

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN**

**F 609 – Tópicos no Ensino de Física
Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi
Relatório Final**

LEVITRON / LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

**Rafael Henrique Lemes Galvão – RA: 057653
rhlgalvao at gmail.com**



**Orientador: Prof. Flávio Garcia (LNLS: <http://www.lnls.br>)
fgarcia at lnls.br**

**Co-Orientador: Doutorando Robson Ricardo da Silva
rorisi at ifi.unicamp.br**

CAMPINAS / SP - 30/06/2011

1. RESUMO

O projeto foi desenvolvido sob orientação do professor Flávio Garcia e do doutorando Robson da Silva.

Consiste numa base magnética com pólos direcionados e um ímã girando com momento angular em cima dessa base. O equilíbrio entre a força magnética, a força peso e o momento angular faz o pião levitar sobre a base.

O desafio do projeto era fazer esse aparelho funcionar corretamente, para isso era necessário conhecer sua operação e conseguir fazer o equilíbrio entre essas três grandezas.

2. RESULTADOS ATINGIDOS

O projeto inicial logrou êxito. Um segundo desafio então foi proposto: apresentar uma levitação magnética em temperatura ambiente usando uma amostra grafite.

Com o auxílio do doutorando Robson, esse desafio também foi superado e uma montagem bastante simples utilizando ímãs de *neodímio-ferro-boro* (NIB) foi construída para mostrar esse efeito.

3. TEORIA

3.1^[5] Um ímã, também conhecido como magneto, é qualquer substância capaz de atrair substâncias magnéticas (ferro e outros metais). Ímãs permanentes são constituídos de material ferromagnético e suas propriedades magnéticas são originadas no spin eletrônico, no interior dos átomos que o compõem. Como característica geral, temos que um ímã é sempre um dipolo magnético, ou seja, possui pólo norte e pólo sul bem definidos, os quais não podem ser separados.

Estas extremidades recebem este nome por serem sempre atraídas, respectivamente, pelos pólos norte e sul terrestres. É fato conhecido que, em um ímã, os pólos de mesmo nome se repelem, enquanto que os de pólos de nomes contrários se atraem. Lembremos que se dividirmos um ímã ao meio teremos outros dois ímãs com as mesmas características do anterior, de modo que nunca se consegue separar os seus pólos.

Não tem como se referir ao estudo magnético sem ao menos citar o estudo da eletricidade. O campo magnético, tal como o campo elétrico, é um campo vetorial e seu valor e orientação em qualquer ponto são especificados por um vetor B , o vetor indução magnética. De forma genérica, define-se como campo magnético toda a região do espaço em torno de um ímã, ao qual se atribui um pólo norte, do qual as linhas de campo saem, e um pólo sul, ao qual as linhas de campo chegam. De maneira análoga ao campo elétrico uniforme, existe o campo magnético uniforme, definido como o campo, ou parte dele, onde o vetor indução magnética B é igual em todos os pontos, em módulo, direção e sentido. Assim sua representação por meio de linha de indução é feita por linhas paralelas e igualmente espaçadas. Um exemplo aproximado de campo magnético uniforme é a parte interna dos ímãs em forma de U.

A força magnética que age em cargas elétricas ou em condutores percorridos por corrente, em um campo magnético, é fundamental. Através de seu conhecimento pode-se explicar os fenômenos magnéticos, inclusive a levitação do ímã sobre a base do Levitron. É conhecido que cargas elétricas em movimento originam campos magnéticos. Então, considere uma espira percorrida pela corrente elétrica I , como mostra a figura abaixo. Observa-se uma distribuição das linhas de campo que é análoga a de um ímã, podendo-se diferenciar o pólo norte do pólo sul.

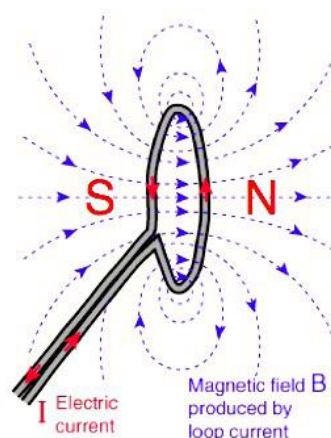


Figura 01: Espira percorrida por uma corrente

Supondo então que uma carga elétrica q se move em uma região mergulhada em um campo magnético B . Surge então uma interação entre este campo e o campo intrínseco

da carga q em movimento. Esta interação manifesta-se por uma força que age diretamente sobre q , a força magnética. Se a carga q se move com uma velocidade v ao longo do campo magnético B , a intensidade da força magnética F sobre a carga será:

$$F = B v \text{ sen } \phi$$

em que ϕ é o ângulo entre a direção da velocidade da carga e o campo magnético. Para determinar a direção de F , quando a carga for positiva, utiliza-se a seguinte regra prática, mostrada na figura que se segue:

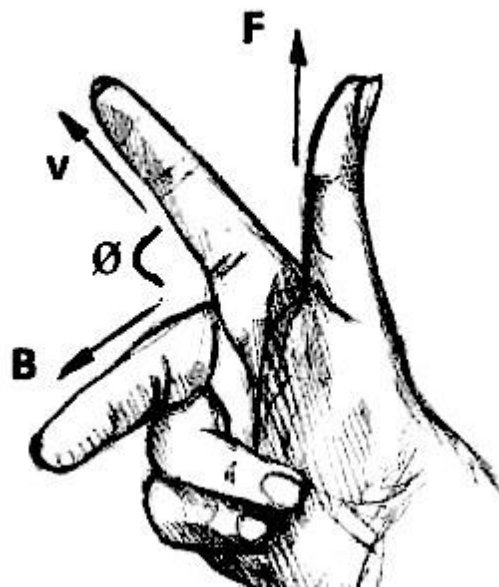


Figura 02: Regra da Mão Direita

Se a carga for negativa, a direção será a mesma, porém em sentido contrário. Considere agora um condutor reto, de comprimento L , percorrido por uma corrente i em um campo magnético uniforme B , fazendo um ângulo ϕ com a direção do condutor. Se Δq e a carga transportada pela corrente i , no intervalo de tempo Δt , ao longo do condutor de comprimento L , temos:

$$i = \Delta q / \Delta t$$

$$\Delta q = i \cdot \Delta t$$

$$F = B i \Delta t v \text{ sen } \phi$$

Por outro lado: $L = v \Delta t$

Assim: $F = B i L \text{ sen } \phi$

Para determinar a direção da força magnética, basta trocar v por i na regra prática anterior.

Suponha agora que ao invés de passar uma corrente no condutor, este se mova com velocidade v ao longo de B . Como os elétrons livres acompanham o movimento do condutor, eles ficam sujeitos a força magnética. Desta maneira surge uma diferença de potencial entre as extremidades do condutor. Se este deslizar sobre outro fixo, dobrado em forma de U, onde se adapta um amperímetro A de graduação zero, no centro, temos então um circuito fechado, como mostra a figura 03, e a diferença de potencial entre os terminais determinará a passagem de uma corrente denominada corrente induzida.

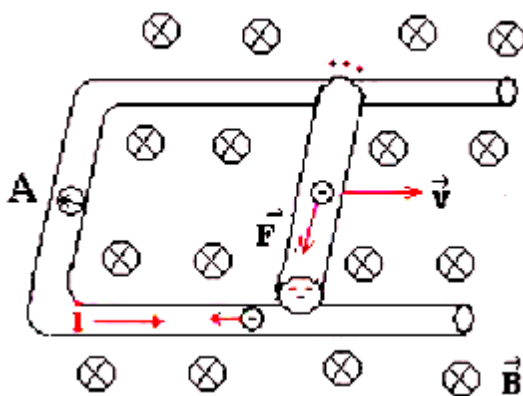


Figura 03: Circuito Fechado

Em 1831, Faraday realizou uma série de experimentos e concluiu que surge uma força eletromotriz induzida em um circuito, desde que o fluxo magnético através deste varie, fenômeno que veio a ser chamado de Indução Eletromagnética.

A lei de Lenz determina o sentido da corrente induzida, da seguinte forma: uma corrente induzida possui um sentido tal que o campo magnético devido a corrente se opõe a variação no fluxo magnético que induz a corrente. Uma variação bastante interessante das correntes induzidas são as correntes de Foucault, correntes circulares geradas a partir de fluxos magnéticos variáveis.

Consideremos a figura seguinte, que mostra o fluxo do campo magnético B através de uma superfície S :

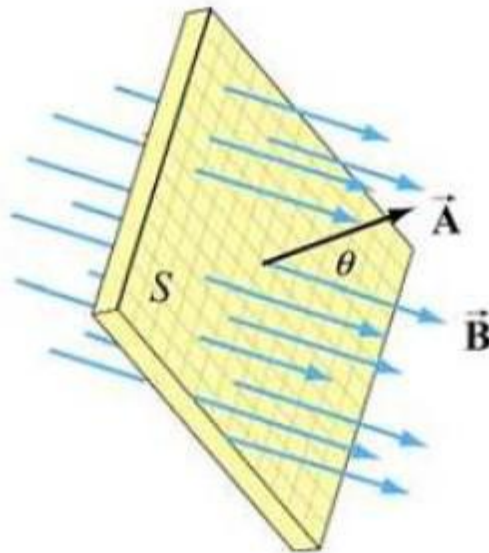


Figura 04: Fluxo de B através de uma superfície S

O fluxo magnético Φ através da superfície fechada S, cujo vetor de área é $\vec{A} = n A$, em que n é um vetor unitário perpendicular a superfície S, é:

$$\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot \vec{n} dS$$

Como sabemos, não existem monopólios magnéticos. Analogamente, então, na Lei de Gauss para a eletricidade, temos:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

O que prova que não existe monopólio magnético.

3.2 Diamagnetismo ^[6]

O diamagnetismo é um tipo de magnetismo característico de materiais que se alinham em um campo magnético não uniforme, e que parcialmente repelem de seu interior o campo magnético, no qual eles estão localizados. Primeiramente observado por S.J. Brugmans (1778), para o bismuto e antimônio, o diamagnetismo foi nomeado e

estudado inicialmente em 1845 por Michael Faraday. Através de estudos subseqüentes, Faraday concluiu que alguns elementos e quase todos os compostos exibem esse magnetismo "negativo". De fato, todas as substâncias são diamagnéticas: o forte campo magnético externo pode acelerar ou desacelerar os elétrons dos átomos, como uma maneira de se opor a ação do campo externo em acordo com a Lei de Lenz. O diamagnetismo de alguns materiais, no entanto, é mascarado por uma fraca atração magnética (paramagnetismo) ou uma forte atração (ferromagnetismo).

O diamagnetismo é observado em substâncias com estrutura eletrônica simétrica (como por exemplo, os cristais iônicos ou gases nobres) e sem momento magnético permanente.

O diamagnetismo não é afetado por mudanças na temperatura. Para materiais diamagnéticos o valor da suscetibilidade (uma medida da soma do magnetismo induzido) é sempre negativo e tipicamente próximo de um milhão.

3.2.1 Diamagnetismo e Levitação ^[7]

Uma das utilidades que podemos ter usando esse fenômeno é levitar as coisas! No seguinte vídeo vemos a água, vegetais e até animais levitando:

<http://www.youtube.com/watch?v=m-AI7GAnH8Q>

Para isso, precisamos de uma força que anule o peso para que um objeto levite. Nesse caso a força que anula o peso é a força magnética. Lembrando que pólos iguais se repelem, o campo magnético refletido pelo material é repelido pelo campo aplicado.

A maioria dos materiais é diamagnético, contudo essa propriedade é muito fraca, somente uma pequena parcela do campo magnético é refletida pelo material. Assim é necessário um campo magnético extremamente forte e o peso do material tem que ser pequeno para que ocorra a levitação.

A água, substância abundante na superfície da terra e presente em todos os seres vivos, é um exemplo de material diamagnético. Por isso foi possível levitar a rã, o tomate e o grilo.

3.3 Levitação de Placa de Grafite Pirofítica [8]

Usando então essa técnica descrita acima, podemos construir um aparato que levita uma placa de grafite à temperatura ambiente.

Todo material diamagnético submetido a um campo magnético externo apresenta um momento dipolar magnético orientado no sentido oposto ao do campo aplicado. Se o campo magnético aplicado é não-uniforme, o material diamagnético é repelido da região onde o campo magnético é mais intenso para a região onde o campo magnético é menos intenso. Assim, se o campo magnético aplicado for muito intenso, um material diamagnético será repelido pelo campo, podendo, portanto, levitar na presença deste campo, como mostra a figura 05:

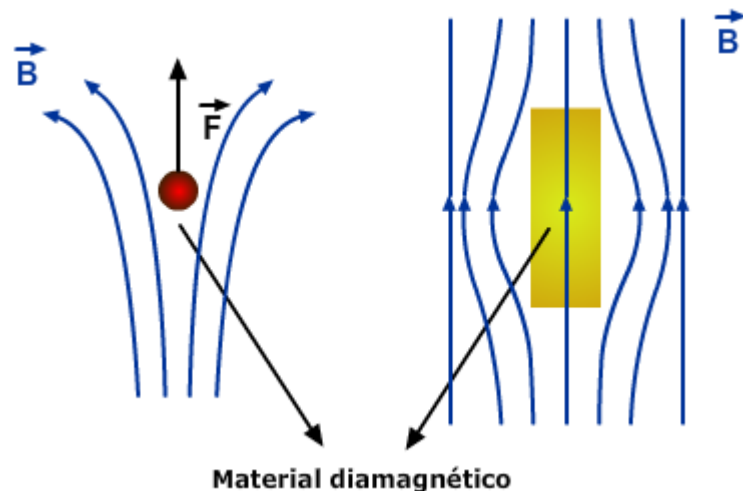


Figura 05: Materiais diamagnéticos são repelidos da região onde o campo magnético é mais intenso.

Nas substâncias ferromagnéticas e paramagnéticas, a repulsão diamagnética também se apresenta, mas é muito pequena se comparada à atração e repulsão magnéticas propriamente ditas, sendo praticamente imperceptível. A água é um bom diamagneto, assim como a maioria das substâncias orgânicas e o carbono. Na Figura 06, temos uma maneira mais fácil de levitação diamagnética utilizando uma pequena placa de carbono (mais especificamente, de grafite pirolítica) levitando acima de um ímã permanente:

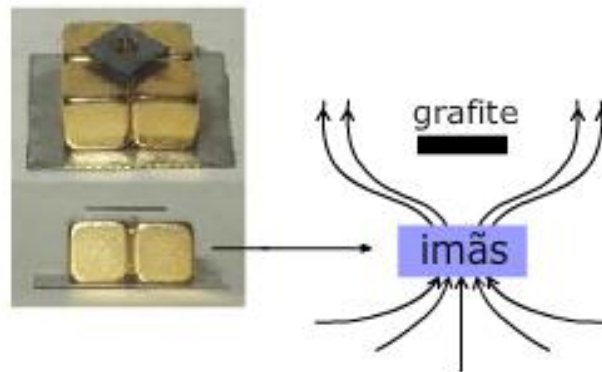


Figura 06: Placa de carbono (um material diamagnético) levitando sobre ímã natural.

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Diamagnetism>

4. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O primeiro experimento era o Levitron, como já indicado acima, o objetivo era fazê-lo funcionar, para isso tentamos equilibrar o pião, que é um ímã, sobre a base que também é um ímã.

Para isso podemos alterar o peso do pião colocando ou retirando anéis de pesos diferentes sobre o pião. No clima mais frio, o magnetismo da base aumenta sendo assim necessário aumentar o peso do pião.

O segundo experimento foi fazer a levitação do grafite sobre ímãs de Neodímio-Boro-Ferro. Para isso consultamos o artigo [10] e fomos atrás da montagem. Comprei seis desses ímãs e o Robson doou uma amostra de grafite e com esse aparato conseguimos fazer a levitação. Esses ímãs possuem forte magnetismo e o grafite pólos altamente direcionados, o que leva a um equilíbrio do peso com a força magnética conforme figura 06.

5. COMENTÁRIOS DO CO-ORIENTADOR

“O aluno Rafael Galvão me procurou pedindo esclarecimentos sobre a levitação do grafite devido ao seu forte diamagnetismo e como montar um experimento para demonstrar esse fenômeno.

Discutimos juntos esse assunto, indiquei a configuração de montagem dos ímãs como também dei uma amostra de grafite pirolítica altamente orientada (HOPG) para ele demonstrar esse efeito.

O experimento foi previamente checado por nós mostrando claramente a levitação da grafite sobre os ímãs de Neodímio-Boro-Ferro.”

6. CONCLUSÃO

A prática desse experimento me ensinou bastante sobre o fenômeno da levitação e sobre o magnetismo. Principalmente o segundo experimento, pois conheci novos materiais e novas aplicações.

O Levitron é uma ferramenta didática super importante e de alto impacto, pois levei-o no cursinho onde dou aulas e os alunos ficaram impressionados com o efeito.

7. REFERÊNCIAS

1. <http://www.levitron.com>
Site do aparelho. Tem várias informações, instruções de como funciona, ensina a Física do aparelho.
2. http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_36.asp
Site em português ensinando como fazer o LEVITRON funcionar. Bem didático e com muitas figuras.
3. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Levitron>
Site da Wikipédia. Ele mostra outro modelo de LEVITRON, mas que funciona com os mesmos princípios.
4. <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimedia/Videos/Eletromagnetismo/Levitron-video-e-explicacao>
Site da SBF sobre o LEVITRON.

5. Projeto: Quase-Levitação Magnética com Contenção Lateral
Relatório Final do aluno Leandro das Mercês Silva em 1º sem /
2010 sob orientação do prof. Flávio Garcia
6. <http://www.monitoriadeengenharia.com.br/arquivos/TrabalhoFisicaMagnetismo.pdf>
Trabalho acadêmico de Engenharia de Produção sobre magnetismo
7. <http://cienciatube.blogspot.com/2010/10/diamagnetismo-raflutua-morango.html>
Breve descrição com vídeo sobre Magnetismo e Levitação
8. http://www.passo-a-passo.com/mec/3.2.1/05_teoriam.htm
Artigo sobre vários tipos de Levitação
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Diamagnetism>
Artigo da Wikipedia sobre Diamagnetismo
10. <http://groups.mrl.uiuc.edu/chiang/Chiang/Magnetic%20Levitation.htm>
Artigo referência para o experimento com o grafite pirolítico
11. William T. Scott, *Who Was Earnshaw?*, American Journal of Physics, 1959
Artigo sobre *Earnshaw* com um ponto de vista de que não há levitação magnética, nem eletrostática.