

## 1002661 Conjunto de aparelhos eletromagnetismo

### Manual de instruções

12/15 MH

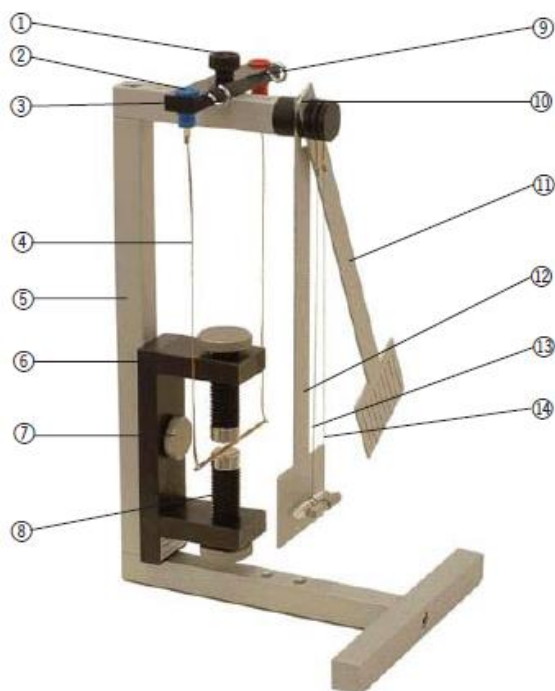


Fig.1: componentes

- 1 Parafuso de dedo estriado de fixação na travessa
- 2 Orifícios com rosca (5x) para a fixação da travessa
- 3 Travessa
- 4 Balouço do condutor
- 5 Pé
- 6 Parafuso de dedo estriado M8x20 para a fixação do ímã
- 7 Ímã 1002660 (não incluído no fornecimento)
- 8 Agujeros roscados para fijación de imán
- 9 Orifícios com rosca para a fixação do ímã
- 10 Fixação do pêndulo
- 11 Pêndulo com fendas
- 12 Pêndulo cheio
- 13 Barra de vidro com corda e gancho
- 14 Barra de alumínio com corda e gancho

### 1. Sicherheitshinweise

- Ao utilizar o ímã 1002660 devem ser seguidas estritamente as indicações de segurança lá indicadas. Por exemplo, cuidado com os marca-passos!
- Perigo de choque elétrico! A tensão máxima de saída do aparelho de alimentação utilizado não deve passar de 40 V.
- Perigo de ferimentos! A barra de vidro (13) é frágil e portanto deve ser manuseada com cuidado. Partes quebradas com arestas cortantes representam um perigo considerável de ferimento.

### 2. Descrição, dados técnicos

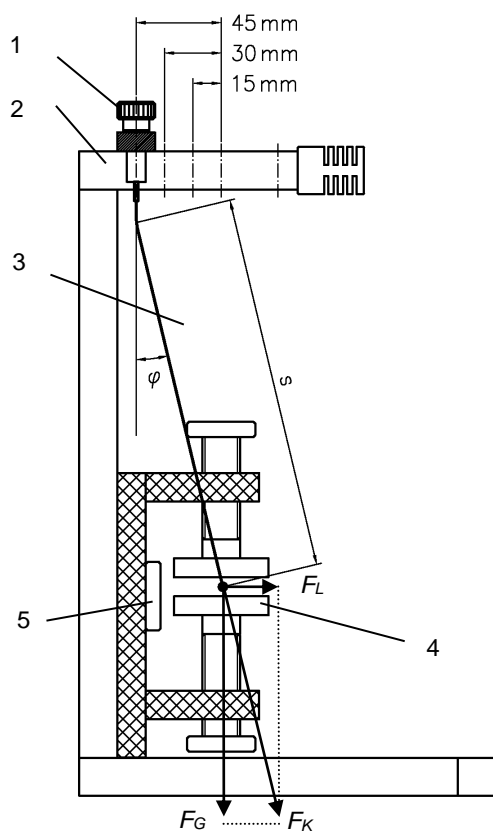
Com conjunto de aparelhos eletromagnetismo para experiências podem ser realizadas experiências com a força num condutor eletrificado, com remoinhos induzidos e com diama-

gnetismo e paramagnetismo. O conjunto para experiências consiste num pé estável de alumínio com posições préestabelecidas para o ímã e recepção para acessórios. Por isto, evitam-se trabalhos de ajuste demorados. Além disso, todos os acessórios podem ser fixados no pé para o armazenamento. Sendo que o pêndulo (11), (12) deve ser pendurado nas duas fendas centrais da recepção do pêndulo e a barra de vidro ou de alumínio (13) ou (14) nas duas fendas exteriores, de modo que as cordas não se enrolem. O balouço do condutor fica pendurado na travessa, na qual se encontram tomadas para plugues de segurança (4 mm). A corrente máxima no balouço do condutor não deve passar de 6 A.

Altura do pé:	345 mm
Pêndulo:	290 x 70 mm
Abertura da fenda:	max. 1 mm
Largura do balouço:	100 mm
Barras:	40 mm x 8 mm Ø

### 3. Utilização e manutenção

- Primeiro, deve-se aparafusar o pé conforme a ilustração 1. Ao fazê-lo, deve-se prestar atenção para que o aparelho esteja na vertical (esquadro).
- A fita de cobre trançada do balouço do condutor deve estar pendurada reto para baixo e deve manter o fio de cobre na paralela da travessa. Caso seja necessário, pode-se puxar a fita de cobre cuidadosamente com os dedos para estica-la. Não se deve dobrar a fita na parte das soldas (há perigo que quebre).
- As barras de vidro e de alumínio estão penduradas cada uma num fio fino, o qual pode estar enrolado. Antes de uma experiência, as barras devem pender sós do pé o tempo suficiente para não girem mais.
- Manutenção: o aparelho eletromagnético para experiências, em princípio, não precisa de manutenção. Para a limpeza, pode ser lavado com um pano úmido (água com detergente). Solventes, tais como acetona, benzina ou etanol (álcool) podem ser utilizados fora da área do filme auto-adesivo.



- Se as cordas da barra de vidro ou da de alumínio se enrolaram ou criaram um nó, pode-se utilizar alternativamente uma linha fina de seda. A linha de seda deve ser enrolada aprox. 3 vezes envolta da barra e fixada então com um nó. Logo pendurase a barra e se estabelece o equilíbrio horizontal deslocando a linha sobre a barra. No fim, pode-se fixar a linha de seda na barra com cola expressa (seguir as indicações de segurança do fabricante da cola).

### 4. Execução e análise da experiência

#### 4.1 Condutor eletrificado num campo magnético

##### 4.1.1. Montagem da experiência

- Ambas possibilidades de montagem da experiência são visíveis na Fig. 2.

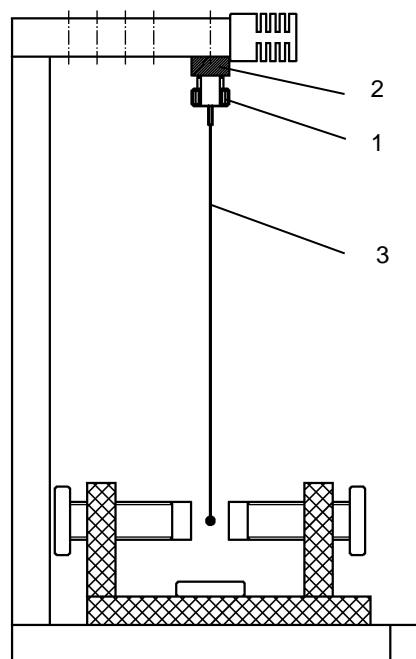


Fig. 2 montagem da experiência "condutor eletrificado num campo magnético".

1: parafuso de dedo, 2: travessa; 3: balouço do condutor, 4: sapata polar, 5: parafuso de dedo de cabeça chata

- A montagem da experiência conforme a ilustração 2 (à direita) serve para comprovar que a força de Lorentz não age na direção do campo magnético nem na direção da corrente. No primeiro caso, o balouço do condutor balançaria à direita ou à esquerda, no segundo caso este deveria balançar aproximando-se da área de desenho ou afastando-se desta.
- Com a montagem segundo a ilustração 2 (à esquerda) pode-se comprovar a força de Lorentz de modo qualitativo e quantitativo. Para a comprovação qualitativa, pendura-se o balouço do condutor na vertical acima dos pólos do ímã. Quando agora a corrente é ligada, então observa-se uma inclinação, a qual aumenta com a força da corrente.
- Para a comprovação quantitativa da força de Lorentz, encontram-se as 3 perfurações com rosca que se encontram deslocadas para a esquerda em 15, 30 e 45 mm em relação às verticais. Se, por exemplo como na ilustração, o balouço do condutor for montado 45 mm à esquerda e a corrente através do balouço do condutor for ajustada de forma que o fio de cobre grosso se encontre exatamente no meio do campo magnético, então a inclinação pendular do balouço com relação à vertical também é de exatamente 45 mm, e a força de Lorentz corresponde à força de reconstituição que o balouço do condutor experimenta através da força de atração da Terra (veja também a análise da experiência).

#### 4.1.2. Execução da experiência

- Durante as medições, é de utilidade anotar as seguintes grandezas:
  - o número da experiência  $N^\circ$
  - a distância entre as sapatas polares  $a$
  - a largura da sapata polar na direção do condutor  $b$
  - a inclinação  $c$
  - a corrente  $I$ , que flui na área central, caso necessário, medir com uma régua não magnética a distância entre fio de cobre e o parafuso de dedo (5) do fio de cobre Exemplo de uma série de experiências para uma distância entre as sapatas polares  $a = 10$  mm

$N^\circ$	$b$ em mm	$c$ em mm	$I$ em A
1	50	15	0,57
2	50	30	1,20
3	50	45	1,87
4	20	15	1,16
5	20	30	2,36
6	20	45	3,57

#### 4.1.3. Análise da experiência

- O balouço do condutor será visto simplificada-mente como um pêndulo matemático, ou seja, as massas das fitas de cobre trançadas serão ignorados e o fio de cobre é visto como uma massa pontual ( $m = 6,23$  g). O comprimento efetivo do pêndulo  $s$  é algo menor do que o comprimento das fitas de cobre, já que estas na sua parte superior não se dobram precisamente quando o balouço é inclinado. O comprimento  $s$  resulta portanto do ponto de corte ideal das fitas de cobre prolongadas linearmente com a vertical (compare ilustr. 2). Aproximadamente, é válido:  $s = 200$  mm.
- A força resultante na fita de cobre  $F_K$ , que é composta da força de Lorentz  $F_L$  e da força do peso  $F_G$  está inclinada num ângulo de  $\varphi$ , já que a fita de cobre (quase) não absorve forças contrárias. Por isso é válido:

$$\frac{F_L}{F_G} = \tan \varphi \Leftrightarrow F_L = mg \frac{\frac{c}{s}}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{s}\right)^2}} \quad (1)$$

- Na série de experiências acima, as sapatas polares foram giradas nas experiências 4-6 em  $90^\circ$  em relação às experiências 1-3. Por isso, o comprimento do condutor que penetra o campo magnético foi mudado. Para a análise, porém, não se deve utilizar as verdadeiras massas das sapatas polares, já que o campo magnético “extra-pola” as suas bordas (compare Fig. 3).

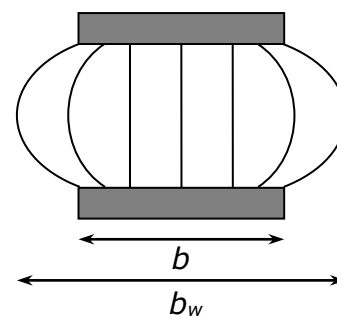


Fig. 3 efeitos colaterais nas arestas das sapatas polares

- O comprimento efetivo  $b_w$  no campo magnético resulta por aproximação com:

$$b_w = b + a \quad (2)$$

- A análise da série de experiências com, comprimento efectivo do conductor  $b_w = 60$  mm sob a aplicação das equações 1 e 2 resulta em:

Nº	Força de Lorentz $F_L$ em mN	Corrente $I$ em A
1	4,60	0,57
2	9,27	1,20
3	14,1	1,87
4	4,60	1,16
5	9,27	2,36
6	14,1	3,57

- O resultado também está representado na ilustração 4. Reconhece-se imediatamente que a força de Lorentz é proporcional à corrente. Uma análise das subidas lineares mostra, além disso, que a força de Lorentz também é proporcional ao comprimento do condutor. Portanto é válido:  $F_L \propto b_w \cdot I$

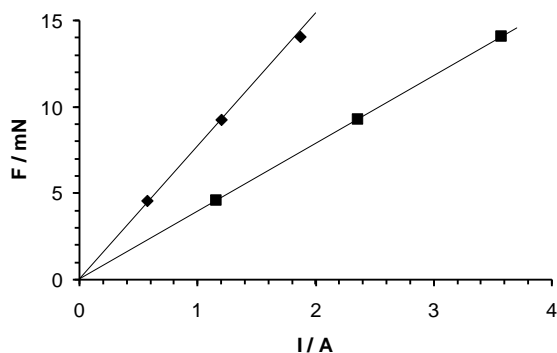


Fig. 4 força de Lorentz como função da corrente no condutor. Símbolos quadrados:  $b_w = 60$  mm, jogo da velha:  $b_w = 30$  mm

#### 4.2 Remoinhos induzidos

- A montagem da experiência está representada na ilustração 5. A distância entre os pólos é de aprox. 10 - 30 mm e é variada ao longo da experiência. Se os dois pêndulos forem inclinados juntos no mesmo ângulo e logo são largados, então o pêndulo cheio freiará muito rapidamente, enquanto que o com fendas ainda oscilará algumas vezes.
- Explicação: nas experiências na parte 4.1 fluía uma corrente através do balouço do condutor. Assim foram movidas cargas (elétrons) num campo magnético, o que

obviamente levou uma força medível (a força de Lorentz) a agir sobre os elétrons.



Fig. 5 montagem da experiência "remoinhos induzidos"

- Também nesta experiência são movidas cargas (elétrons livres no alumínio) num campo magnético, sendo que aqui o movimento é de natureza mecânica. Através desse movimento, a força de Lorentz aqui também age sobre os elétrons, o que tem por consequência um fluxo de elétrons no alumínio, ou seja uma corrente, a qual nesta experiência flui verticalmente de cima para baixo ou ao contrário, conforme a direção do movimento do pêndulo.
- No pêndulo cheio ocorre agora um "curto-circuito", já que a corrente induzida pode refluir na área do pêndulo, fora do campo magnético. Deste modo ocorre um remoinho que pode ser muito alto e que leva ao aquecimento do alumínio. A energia do pêndulo é então transformada em energia elétrica e logo em calor.
- No pêndulo com fendas não pode se formar um remoinho, já que por causa das fendas, as áreas do alumínio que se encontram fora do campo magnético estão isoladas das que estão dentro dele. Embora os elétrons primeiro se desloquem numa direção, quando muitos elétrons se juntaram na parte de cima ou de baixo do pêndulo eles batem uns nos outros e a tensão assim resultante fica em equilíbrio com a força de Lorentz sem fluxo de corrente. A energia do pêndulo, portanto, não é transformada em calor.

### 4.3 Diamagnetismo e paramagnetismo

- A montagem da experiência corresponde em princípio à Fig 5. Em vez do pêndulo, agora pendura-se a barra de alumínio ou a barra de vidro no campo magnético (antes deve-se eliminar algum enrolamento do fio, veja parte 3). A barra de vidro irá primeiro girar um pouco de um lado para o outro, enquanto que a barra de alumínio só se movimentará muito devagar (remoinhos induzidos, veja a última seção) até a sua posição final. Após um certo tempo, as barras se posicionam como é mostrado na Fig. 6.

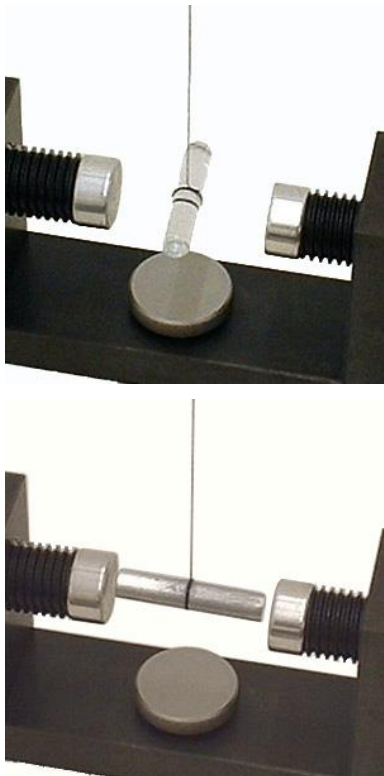


Fig. 6: barra de vidro (acima) e barra de alumínio (para baixo) no campo magnético

- Soltando o parafuso de dedo que segura os ímãs e girando lentamente os ímãs, pode-se mostrar que a posição das barras em relação aos ímãs não se altera e portanto, que esta posição não resulta de uma ação puramente mecânica de descanso (sem enrolamento da linha).
- Explicação: mesmo que nem o vidro nem o alumínio sejam magnéticos, ambas barras se alinham em função do campo magnético. A grandeza decisiva aqui é a permeabilidade relativa  $\mu_r$ , a qual determina em quanto a densidade do fluxo de um campo magnético será multiplicada em relação ao

vácuo. Surpreendentemente, e de forma diversa das constantes dielétricas, a constante de permeabilidade pode ser maior ou menor do que 1. No alumínio ela mede  $= 1,000023$  e no vidro  $= 0,99999$ . No alumínio a densidade de fluxo é portanto aumentada e a barra gira no sentido do campo. Este efeito é chamado paramagnetismo. No vidro temos a situação contrária. A barra gira fora do campo e o efeito é chamado de diamagnetismo.