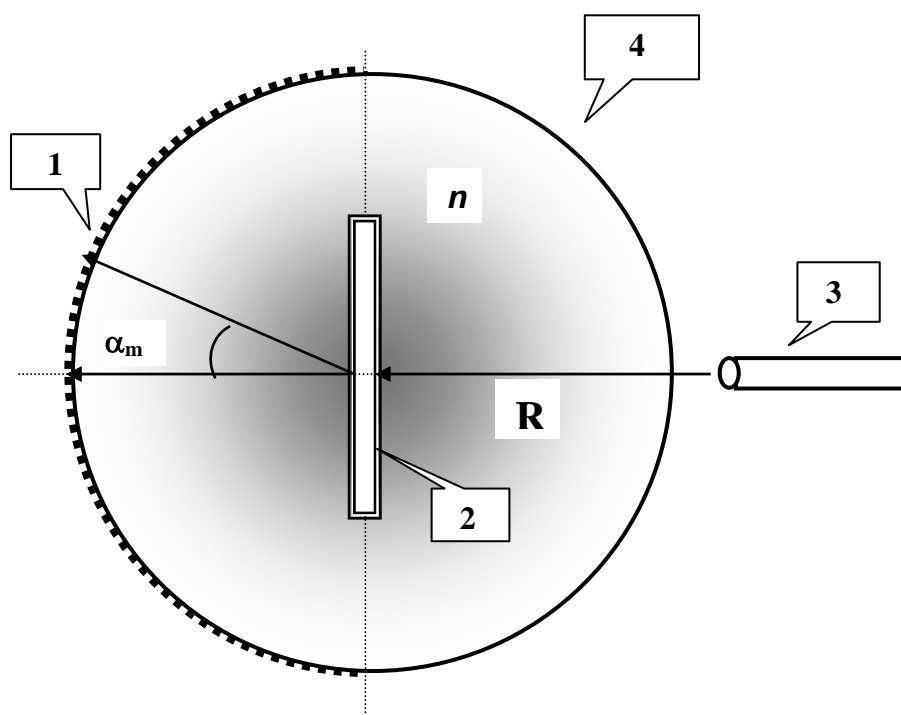


Figura 3 Vista de topo da montagem com a rede de difracção no líquido.

1. Escala lateral, 2. Rede de difracção no suporte, 3. Ponteiro laser, 4. Vaso cilíndrico

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages

FOLHA DE RESPOSTAS

1) Determinação de g usando um líquido em rotação

$2R$	x_0	h_0	H

Valor experimental de g :

2a) Distância focal

$2R$	h_0

H	ω

Equação que relaciona a distância focal com ω

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages

2b) Análise da “imagem”

Utilize as abreviaturas explicadas em baixo para descrever o que vê no écran devido ao feixe reflectido.

Intervalo de ω : Para os intervalos de frequências apenas são requeridos valores aproximados.

Orientação da imagem (em comparação com o objecto produzido pelo feixe incidente no écran transparente):

Invertida : **INV**, Direita: **ER**

Variação do tamanho da imagem à medida que ω aumenta:

Aumenta: **I**

Diminui: **D**

Não sofre alteração: **NC**

Para os intervalos de frequências que encontrou :

Escreva “**R**” na coluna “imagem” se o écran se situar acima do ponto focal.

Escreva “**V**” na coluna “imagem” se o écran se situar abaixo do ponto focal.

Intervalo de ω	Orientação da “imagem”	Variação do tamanho	“imagem”
$\omega=0$			

3) ÍNDICE DE REFRACÇÃO

Comprimento de onda =

Valor experimental de n =