**Universidade de Aveiro**

**Mecânica e Campos Eletromagnéticos**

# Autores:

* RAFAEL MATOS AMORIM Nº 98197
* JOAQUIM PEDRO GONÇALVES ANDRADE Nº 93432
* JOÃO RICARDO CIDRA FIGUEIREDO Nº 98506

Sumário

Os principais objetivos deste trabalho são essencialmente, calibrar uma sonda de efeito de Hall por meio de um solenóide padrão, medir o campo magnético ao longo do eixo de duas bobinas, estabelecer a configuração de Helmholtz e medir o campo magnético ao longo do eixo das respetivas bobinas e, por fim, verificar o princípio da sobreposição, deste modo, foram realizadas duas atividades experimentais.

Na parte A:

1. Calibração da sonda de Hall, as grandezas a serem medidas são a intensidade (que produz vários valores de campo magnético) e a tensão de Hall. Pretende-se obter uma reta em função

Na parte B:

1. Com a intensidade da corrente para 0,5 A, serão medidas a posição e a tensão para posteriormente se calcular o campo magnético e se observar o princípio da sobreposição. Com o auxílio da Parte A

No seguimento da concretização do trabalho foi fornecido vários documentos para uma melhor compreensão do que se havia de realizar nas aulas, consequentemente no relatório.

Os objetivos atingidos nas respetivas aulas foram:

1. A constante de calibração, cc: 0,031779955 T/V
2. O alcance máximo, = 1,195m, ou seja, o ângulo máximo é .

Introdução

Este relatório será posteriormente elaborado com recurso a toda a informação recolhida durante as aulas Prática Laboratoriais.

O conteúdo enquadra-se, relativamente, às aulas TP no EletroMagnetismo. Mais precisamente no:

Capítulo 3.6: Campo magnético: (Lei de Biot-Savart); Lei de Ampère.

Capítulo este, em que se estuda a produção de **campo magnético** a partir de correntes elétricas e para tal calcula-se através da Lei de *Biot-Savart* e de *Ampère*, no entanto, neste caso, em que o solenoide tem comprimento infinito é preferencial recorrermos à Lei de *Ampère*.

Sendo o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide, corrente que percorre o solenoide e a constante de permeabilidade magnética do vácuo .

Considera-se assim, esta expressão válida, pois o comprimento é muito superior do que o raio da bobine. Este enrolamento designa-se por **Solenoide Padrão**.

Contrariamente, as **Bobinas de Helmholtz** são constituídas por dois enrolamentos de raio muito superior ao comprimento, dando a entender que parecem mais anéis do que solenoides e desta forma no espaço entre as espiras é possível criar um campo magnético muito mais uniforme do que sem espaço entre eles.

Para o caso de duas bobinas apresentarem o mesmo raio e número de espiras, de estarem coaxiais (coligadas), de terem a distância entre si igual à dos raios e, ainda, de serem percorridas por iguais correntes com o mesmo sentido. Definindo os eixos x e y com a origem no ponto médio entre as 2 bobinas e alinhado com o centro das espiras, permite-nos calcular o campo magnético centrado em x = 0, criado por bobinas a partir da expressão do campo magnético no eixo de um anel de corrente.

Prevê-se que o campo magnético atinge o seu valor máximo, , na origem dos eixos definido pelas bobinas, considerando o campo total resultante da soma dos campos de cada bobina (B1+B2).

[??TIRAR??] Analisando a variação do valor de BH ao longo da secção, pode, ainda, concluir-se que o valor de BH não é inferior a 95% de , sendo, em 60% dessa mesma secção, superior a 99% de . [??TIRAR??]

Considerando um bloco de um semicondutor percorrido por uma corrente , e colocado num campo magnético, os portadores de carga vão necessariamente sentir o efeito da força magnética dada pela expressão da **Força de Lorentz**: , os portadores acumulam-se na face inferior do semicondutor, originando campo elétrico, , estes ficam então sujeitos a uma força, .

Na situação de equilíbrio as forças igualam-se, , o que permite calcular a diferença de potencial que se originou entre as 2 faces do semicondutor, designa-se assim por **Tensão de Hall.**

A **Tensão de Hall** mede-se segundo:

A tensão de Hall é proporcional à corrente de Hall que percorre o material e à intensidade do campo magnético.

Por fim, para medir campos magnéticos com a sonda de Hall, é preciso calibrá-la para determinar a constante de proporcionalidade entre , isto é, CC (**Constante de Calibração**).

Desenvolvimento Experimental

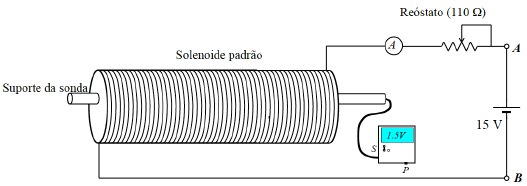
Parte A – Calibração da sonda de Hall

Um dos erros experimentais implícitos nesta parte é o erro da paralaxe, isto é, quando fizemos as nossas medidas colocámo-nos sempre perpendicularmente ao ponto que se encontrava a ser medido.

Uma imagem com interior, mesa, sentado, secretária

Descrição gerada automaticamenteMaterial utilizado:

* Fonte de alimentação simétrica;
* Reóstato;
* Medidor para o Efeito de Hall;
* Multímetros;
* Solenoide;
* Sonda;
* Cabos (interligações de componentes).

Nesta figura 2 está um exemplo de uma porta do sensor fotoelétrico ESTA IMAGEM É PARA DEPOIS TROCAR

Metodologia:

1. Efetuar a montagem da experiência de acordo com o guião;
2. Registar o comprimento do solenoide (23 cm);
3. Registar o valor de N/L;
4. Registar os vários pontos do solenoide de acordo com o seu comprimento

(=0 cm, =11,5cm e =23 cm);

1. Inserir a sonda no solenoide de modo a que a mesma se encontre num ponto do eixo que minimize a aproximação de solenoide infinito ();
2. Regular os multímetros de modo a que estejam prontos para medir a intensidade e a tensão;
3. Variar a resistência de modo a que seja possível recolher dados para a observação da relação entre a tensão e intensidade;
4. Registar todos os valores obtidos.

No decorrer deste projeto nós concretizámos a experiência com 5 medidas, tendo em conta que colocámos o sensor imediatamente à saída do LP, assim nesta parte da atividade é percetível que o erro não é tão significante, pelo que a fonte de erros é bastante reduzida ao ponto de considerarmos como valor exato no cálculo final da 3º parte para a precisão.

Cálculos:

* Distância entre os sensores: = (0.1006 ± 0.0005) m
* Registo de tempos:

;

* Média, :

= = 0.03222s

Desvios: Incerteza do tempo: Max () = 0.00068s

s

s

s

s

Cálculo da velocidade: v = m/s

A incerteza da velocidade é: m/s

Logo concluímos que o resultado é (3,12 ± 0,12) m/s

**Parte B – Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético**

**Material utilizado:**

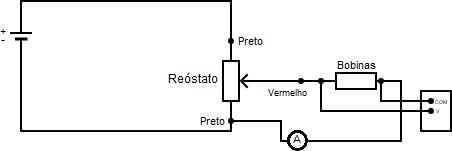
* Fonte de alimentação;
* Reóstato;
* Multímetros;
* Bobinas;
* Sonda;
* Cabos;
* Medidor Efeito Hall

Figura 3 – Esquema da montagem da parte B

**Procedimento (com metodologia utilizada para minimizar/controlar erros):**

1. Disparámos o lançador de projéteis, para termos uma pequena noção de onde cairia a bola e, consequentemente, onde colocaríamos o papel milimétrico junto do químico.
2. A fim de evitar o Erro do Zero medimos a distância da extremidade da mesa ao ponto de lançamento com intuito de obter a diferença deste com a partida (esta foi uma medida adotada devido ao fim não adequado da fita métrica em superfícies planas). Ainda medimos a distância do início da mesa ao início do papel milimétrico.

Uma imagem com interior, mesa, sentado, secretária

Descrição gerada automaticamente

Figura 4: Fita métrica com uma extremidade torcida.

1. No lançador de projéteis, ajustámos o ângulo para o que pretendíamos. Executámos o lançamento, recolhemos os dados e repetimos, 3 vezes para cada ângulo pretendido (entre 30 e 50 graus), marcando cada marca no papel milimétrico, para não existirem erros de confusão entre marcas.
2. Fizemos 10 ângulos, correspondendo a 30 medições, e após verificarmos uma certa oscilação no gráfico final, não pretendida, decidimos, por bem, repetir alguns ângulos específicos do experimento, visando obter resultados mais próximos ao valor esperado.
3. Retirámos então, por fim, a altura de lançamento do projétil.

Análise e Tratamento de Dados

Raio das bobinas = 0,043 ± 0.0005 m

Para este valor de raio das bobinas conseguimos obter os seguintes valores para a tensão da bobina 1, bobina 2 e bobina 1 + bobina 2:

~

\*o alcance corresponde à média dos 3 lançamentos em cada grau.

Tabela 1 – Medição do alcance e do ângulo

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Posição(m) ± 0.05 (m) | Tensão da bobina 1 (V) | Tensão da bobina 2 (V) | Tensão da bobina 1 + bobina 2 (V) |
| 0 | 0,0035 | 0,0044 | 0,0046 |
| 0,01 | 0,0035 | 0,0044 | 0,0046 |
| 0,02 | 0,0037 | 0,0045 | 0,0049 |
| 0,03 | 0,0036 | 0,0045 | 0,0049 |
| 0,04 | 0,0036 | 0,0045 | 0,005 |
| 0,05 | 0,0036 | 0,0045 | 0,005 |
| 0,06 | 0,0036 | 0,0046 | 0,0051 |
| 0,07 | 0,0036 | 0,0046 | 0,0051 |
| 0,08 | 0,0037 | 0,0046 | 0,0052 |
| 0,09 | 0,0038 | 0,0046 | 0,0053 |
| 0,1 | 0,0039 | 0,0046 | 0,0055 |
| 0,11 | 0,0041 | 0,0048 | 0,0056 |
| 0,12 | 0,0041 | 0,0047 | 0,0058 |
| 0,13 | 0,0044 | 0,0048 | 0,0061 |
| 0,14 | 0,0046 | 0,0048 | 0,0063 |
| 0,15 | 0,0048 | 0,0049 | 0,0068 |
| 0,16 | 0,0052 | 0,005 | 0,0073 |
| 0,17 | 0,0055 | 0,0051 | 0,0078 |
| 0,18 | 0,0061 | 0,0055 | 0,0088 |
| 0,19 | 0,0067 | 0,0056 | 0,0099 |
| 0,2 | 0,0078 | 0,0058 | 0,0115 |
| 0,21 | 0,0092 | 0,006 | 0,0138 |
| 0,22 | 0,0111 | 0,0064 | 0,017 |
| 0,23 | 0,0141 | 0,0069 | 0,0223 |
| 0,24 | 0,0184 | 0,0075 | 0,0284 |
| 0,25 | 0,0241 | 0,0085 | 0,0378 |
| 0,26 | 0,0318 | 0,0098 | 0,0493 |
| 0,27 | 0,0425 | 0,0117 | 0,06 |
| 0,28 | 0,0527 | 0,0143 | 0,0655 |
| 0,29 | 0,0583 | 0,0182 | 0,0652 |
| 0,3 | 0,0548 | 0,024 | 0,061 |
| 0,31 | 0,045 | 0,0324 | 0,0587 |
| 0,32 | 0,0342 | 0,042 | 0,0607 |
| 0,33 | 0,0248 | 0,0531 | 0,0662 |
| 0,34 | 0,0186 | 0,0572 | 0,0697 |
| 0,35 | 0,0143 | 0,0514 | 0,0593 |
| 0,36 | 0,0115 | 0,0384 | 0,0443 |
| 0,37 | 0,0095 | 0,0281 | 0,0311 |
| 0,38 | 0,0081 | 0,0209 | 0,0226 |
| 0,39 | 0,0071 | 0,0158 | 0,0173 |
| 0.40 | 0,0064 | 0,0126 | 0,0136 |

Figura 5 – Tensão em função da distância.

Tendo o CC sido calculado previamente, agora somos capazes de calcular o campo magnético usando a seguinte fórmula:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Posição (T) | Campo Bobina 1 (T) | Campo Bobina 2 (T) | Campo Bobina 1 + Bobina 2 (T) |
| 0 | 0,000111 | 0,00014 | 0,000251062 |
| 0,01 | 0,000111 | 0,00014 | 0,000251062 |
| 0,02 | 0,000118 | 0,000143 | 0,000260596 |
| 0,03 | 0,000114 | 0,000143 | 0,000257418 |
| 0,04 | 0,000114 | 0,000143 | 0,000257418 |
| 0,05 | 0,000114 | 0,000143 | 0,000257418 |
| 0,06 | 0,000114 | 0,000146 | 0,000260596 |
| 0,07 | 0,000114 | 0,000146 | 0,000260596 |
| 0,08 | 0,000118 | 0,000146 | 0,000263774 |
| 0,09 | 0,000121 | 0,000146 | 0,000266952 |
| 0,1 | 0,000124 | 0,000146 | 0,00027013 |
| 0,11 | 0,00013 | 0,000153 | 0,000282842 |
| 0,12 | 0,00013 | 0,000149 | 0,000279664 |
| 0,13 | 0,00014 | 0,000153 | 0,000292376 |
| 0,14 | 0,000146 | 0,000153 | 0,000298732 |
| 0,15 | 0,000153 | 0,000156 | 0,000308266 |
| 0,16 | 0,000165 | 0,000159 | 0,000324156 |
| 0,17 | 0,000175 | 0,000162 | 0,000336868 |
| 0,18 | 0,000194 | 0,000175 | 0,000368647 |
| 0,19 | 0,000213 | 0,000178 | 0,000390893 |
| 0,2 | 0,000248 | 0,000184 | 0,000432207 |
| 0,21 | 0,000292 | 0,000191 | 0,000483055 |
| 0,22 | 0,000353 | 0,000203 | 0,000556149 |
| 0,23 | 0,000448 | 0,000219 | 0,000667379 |
| 0,24 | 0,000585 | 0,000238 | 0,000823101 |
| 0,25 | 0,000766 | 0,00027 | 0,001036027 |
| 0,26 | 0,001011 | 0,000311 | 0,001322046 |
| 0,27 | 0,001351 | 0,000372 | 0,001722474 |
| 0,28 | 0,001675 | 0,000454 | 0,002129257 |
| 0,29 | 0,001853 | 0,000578 | 0,002431167 |
| 0,3 | 0,001742 | 0,000763 | 0,00250426 |
| 0,31 | 0,00143 | 0,00103 | 0,002459769 |
| 0,32 | 0,001087 | 0,001335 | 0,002421633 |
| 0,33 | 0,000788 | 0,001688 | 0,002475659 |
| 0,34 | 0,000591 | 0,001818 | 0,002408921 |
| 0,35 | 0,000454 | 0,001633 | 0,002087943 |
| 0,36 | 0,000365 | 0,00122 | 0,00158582 |
| 0,37 | 0,000302 | 0,000893 | 0,001194926 |
| 0,38 | 0,000257 | 0,000664 | 0,000921619 |
| 0,39 | 0,000226 | 0,000502 | 0,000727761 |
| 0,4 | 0,000203 | 0,0004 | 0,000603819 |

Explicação dos erros obtidos

Embora tenha menos cálculos teóricos, esta experiência, apresentou-nos algumas dificuldades, tal que foi a única que tivemos de refazer e aplicar medidas para controlar os erros. Como podemos observar no gráfico 1, existe, mesmo depois de uma tentativa de correção, uma distorção da parábola, entre o ângulo 40 e 45, em que os valores do alcance oscilam.

Podemos atribuir estes erros, maioritariamente, a negligência humana, causados possivelmente pela repetição da mesma experiência 30 vezes, o que levará a algum desleixo nas medições e alguma confusão entre os pontos causados pela bolha na folha milimétrica, bem como o já referido acima erro de paralaxe.

**Parte C – Pêndulo Balístico: Método alternativo para determinação da velocidade inicial de um projétil.**

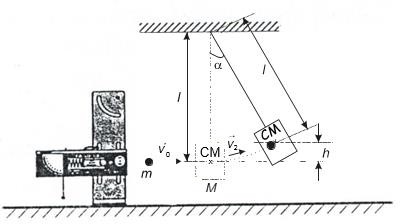


Figura 6 – Trajetória do pêndulo

**Possíveis fontes de erro**: Tal como referido anteriormente, aqui estão presentes erros de paralaxe e de medição.

**Material utilizado:**

* Projétil;
* Lançador de projéteis (LP);
* Pêndulo balístico;
* Fita métrica.

Procedimento:

1. Medimos as massas do projétil, m, e do pêndulo, M.
2. O comprimento do pêndulo, l.
3. Carregámos o LP na posição de tiro curto – “SHORT RANGE”.
4. Efetuámos um disparo e o respetivo o ângulo máximo, descrito pelo pêndulo.
5. Repetir o ponto 4 mais 4 vezes.

Análise e Tratamento de Dados

Comprimento do pêndulo (l) = 0.325 ± 0.0005 m.

Tabela 2 – Ângulos e ângulo médio

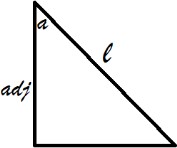
|  |  |
| --- | --- |
| Ângulo medido (± 0,25)° | Ângulo médio (± 0,8)° |
| 5,0 | 4,2 |
| 4,5 |
| 3,5 |
| 4,0 |
| 4,0 |

Massa da Esfera (m) = 0.01 ± 0.00001 kg;

Massa do Pêndulo = 0.255 ± 0.00001 kg;

Cálculos

Primeiro foi calculada a altura que o pêndulo atingia para o ângulo médio e o erro associado ao mesmo.

Para o cálculo da altura, foi considerado um triângulo retângulo com hipotenusa de comprimento *l*, e um dos lados com comprimento *adj*.

* ⬄
* ⬄ ⬄ m

Figura 7 – Triângulo retângulo

Cálculo do seu respetivo erro.

* m

Portanto m

Cálculo da velocidade inicial () e o seu respetivo erro. Para tal foi usada a fórmula fornecida no guião relativo a este trabalho.

Portanto, = 3,34 𝑚 𝑠−1

Fórmula do erro da velocidade: ⬄

⬄ .

Concluindo v0 = (3,34 ± 0.27) m/s

Após o cálculo da velocidade inicial, realizámos uma comparação com o valor obtido, também para a velocidade inicial, da parte A e efetuámos o cálculo do erro entre estes dois valores

Tabela 3: Velocidade inicial em A e C

|  |  |
| --- | --- |
| Velocidade inicial (parte A) m/s | Velocidade Inicial (Parte C) m/s |
| 3,12 | 3,34 |

Erro = 7%;

Conclusão

Os objetivos foram todos concluídos com sucesso, ou seja, na parte A garantimos que fossem efetuadas as equações do movimento para a velocidade inicial orientadas pelo guião, na parte B chegámos à conclusão que o nosso ângulo máximo correspondia a 38°, na parte C através do movimento do pêndulo obtivemos um resultado semelhante ao da Parte A, o que convenciona um bom resultado pois executando a sua relação é nos dado 7% de erro na precisão o que significa um bom trabalho tendo em conta que está abaixo de 10%. Todos os cálculos que fizemos foi sempre com um número de casas mais relevante para sermos mais precisos nas contas e finalmente no resultado respeitámos os algarismos significativos.

# Bibliografia:

* [1] Serway, R. A., Physics for Scientist and Engineers with modern Physics, 2000, Saunder College Publishing.
* [2] Alonso & Finn, Física - um curso universitário, vol. 1, 3ª edição, editora Edgard Blucher, 1981: Cap.5 e 7.
* [3] R. Resnick e D. Halliday, Física, vol. 2, 4ª ed., editora Livros Técnicos e Científicos, 1990.