Pêndulo de Foucault

COMPROVAÇÃO DA ROTAÇÃO DA TERRA COM UM PÊNDULO DE FOUCAULT

- Medição da direção da oscilação como função do tempo.
- Determinação da velocidade de rotação.
- Determinação da latitude geográfica.

UE1050250

07/15 JS

Fig. 1 Pêndulo de Foucault

FUNDAMENTOS GERAIS

Um pêndulo de Foucault é um pêndulo de fio longo com grande massa de pêndulo, com cujo auxílio a rotação da terra pode ser demonstrada. Ele remete a *Jean Foucault*, que, em 1851, descobriu em um pêndulo de 2 m de comprimento, que a direção da oscilação se alterava com o passar do tempo. Mais tarde, a experiência foi sendo repetida com pêndulos cada vez mais longos e pesados.

Como a terra gira ao redor de seu próprio eixo, uma força de Coriolis age em relação ao sistema de coordenadas fixo da terra do pêndulo oscilante.

$$(\boldsymbol{F} = 2 \cdot m \cdot \boldsymbol{\Omega}_0 \times \boldsymbol{v} \quad (1)$$

m: Massa do corpo do pêndulo
$\boldsymbol{\Omega}_0$: Vetor da velocidade angular da terra
$\boldsymbol{v}$: Vetor de velocidade do pêndulo oscilante

transversalmente à direção da oscilação. Ela causa uma rotação do plano de oscilação com uma frequência circular que depende da latitude geográfica φ do ponto de suspensão.

Para que o pêndulo de Foucault seja deslocado apenas por pequenos ângulos α, o corpo do pêndulo se move exclusivamente no plano horizontal estendido, na Fig. 2 entre o eixo que aponta para o norte N e o eixo apontando para o leste E.

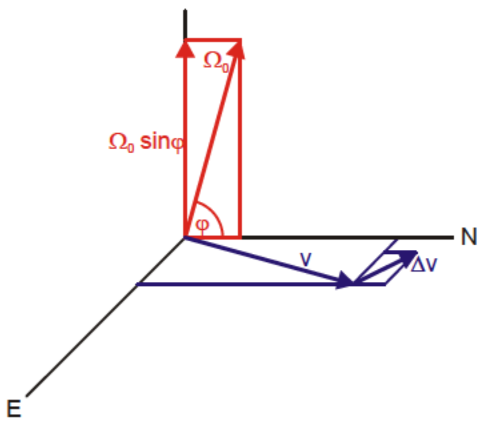

Fig. 2 Representação no sistema de coordenadas fixo da terra do pêndulo de Foucault.

Somente são observados deslocamentos na horizontal, pois o corpo do pêndulo está suspenso por um fio. Por este motivo, somente o componente vertical

$$\Omega(\varphi) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \tag{2}$$

do vetor Ω_0 é relevante. Por isto, a equação do movimento do pêndulo de Foucault oscilante é

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} \cdot \boldsymbol{e}_p + 2 \cdot \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot \frac{d\alpha}{dt} \cdot \boldsymbol{e}_v + \frac{g}{L} \cdot \alpha \cdot \boldsymbol{e}_p = 0 \tag{3}$$

L: Comprimento do pêndulo, *g*: Aceleração da gravidade
e Vetor unitário horizontal paralelo à direção atual de oscilação
e_v: Vetor unitário horizontal perpendicular à direção atual de oscilação

Sua solução pode ser dividida em uma solução para o ângulo de deslocamento α e uma solução par o vetor unitário giratório $\boldsymbol{e}_p$ paralelo à direção atual de oscilação:

$$\alpha(t) = \cos(\omega \cdot t + \beta) \text{ com } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \tag{4a}$$

$$\boldsymbol{e}_p(t) = \boldsymbol{e}_E \cdot \cos(\psi(t)) + \boldsymbol{e}_N \cdot \sin(\psi(t)) \tag{4b}$$

$\psi(t) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot t + \psi_0$: Direção da oscilação
e_E: Vetor unitário horizontal para leste
e_N: Vetor unitário horizontal para norte

O plano de oscilação, portanto, gira, com o decorrer do tempo, com a frequência dada na equação (2). No hemisfério norte, a rotação ocorre para a direita e, no hemisfério sul, para a esquerda. Nisto, a velocidade de rotação é máxima nos polos, enquanto não há deslocamento no Equador.

Na experiência, é usado um pêndulo de fio com 1,2 m de comprimento. Para evitar oscilações elípticas, o fio do pêndulo se choca, a cada deslocamento, contra um anel de Charon. A direção da oscilação é lida através de uma projeção de sombra do fio com alta precisão sobre uma escala angular. Já depois de poucos minutos, a rotação do plano de oscilação pode ser observada. Para um tempo de observação mais extenso, o abafamento da oscilação pode ser compensado por uma estimulação eletromagnética infinitamente ajustável.

LISTA DE APARELHOS

1	Pêndulo de Foucault @230 V	1000748 (U8403000-230)
ou		
1	Pêndulo de Foucault @115 V	1000747 (U8403000-115)
1	Cronômetro digital	1002811 (U11902)

MONTAGEM

Vide instruções de operação do Pêndulo de Foucault.

Escolha do local de montagem:

- Montar o Pêndulo de Foucault em local horizontal sobre base estável livre de choques.
- Evitar incidência de luz solar direta.

Verificação da distância entre esfera do pêndulo e imã elétrico:

- Colocar o disco de ajuste sobre o dispositivo de medição e ajustar o comprimento do pêndulo de forma que a esfera do pêndulo apenas toque o disco de ajuste.
- Verificar esta distância em intervalos maiores, pois o fio do pêndulo pode estender-se por 1 até 2 mm.

Verificação da disposição horizontal:

- Colocar o cilindro de ajuste sobre o dispositivo de medição e enganchar a esfera do pêndulo.
- Girando os pés de ajuste (dois pés simultaneamente!), ajustar o Pêndulo de Foucault de forma que a esfera do pêndulo esteja exatamente no meio do cilindro de ajuste.

Enrolamento do fio de suspensão:

- Deixar o fio com a esfera do pêndulo pender livremente algumas horas para eliminar enrolamentos.

REALIZAÇÃO

- Deslocar o pêndulo com a mão e soltar.
- Fechar a porta de vidro com cuidado.
- Ligar a excitação eletromagnética e observar o pêndulo por, pelo menos, 5 min.
- Ajustar a excitação de forma que o pêndulo não volte ao repouso nem bata na porta de vidro.

- Ajustar a posição angular da fonte de luz para projeção de sombras de forma que a sombra do pêndulo em oscilação se mantenha na marcação vertical da tela de observação.

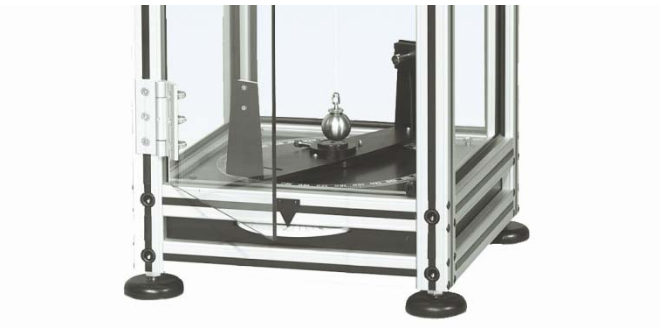

Fig. 3 Fonte de luz para projeção de sombras, tela de observação e placa angular do Pêndulo de Foucault

- Ler a posição do ângulo na placa angular e iniciar a medição do tempo.
- Reajustar a posição angular da fonte de luz a cada 10 minutos, para que novamente a sombra do pêndulo em oscilação se mantenha na marcação vertical da tela de observação.
- Anotar a posição angular juntamente com o tempo medido.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tabela 1: Valores de medição do plano de oscilação ψ e do tempo *t*, registrado na latitude φ = 50°

t/s	ψ
0,0	179,6°
662,4	181,6°
1200,0	183,2°
1833,6	185,0°
3024,0	188,0°
3660,0	190,0°
4260,0	192,2°
5178,0	195,2°
5820,0	197,4°

AVALIAÇÃO

O ângulo de direção ψ do plano de oscilação depende linearmente do tempo, vide Fig. 4. A inclinação da reta através dos pontos de medição é o valor Ω(φ) procurado.

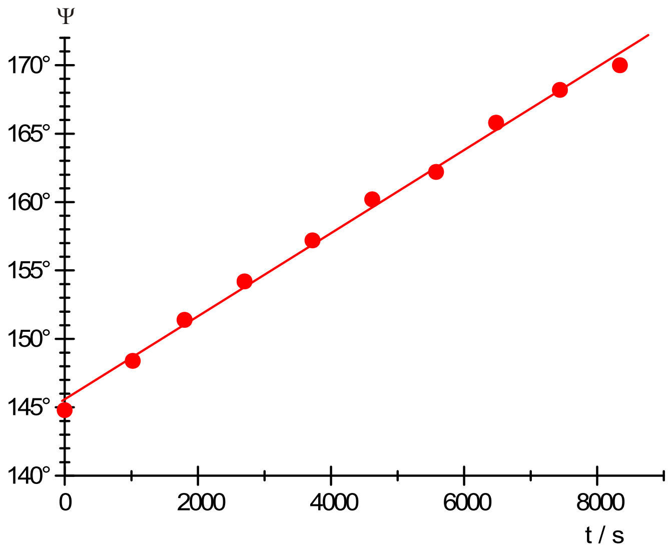

Fig. 4 Ângulo de direção ψ do plano de oscilação em dependência do tempo *t* , registrado na latitude φ = 50°

A partir dos dados de medição disponíveis, calcula-se

Ω(φ) = (0,0030 ± 0,0003) °/s

Após reformulação da equação (2), calcula-se, a partir dela, a latitude conforme:

$$\varphi = \frac{180°}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{86400\ \text{s}}{360°} \cdot \Omega(\varphi)\right) = 46° \pm 4°$$