

## **Definição matemática do campo magnético em função da temperatura em materiais paramagnéticos num processo adiabático.**

**Ricardo Luís Lima Vitória<sup>1</sup>, Greyson Januário Coelho<sup>1</sup>, SuelmaDias<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduando do curso de Licenciatura em Física – IFMA. e-mail: ricardo-luis91@hotmail.com

<sup>2</sup>Graduanda do curso de Licenciatura em Biologia–IFMA.e-mail: greysoncoelho@bol.com.br

**Resumo:** Os comportamentos da matéria e suas propriedades físicas (elétrica, magnética, ópticas, etc.), geralmente dependem da temperatura e campos magnéticos (principalmente) aplicados ao material em estudo, pois estas duas grandezas físicas têm o poder de mudar ou transformar suas configurações físicas como mecânicas, magnética, eletrônica e outras bastante importantes, alterando a energia interna do sistema que por sua vez nos fornece todas as informações do material ou sistema em estudo. Com isso, usaremos o Cálculo Diferencial e Integral para chegarmos a uma fórmula matemática envolvendo estas duas grandezas (Temperatura e Campo Magnético) para uso analítico ou até mesmo experimental.

**Palavras-chave:** derivadas termodinâmicas, lei de Curie, materiais magnéticos

### **1. INTRODUÇÃO**

No mundo em que vivemos, somos cercados por transformações de matéria, onde algumas são bastante perceptíveis e outras com grande dificuldade de percepção.

Transformações físicas ou químicas da matéria, com o passar do tempo tem sido bastante estudadas teoricamente e experimentalmente por cientistas das áreas exatas e afins, tendo-se um grande triunfo sobre o conhecimento das transformações da matéria macro à microscópica, fornecendo aplicações às engenharias e ao conforto, lazer e uso pelo ser humano. Mas para isso, foi necessário estudar as modificações necessárias nas leis nas leis que regem os fenômenos magnéticos, quando esses fenômenos ocorrem não no ar ou no vácuo, mas num meio magnético qualquer.

Devemos então discutir as propriedades magnéticas da matéria. Entre os materiais que apresentam propriedades magnéticas, o ferro é o mais interessante. Outros materiais, como, por exemplo, o níquel e o cobalto, apresentam propriedades magnéticas semelhantes. Esses materiais são chamados de ferromagnéticos. Entretanto, em geral, todos os outros materiais, sob certas condições, apresentam efeitos magnéticos, embora não da mesma ordem de grandeza dos ferromagnéticos, mas sim muito menor. Nesse caso, os materiais são chamados de paramagnéticos, tal como o alumínio. Outros como o bismuto são chamados de diamagnéticos.

Sabe-se que um tratamento correto desses materiais só pode ser feito através da Mecânica Quântica. Entretanto, com base na Física Clássica, podemos chegar a bons resultados em certos casos.

É uma das áreas da física que tem uma grande exposição de conhecimentos analíticos e experimentais sobre transformação de matéria é a termodinâmica, pois esta sistematiza as leis empíricas sobre o comportamento térmico da matéria macroscópica.

Com algumas definições de Termodinâmica, será possível mostrar analiticamente por meios de métodos matemáticos de Cálculo Diferencial e Integral a variação de temperatura em função do campo magnético aplicado a um determinado material magnético que obedece a lei de Curie num processo adiabático sem o uso de experimentos laboratoriais, e também nos limitando dos métodos de Mecânica Estatística.

### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados livros de embasamento científico e conhecimentos adquiridos durante o processo de aprendizagem no curso de Física.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consideremos um material magnético, onde este obedece a lei de Curie, ou seja,

$$M = C \frac{H}{T} \quad (1)$$

onde C é uma constante positiva que depende do material, H é o campo magnético aplicado sobre o material, M é a magnetização e T a temperatura.

Sabe-se que a entropia, como função dos parâmetros extensivos, constitui uma equação fundamental de um dado sistema, contendo todo o conhecimento termodinâmico sobre qualquer sistema que representa características termodinâmicas.

No caso do nosso sistema em estudo, nossos parâmetros extensivos são a temperatura T e o campo magnético H. Então a entropia deste pode ser escrita da forma

$$S = S(T, H) \quad (2)$$

Sua forma diferencial é

$$dS = \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H dT + \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH \quad (3)$$

Multiplicando ambos os lados da equação (3) por T, temos

$$TdS = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H dT + T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH \quad (4)$$

Há determinadas derivadas termodinâmicas de fácil acesso experimental, e, portanto, de grande interesse físico. Muitas vezes, é conveniente exprimir as grandezas termodinâmicas que estão sendo estudadas em termos dessas derivadas mais importantes (que em geral, são tabeladas em compêndios sobre dados termodinâmicos). No caso do nosso sistema, que é um material magnético, vale à pena lembrar que:

$$c = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H \quad (5)$$

é o calor específico, que no nosso caso, se encontra a campo magnético constante.

Logo substituindo (5) em (4), temos

$$TdS = cdT + T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH \quad (6)$$

A equação (6) mostra que o estudo termodinâmico se trata de um material ou fluido magnético.

Lembrando que se trata de um processo adiabático, ou seja, S não varia, temos que,  $dS = 0$ . Assim a equação (6) se torna

$$cdT + T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH = 0 \quad (7)$$

$$dT = -\frac{T}{c} \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH \quad (8)$$

A expressão da lei da conservação da energia no nosso caso é dada por

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta E \quad (9)$$

Onde E é a energia magnética, mas podemos ir mais adiante

$$\Delta U = T\Delta S + H\Delta M \quad (10)$$

$$dU = TdS + HdM \quad (11)$$

Sabe-se que a magnetização está em função de T e H, ou seja,

$$M = M(T, H) \quad (12)$$

onde sua forma diferencial é

$$dM = \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dT + \left( \frac{\partial M}{\partial H} \right)_T dH \quad (13)$$

Substituindo a equação (4) e (13) em (11), nos dá

$$dU = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H dT + T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH + H \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dT + H \left( \frac{\partial M}{\partial H} \right)_T dH \quad (14)$$

Organizando a equação (14):

$$dU = T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H dT + H \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dT + T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T dH + H \left( \frac{\partial M}{\partial H} \right)_T dH \quad (15)$$

Como  $dU$  é uma diferencial exata, temos a seguinte propriedade:

$$\left( \frac{\partial}{\partial H} \right)_T T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_H + H \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_H = \left( \frac{\partial}{\partial T} \right)_H T \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T + H \left( \frac{\partial M}{\partial H} \right)_T \quad (16)$$

A equação (16) nos dá

$$\left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T = \left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_H \quad (17)$$

Segundo a lei de Curie

$$M = C \frac{H}{T} \quad (18)$$

Logo,

$$\left( \frac{\partial M}{\partial T} \right)_T = -C \frac{H}{T^2} = \left( \frac{\partial S}{\partial H} \right)_T \quad (19)$$

Substituindo (19) em (8)

$$dT = -\frac{T}{c} - C \frac{H}{T^2} dH \quad (20)$$

que por sua vez é

$$dT = \frac{CH}{cT} dH \quad (21)$$

Onde pode ser escrita

$$\Delta T = \frac{CH}{cT} \Delta H \quad (22)$$

Onde  $\Delta T$  é a variação de temperatura, C é uma constante positiva constante,  $\Delta H$  é o campo magnético aplicado (corrigido por possíveis efeitos de superfície) e c é o calor específico a campo magnético constante.

A equação (22) tem uma profunda aplicação no estudo das propriedades termodinâmicas e magnéticas dos materiais magnéticos, tanto teórica como experimental, pois é uma equação de estado como a equação dos gases reais, como a equação que relaciona a variação de temperatura em graus Celsius e Fahrenheit e outras do ramo da física.



## 6. CONCLUSÕES

Mostramos por meios e métodos matemáticos de cálculo diferencial, como as derivadas termodinâmicas, para se chegar em uma relação que dependa de grandezas físicas capazes de modificar propriedades termodinâmicas e magnéticas como a temperatura e o campo magnético ou vice-versa, onde sua aplicação pode ser teórica ou experimental em materiais ou fluidos magnéticos que por sua vez, estas duas grandezas estão relacionadas com uma constante positiva que vai depender do material em estudo.

## REFERÊNCIAS

HUANG, K. Statistical Mechanics, John Wiley, New York, 1987.

MARTINS, Nelson. Introdução à teoria da eletricidade e do magnetismo. São Paulo, Edgard Blucher, 1975.

SALINAS, Sílvia R. A. Introdução a Física Estatística. São Paulo, Edusp, 2008.

VITÓRIA, R. L. L.; LIMA, R. G. Uso das derivadas termodinâmicas para a definição da temperatura em função do campo magnético aplicado em um material magnético que obedece a lei de Curie num processo infinitesimal adiabático. *In*: 64ª Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 1, 2012, São Luís.

YEOMANS, J. M. Statistical Mechanics of Phase Transitions. Oxford University Press, 1994.