

MANYETİK ÖLÇÜMLERDE ZAMAN ÖLÇEKLERİ

Rauf Mirzababayev
Gaziantep Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
27310, Gaziantep
mirza@gantep.edu.tr

Özet: Her ölçüm metodu kendisine has özel zaman ölçeği t karakterize edilir ve ölçümün fiziksel kuralları tarafından tanımlanır. Manyetik ölçümlerde Curie sıcaklığı T_c tek başına tanımlanamaz ve deneysel tekniğin zaman ölçeğine bağlıdır. Manyetik materyal, iki farklı metot ile ölçüldüğünde, genel olarak kabul edilmiş görüşten farklı olarak, gözlemlenen kritik noktalar birbirinden farklı olur.

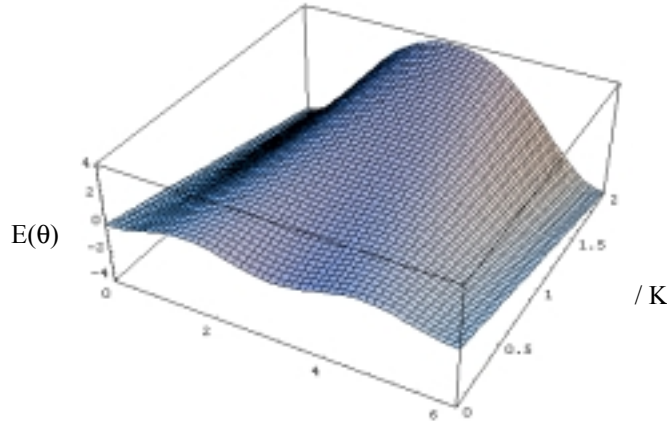
1. Giriş

Maddelerin manyetik özelliklerinin ölçülerinde manyetik faz değişim sıcaklıkları T_c ölçüm aletlerinin kalibrasyonu için referans nokta olarak kullanılır. Genellikle faz değişimleri maddenin fiziksel özellikleri ile doğrudan bağlantılı fakat uygulanan ölçüm metoduna bağlı olmadığı farz edilir. Çeşitli metotlarla yapılan ölçümlerdeki Curie noktalarındaki farklılıklar elde edilen ölçümlerin istatistik ve sistematik hatalardan kaynaklandığı varsayılır. Bundan dolayı farklılıklar çok büyük olduğunda bu konuda ilgi çekici açıklamalar yapılmamıştır, ve bu durum pek araştırılmamıştır [1]-[3]. Çok hassas spektroskopik metotların uygulamaları ölçüm metotlarını bütün bu uygulamalara yeni bir bakış getirmeyi mümkün kılmıştır. Bu çalışmanın amacı ölçüm metotlarına ölçeklendirme (scaling) teorisini kullanmak yöntemiyle bazı yeni yaklaşımlar uygulamaktır.

2. Kritik olaylar ve ölçeklendirme teorisi

Ferromagnetlerin termodinamik özellikleri, magnetizasyon ve özel ısı olarak, Curie sıcaklığından T_c ötede iyi davranışlıdır ve dışarıdan manyetik alan uygulandığında bütün sıcaklıklarda da durum böyledir. Ancak kritik noktada sonsuza yaklaşan değerde davranışı sabittir. Bundan dolayı kritik noktalar, matematiksel olarak analitik olmayan noktalar, analitik sistemler dışında karakterize edilebilir.

Ölçeklendirme (scaling) teorisinden dolayı, kritik noktalarına yakın noktalarda sistemin davranışları sadece küçük sayıda genel karakteristiğine bağlı olmalıdır. Eğer düzenli benzer özellikleri ve parametreleri çeşitli sistemlerin kritik noktalarına yakın noktalarda sistemin davranışları sadece küçük sayıda genel karakteristiğine bağlı olmalıdır. Eğer düzenli benzer özellikleri ve parametreleri çeşitli sistemlerin kritik sistemlerin noktalarında bulunabilirse, aynı form her birine uygulanabilir ve bir tanesi ile ilgili sonuçlar diğerleri genel bir bilgi verebilir. Basit bir ferromagnet eşdeğer manyetik momentlerinin koleksiyonundan oluşur. Her bir spin kendi etrafında serbest şekilde herhangi bir yöne döner fakat sıralı bir şekilde dizilim için komşu spinler arası değişimler vardır. İdeal bir ferromagnette spinler, $T = 0$ K de, aynı yönde dönerler. Ferromagnet termal enerjiye (kT) kadar ısıtıldığı zaman, bu enerji spin dalgasını ve spini döndürmeye ve $\langle \sigma \rangle$ da düşüşe yol açmaya yeterlidir. Eğer sıcaklık yeteri kadar yüksek değilse spin dalgası ihmal edilebilir etkileşimlere sahiptir ve serbest ekzitasyonlar olarak ele alınabilir.



Şekil 1. Manyetik parçacığın normalize edilmiş enerjisi

Hiçbir dış etki olmayan ideal bir ferromagnette spinler kendi etrafında, $T = 0$ K de, aynı yönde dönerler. Bu dizilimin derecesi dizilim parametresi olarak $\langle \sigma \rangle$ karakterize edilebilir. Burada σ indirgenmiş manyetik momenttir. ($|\sigma| \leq 1$). Kritik sıcaklık uygulandığında spin dalgaları yeteri kadar güçlü olur ki ekzitasyonlar artan bir oranda korelasyona uğrar ve korelasyon uzunluğu ξ olarak karakterize edilir.

$$\xi(T) = \xi_0 [(T_c - T) / T_c]^{-\nu} \quad (1)$$

burada, ξ_0 - korelasyon uzunluğunun genliği, ν - kritik üs' tür.

Korelasyon uzunluğu ekzitasyonlar için sonsuz olduğunda dizilim parametresi (σ) kritik sıcaklık noktasında sıfır olur [4]. Sıcaklık daha fazla artırıldığında, termal korelasyon yeniden oluşur ve bu korelasyon uzunluğunda düşüşe sebep olur. Ancak $\langle \sigma \rangle$ sıfır olarak kalırsa kritik sıcaklığın üzerinde makroskobik bir düzen olmaz.

3. Kvaziparçacıklarının enerjisi

Korelasyon uzunluğu oluştuğunda bütün atomların manyetik momentleri sıcaklığa bağlı olan bir frekansla $1/\tau_s$ düzenli şekilde pozisyonları değişir. Davranışları bir superparamanyetik mikrokristallerindeki gibidir.

Dış bir manyetik etki olmadan, büyük oranda manyetik olarak düzenlenmiş magnetizasyonun yönü basit yöndedir. Basit yön, spin sistemin düşük enerji yönleri olarak tanımlanmıştır ve enerji duvarı tarafından ayrılmıştır.

Dışarıdan simetri eksenini boyunca manyetik (H) bir etki olduğu zaman, ferromanyetik parçacığın enerjisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır

$$E(\theta) = KV \sin^2\theta - HM_S V \cos\theta \quad (2)$$

burada, M_S – magnetizasyon, K - anizotropi enerji sabiti, V - parçacığın hacmi, θ - magnetizasyonun yönü ve basit yön arasındaki açı, olarak ifade edilmiştir.

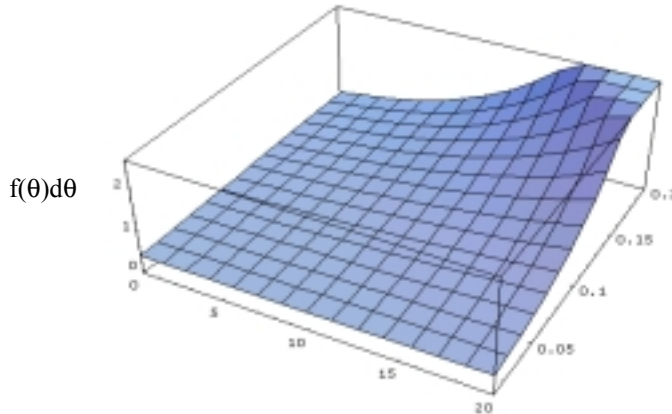
Yukarıdaki formüle bağlı olarak $H < 2K / M_S$ için iki enerji minima $\theta = 0$ ve $\theta = \pi$ de, KV ye eşit olan enerji duvarı ile ayrılmış iki enerji miniması oluşur. Dışarıdan uygulanan daha büyük bir manyetik alan için $\theta = \pi$ deki minimum yok olur (Şekil1).

Küçük parçacıkların magnetizasyon vektörü ve basit yön ile arasında θ ve $\theta + d\theta$ kadar bir açı oluşur, bu açının oluşma olasılığı aşağıdaki formül ile tanımlanmıştır (Şekil 2):

$$f(\theta) d\theta = \frac{\exp[-E(\theta)/kT] \sin\theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \exp[-E(\theta)/kT] \sin\theta d\theta} \quad (3)$$

burada, k - Boltzman sabiti, T - Sıcaklık, olarak tanımlanmıştır.

KV , kT ile karşılaştırıldığında çok büyük olduğu zaman enerji minima dışında $f(\theta) \approx 0$ dir. Bundan dolayı magnetizasyonun sabit yönlü olduğu düşünülebilir. KV / kT in daha küçük değerlerinde $f(\theta)$ minima noktalarına

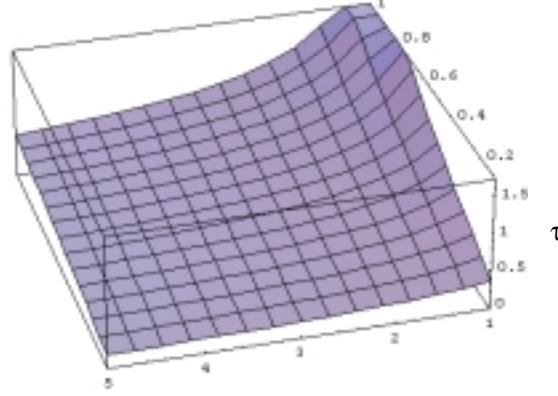


Şekil 2. Kuasiparçacıkların enerji olasılığı

yakın değerler alır. $KV / kT \leq 1$ için magnetizasyon hafifleme işleminin altında minimumu ayıran enerji duvarını yenen önemli bir olasılığa sahiptir. Dinlenme (relaxation) zamanının sıcaklıkla değişimi aşağıdaki formülle ifade edilmiştir (Şekil 3)

$$\tau = \tau_0 \exp (KV / kT) \quad (4)$$

$\tau_0 \approx 10^{-10}$ s. Hacim büyüdükçe veya sıcaklık düşüldükçe dinlenme zamanı τ artıyor.



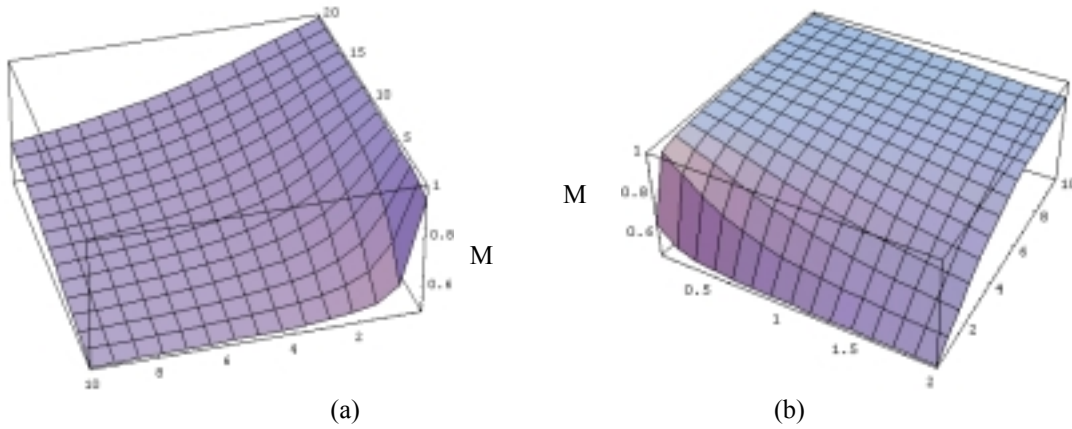
Şekil 3. Gevşeme süresi (Relaksiyon zamanı) τ_s 'in ısı T ve hacme V göre değişimi.

4. Aletlerin zaman faktörü

Ferromanyetik mikrokristalin magnetizasyonu, iniş-çıkış karakteristik zamanından uzun olan belli bir zaman etrafında ortalanmış değeri formül (4)'ü kullanarak bulunur.

$$\langle M \rangle = M_s \frac{\int_0^{\pi/2} \exp[- E(\theta) / kT] \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \exp[- E(\theta) / kT] \sin \theta d\theta} \quad (5)$$

Dinlenme işleminin çalışmasını yaparken artma-azalma olayının zaman ölçeği, deneysel tekniğin zaman ölçeğine bağlı olduğu, ölçümün sonucunu gerçekleştirmek için önemlidir. Örnek olarak eğer dışarıdan uygulanan hiçbir manyetik alan yoksa, formül (5) ya bağlı olarak ortalama manyetik alan sıfırdır. Ancak, eğer dinlenme zamanı gözlemlenebilir zaman ile karşılaştırıldığında uzun ise, belli bir magnetizasyon değeri ölçülür (Şekil 4).

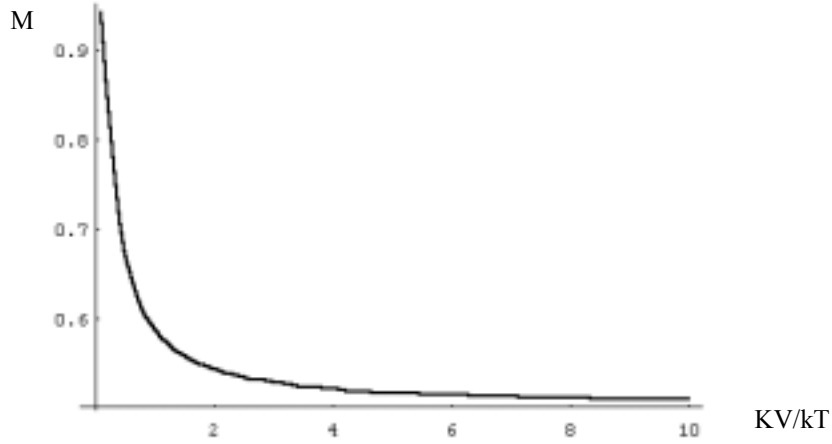


Şekil 4. $t \gg \tau_s$ iken manyetizmin M ısıya T ve (a) hacme V; (b) uygulanan dış manyetik alana H göre değişimi.

Eğer manyetik ekzitasyonun korelasyon zamanı gözlemlene zamanı ile karşılaştırıldığında kısa ise $t \leq \tau_s$, ölçülen magnetizasyon aşağıdaki formül ile bulunur

$$M(V,T) = M_0 \frac{\int_0^{\pi/2} \exp[-(KV/kT) \sin^2 \theta] \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \exp[-(KV/kT) \sin^2 \theta] \sin \theta d\theta} \quad (6)$$

Düşük sıcaklık limitinde ($KV/kT \gg 1$) magnetizasyon $M(V,T)$ Şekil 5 gösterildiği gibi değişiyor.



Şekil 5. $t \leq \tau_s$ iken magnetizasyonun M KV/kT parametresine göre değişimi

Dinlenme (relaxation) olayının zaman ölçeği τ_s , deneysel tekniğin zaman ölçeğine t bağlı olduğu, ölçümün sonucunu gerçekleştirmek için önemlidir. Her ölçüm metodu kendisine has özel zaman ölçeği t karakterize edilir ve ölçümün fiziksel kuralları tarafından tanımlanır. Mesela, Mossbauer spektroskopisi için zaman ölçeği yaklaşık olarak Larmor dalgalanma zamanı ile verilmiştir $\tau_L \approx 10^{-7}$ s. Manyetik ölçümler için yaygın olarak kullanılan susceptibility metodunda zaman ölçeği, saniye seviyesindedir. Bu yüzden, Curie sıcaklığı T_c tek başına tanımlanamaz fakat manyetik maddenin özelliklerinin çalışmalarında, deneysel tekniğin zaman ölçeğine bağlıdır. Manyetik materyal, iki farklı metot ile ölçüldüğünde, genel olarak kabul edilmiş görüşten farklı olarak, gözlemlenen kritik noktalar birbirinden farklı olur.

5.Sonuç. Manyetik faz geçiş sıcaklıkları, maddelerin yalnızca gerçek özelliklerine bağlı değildir ayrıca dinlenme zamanı ve uygulanan ölçüm metodunun karakteristik zamanları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Manyetik materyal, iki farklı metot ile ölçüldüğünde, genel olarak kabul edilmiş görüşten farklı olarak, gözlemlenen kritik noktalar birbirinden farklı olur.

6.Kaynaklar

- [1].Shinjo S.,Cunningham J.,Du R.,Salamon N.B.,Flynn C.P. Journal of Magn. and Magn. Mater 54, 773 (1986)
- [2].Kamzin A.S., Grigor'ev L.A., JETP Lett. ,vol. 57, N 9, 552 (1993)
- [3].Long J.R.,Mattozzi R.W. J.Appl.Phys.55, 6, 2359 (1984)
- [4].Fisher M.E. J.Vac. Sci. Technol. 10, 5, 665 (1973)
- [5].Morup S. Hyperfine Interactions 60, 959 (1990)