



ARTIGO DE PESQUISA

Aprendendo magnetostática estudando meu cereal matinal

Learning magnetostatics studying my breakfast cereal

M. E. Cano¹, F. A. Cholicó¹, A. A. Orozco-Mendoza¹, J. A. Leyva Cruz², L. H. Quintero³. *

¹Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Avenida Universidad 1115, Ocotlan, 47810, Jalisco, México.

²Laboratório de Instrumentação em Física-LINFIS, Departamento de Física-DFIS, Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS, Av. Transnordestina, s/n - Feira de Santana, 44036-900, Novo Horizonte - BA, Brasil.

³Centro Universitario de Ciências Económico Administrativas, Universidad de Guadalajara, Periférico Norte 799, Col. Los Belenes, C.P 45100, Zapopan, Jalisco, México.

*Autor de correspondência: hectorquintero@yahoo.com

Resumo: Este trabalho descreve de forma didática a medição da suscetibilidade magnética de alguns tipos de cereais fortificados que, por questões de rapidez e praticidade, são a base do café da manhã de milhões de pessoas. A suscetibilidade magnética de algumas amostras de cereais foi medida com alta precisão, utilizando um experimento simples de medição força-peso usando uma balança e um ímã. Os resultados obtidos mostram suscetibilidades magnéticas da ordem de 50,6 a 120,6 ppm em amostras de cereais como arroz tufado, flocos de milho e milho tufado.

Palavras-Chaves: magnetismo; ferrimagnetismo; susceptibilidade magnética

Abstract: This work describes in a didactic way the measurement of the magnetic susceptibility of some types of fortified cereals that, for speed and practicality, are the basis of the breakfast of millions of people. Magnetic susceptibility is estimated very accurately using a simple experiment to measure weight (force) using a scale and a magnet. The results obtained show magnetic susceptibilities of the order from 50.6 to 120.6 ppm in samples of puffed rice, corn flakes, and puffed corn.

Keywords: magnetism; ferromagnetism; magnetic susceptibility

Citação: M. E. Cano et al. Aprendendo magnetostática estudando meu cereal matinal. Cad. Fís. UEFS, 22(01):1405.1-05, 2024.

Recebido: 12/02/2024

Aceito: 01/03/2024

Publicado: 28/05/2024



Copyright: © 2024 pertence aos autores. Publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introdução

Muito se tem observado em diversos meios de comunicação e em alguns sites da internet sobre a possível atração magnética que um floco de milho sofre quando um ímã é trazido até ele (Araya, 2012). Esta possível atração magnética se deve à incorporação artificial e industrializada de ferro nos alimentos, inclusive em diversos experimentos caseiros nos quais foram publicados procedimentos para separar parte do ferro por meio de uma força de atração magnética (Lupián, 2012).

Por outro lado, todos os materiais possuem propriedades magnéticas devido à sua constituição molecular, embora o magnetismo tenha uma explicação mais exata analisando moléculas com uma abordagem quântica (Palácios, 2011), aqui será analisado do ponto de vista da termodinâmica, que é dito na escala do número de moléculas de Avogadro. Quando uma molécula possui poucos elétrons livres em sua estrutura atômica, quando uma intensidade de campo magnético H é aplicada a eles, eles são capazes de realizar um movimento de precessão livremente em seu eixo (orientados na mesma direção de H), o que dá origem ao fenômeno de paramagnetismo. No caso oposto, essa precessão é experimentada pelos núcleos atômicos, causando o diamagnetismo. Quando uma molécula contém uma quantidade exagerada de elétrons livres, eles não são mais capazes de executar o movimento de precessão livremente em seu eixo, pois são afetados pela presença de elétrons vizinhos. Nesse caso, formam-se arranjos de elétrons que mantêm sua orientação mesmo após desligar o H , esse fenômeno dá origem a outros tipos de comportamento chamados ferromagnetismo, ferrimagnetismo e antiferromagnetismo.

Em laboratórios de pesquisa ou ensino de física, costumam ser encontrados dispositivos sofisticados chamados magnetômetros para medir as propriedades magnéticas dos materiais, com os quais é possível determinar uma curva de magnetização M aplicando diferentes intensidades de H e medindo o número de elétrons (por unidade de massa ou volume) alinhados na mesma direção, portanto, conhecendo a razão $\chi = M/H$, podemos estimar o quão suscetível o material é ao alinhamento com H e seu sinal nos diz se era uma

orientação paralela (paramagnetismo) ou antiparalela. (diamagnetismo). No entanto, desde a época de Faraday, medições muito precisas de χ (com pêndulos) foram alcançadas medindo a força de atração entre a amostra e um ímã suspenso que a magnetiza (Morris, 1968). Da mesma forma, há quase duas décadas foram relatados experimentos para medir essa força (ou seja, calcular χ) usando balanças analíticas, usando o esquema da Figura 1 (Cano 2008, Sosa 2006). Para termos uma ideia das dimensões desta grandeza física podemos citar que a susceptibilidade magnética do ar é ligeiramente paramagnética aproximadamente igual $\chi_{ar} = 0.364 \times 10^{-6}$, no SI.

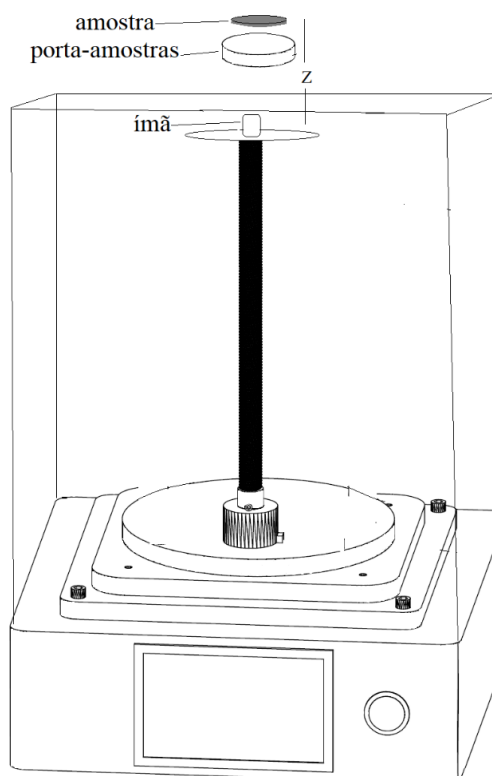


Figura 1. Configuração experimental para determinar a susceptibilidade de uma amostra plana usando um ímã e uma balança.

Como pode ser visto na Figura 1, dentro de uma vitrine na placa da balança é colocado um longo suporte cilíndrico que em sua extremidade superior segura um ímã, enquanto na parte externa é colocado um suporte para amostra em forma de disco para segurar uma amostra circular plana. Desta forma, quando o ímã é aproximado da amostra ele é magnetizado e “se transforma em outro ímã”, que devido à terceira lei de Newton pode empurrar ou repelir o ímã em seu interior com uma força $F_m = mg$ com a mesma magnitude, onde $g \sim 9.8 \text{ m/s}^2$ e m é a massa fictícia registrada pela balança.

2. Métodos e Materiais

Neste trabalho foram realizadas medições da susceptibilidade magnética em três tipos de cereais fortificados comerciais, um na forma de arroz tufado, outro de milho tufado e um último de flocos de milho, denominados C1, C2 e C3 respectivamente. Uma fração desses cereais foi triturada em almofariz de laboratório até a obtenção de um pó bem fino e foram extraídas amostras de 1g de cada um deles, as quais foram colocadas em placas de Petri de 4 cm de diâmetro. Foi utilizada uma balança analítica *Mettler Toledo* com precisão de 0,1 mg e um ímã retangular de NdFeB de $2,5 \times 2,5 \times 1,2 \text{ cm}^3$ que produz um campo magnético de indução magnético de até 1,4 T no centro de suas faces quadradas.

Desta forma, colocando as amostras de cada cereal na vitrine logo acima do ímã, determinou-se a massa fictícia com a balança e estimou-se F_m , e em seguida calculou-se χ seguindo os aspectos teóricos que são explicados posteriormente. Os experimentos foram realizados em triplicata para determinar um valor médio de χ com seu respectivo desvio padrão. A Figura 2 mostra fotografias da configuração experimental incluindo amostras C1, C2 e C3 antes e depois de serem pulverizadas.



Figura 2. Fotografia da montagem experimental e dos cereais integrais e em pó estudados.

Sabe-se que a força de atração entre um dipolo magnético com magnitude de momento magnético μ e um campo magnético não uniforme \vec{B} é dado pela equação 1. O que é bastante simplificado quando apenas a direção z é levada em consideração, conforme descrito na equação 2.

$$\vec{F} = (\vec{\mu} \cdot \nabla) \vec{B} \quad (1)$$

$$F_z = \left(\mu_z \frac{\partial}{\partial z} \right) B_z \quad (2)$$

Nesta última, B_z é produzido pelo ímã da Figura 1 e está relacionado ao componente z de H de acordo com a expressão $B_z = \mu_0 H_z$, onde μ_0 é a permeabilidade magnética do. Lembrando que M é a magnitude da densidade do momento dipolar $M_z = \mu_z/V$, é fácil ver que a equação 2 pode ser reescrita em termos de sua suscetibilidade magnética como na equação 3.

$$F_m = F_z = \frac{\chi V B_z}{\mu_0} \frac{\partial}{\partial z} B_z \quad (3)$$

Portanto, se no processo de medição de F_z as amostras a serem estudadas possuem o mesmo volume e são excitadas pela mesma razão $B_z \frac{\partial}{\partial z} B_z$ (isso é conseguido mantendo o ímã estacionário e colocando as amostras à mesma distância do ímã), então a equação 3 pode ser simplificada de acordo com a equação 4 incluindo uma constante de calibração K , que pode ser determinada usando uma amostra com suscetibilidade magnética conhecida como padrão de medição.

$$F_m = K\chi \quad (4)$$

Para estimar K , neste trabalho foi realizada inicialmente uma medição de F_m usando uma amostra de 1g de água destilada que é conhecida por ter um valor de $\chi = -9.0 \text{ ppm}$ (partes por milhão).

3. Resultados e Discussões

Os resultados da medição de F_m e seu correspondente χ estimado para cada amostra estão resumidos na Tabela 1. Para eliminar a contribuição para a força devida a cada porta amostra, antes de depositar o pó, eles foram colocados no ímã e a balança foi sempre tarado. Como pode ser observado, a amostra padrão apresentou um valor médio de $F_{mH_2O} = 26.2 \pm 0.6 \mu N$, o que leva a uma constante média $K = -2.9 \text{ N}^{-1}$. É importante destacar o sinal positivo do F_{mH_2O} , que indica que o ímã foi repelido pela amostra devido ao comportamento diamagnético da água. Em contraste, os valores de F_m do restante das amostras foram negativos, indicando que o ímã foi atraído por elas. Uma rápida olhada nas estimativas de suscetibilidades magnéticas indica que C3 é muito mais suscetível a todos os outros, o que está associado à presença de maior quantidade de ferro na superfície dos flocos. Além disso, C3 é a única amostra que não contém camada visível de açúcar ou chocolate em sua superfície.

Tabela 1. Medidas de F_m com seus respectivos desvios padrão de cada amostra e suscetibilidade magnética estimada.

Amostras	$F_m (\mu N)$	$\chi (\text{ppm})$ (adimensional)
Água	26.1 ± 0.6	-9.0 ± 0.2
C1	-147.0 ± 1.7	50.6 ± 0.6
C2	-173.8 ± 4.9	59.9 ± 1.7
C3	-327.0 ± 15.9	112.6 ± 5.5

Para ter uma melhor referência da intensidade dos valores de χ medidos, é importante lembrar os valores de χ de alguns materiais paramagnéticos puros que existem na natureza, referindo-se aos mais intensos (Nave, 2008), por exemplo: no alumínio $\chi = 22 \text{ ppm}$; o Césio tem $\chi = 51 \text{ ppm}$; a Platina $\chi = 260 \text{ ppm}$; e o Tungstênio $\chi = 68 \text{ ppm}$, dentre outros. Ou seja, a susceptibilidade magnética dos cereais é comparada com a dos materiais paramagnéticos mais intensos que existem na natureza. Por outro lado, sendo o ferro o elemento presente nas nossas amostras que mais contribui para a suscetibilidade medida, é muito provável que os nossos cereais possam sofrer ordenação ferromagnética ao aplicar campos mais intensos, o que explicaria em grande parte a magnitude das nossas observações. No entanto, para este fim outros tipos de experimentos devem ser desenhados.

4. Conclusões

De forma didática, é explicado um procedimento para alcançar uma compreensão muito básica das propriedades magnéticas da matéria, que se baseia em uma fundamentação teórica facilmente dedutível. A montagem experimental é composta por elementos técnicos que estão ao alcance dos alunos do ensino secundário e superiores. O sistema físico estudado (cereais fortificados) é muito atrativo para os alunos por ser um alimento do dia a dia. Os resultados obtidos permitem gerar uma ideia de como são os cereais magnéticos e deixam aberta a possibilidade de uma exploração mais aprofundada para descobrir outro tipo de arranjo mais complexo derivado do ferromagnetismo.

Referências

- Araya Quesada, Yorenli María. (2012). Ciencia con Alimentos: Manual de experimentos. Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/10669/9038>
- Cano, M. E., Cordova-Fraga, T., Sosa, M., Bernal-Alvarado, J., & Baffa, O. (2008). Understanding the magnetic susceptibility measurements by using an analytical scale. *European Journal of Physics*, 29(2), 345. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/29/2/015>
- Lupi3n-Cobos, T., Crespo-G3mez, J. I., & Alarc3n-Orozco, M. (2022). An3lisis del dise1no de un proyecto ABP STEAM para educaci3n primaria sobre alimentaci3n saludable. Repositorio Institucional de la Universidad de M3laga. <https://hdl.handle.net/10630/24982>
- Morris, B. L., & Wold, A. (1968). Faraday balance for measuring magnetic susceptibility. *Review of Scientific Instruments*, 39(12), 1937-1941. <https://doi.org/10.1063/1.1683276>
- Nave, C. L. (2008). Magnetic properties of solids. *Hyper Physics*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/mag-prop.html>
- Palacios, J. T. (2011). Magnetismo Cu3ntico. *Revista Espa1ola de F3sica*, 17(1). <https://revistadefisica.es/index.php/ref/article/download/549/319>
- Sosa, M., C3rdova, T., Bernal, et. al. (2006). Medici3n de la susceptibilidad magn3tica de sustancias l3quidas en el laboratorio de f3sica. *Revista mexicana de f3sica E*, 52(2), 111-115.

Isen1ao de responsabilidade/Nota do editor: As declara13es, opini3es e dados contidos em todas as publica13es s3o exclusivamente de responsabilidade do(s) autor(es) e colaborador(es) individual(is) e n3o do Caderno de F3sica da UEFS e/ou do(s) editor(es). O Caderno de F3sica da UEFS e/ou do(s) editor(es) isentam-se de responsabilidade por qualquer dano a pessoas ou propriedades resultante de quaisquer ideias, m3todos, instru13es ou produtos mencionados no conte1do.