

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**KARMA SPİN-1/2 ve SPİN-1 İSİNG SİSTEMİNİN DİNAMİK FAZ
GEÇİŞLERİ ve DİNAMİK FAZ DİYAGRAMLARININ GLAUBER
GEÇİŞ ORANLARI TEMELLİ ETKİN-ALAN TEORİSİ VE YOL
İHTİMALİYET METODU İLE ELDE EDİLMESİ**

Proje No: FBA-2013-4411

Proje Türü
Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü
Doç. Dr. Mehmet ERTAŞ
Fen Fakültesi / Fizik Bölümü

Araştırmacı
Prof. Dr. Mustafa KESKİN
Fen Fakültesi / Fizik Bölümü

ARALIK 2014

KAYSERİ

ÖNSÖZ

Son yıllarda, karma spin sistemleri, istatistiksel ve yoğun madde fiziğinde en fazla çalışılan konular arasındadır. Bunun sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz: (i) Bu sistemler, termomanyetik kayıt sistemleri gibi teknolojik uygulama alanlarına sahiptir. (ii) Bu sistemler saf spin sistemlerine göre daha az öteleme simetrisine sahip olduklarından, saf spin sistemlerinde gözlenmeyen birçok yeni ve ilginç kritik olay karma spin sistemlerinde gözlemlenir. (iii) Bu sistemler moleküler tabanlı manyetik malzemeler için protatip model oluşturur. (iv) Belirli şartlar altında bu sistemlerde kritik sıcaklıktan düşük bir sıcaklık değerinde toplam mıknatıslanmanın yok olduğu telafi sıcaklığı görülmektedir. Telafi sıcaklıklarının varlığı ise teknolojik uygulamalarda önemli bir özelliktir.

Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sistemi, en basit, en önemli ve üzerinde en fazla çalışma yapılmış ve yapılmakta olan karma spin Ising sistemlerinden bir tanesidir. Bu karma spin Ising sistemi aynı zamanda $A_k[B(CN)_6]_nH_2O$ ve $MnNi(EDTA)-6H_2O$ gibi bazı kompleks bileşikler için protatip model oluşturur. Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin denge özellikleri, denge istatistiksel fiziğinde geliştirilen ve iyi bilinen yöntemlerle (ortalama-alan yaklaşığı, etkin-alan teorisi, Monte Carlo (MC) hesaplamaları, renormalizasyon grup (RG) teknikleri v.b.) incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir. Bununla birlikte karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dengesiz davranışları üzerine çok daha az sayıda çalışma yapılmıştır.

Dengesiz sistemlerdeki ilginç ve en önemli problemlerden birisi, mekanizması henüz titiz bir şekilde araştırılmamış ve temel fenomenolojisi hâla geliştirilememiş olan, dengesiz veya dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarının hesaplanması ve dinamik faz diyagramlarının elde edilmesidir. Buendia ve Machado, karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin DFG sıcaklıklarını ve dinamik faz diyagramlarını, zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında incelediler. Bu çalışmada iki farklı basit dinamik faz diyagramı elde edilmiştir. Ancak, tek-spinli sistemlerin dinamik faz diyagramları göz önüne alındığında, daha zengin ve çok daha değişik dinamik faz diyagramları elde edilmesi gerektiği anlaşıldığından, Keskin ve arkadaşları, bu sistemi çok daha kapsamlı bir şekilde incelediler. Her iki dinamik çalışmada, yöntem olarak Glauber geçiş oranları temelli ortalama-alan yaklaşımı, yani dinamik ortalama-alan yaklaşımı (DOAY) kullanılmıştır. Bununla birlikte ortalama-alan yaklaşımı (OAY) denge istatistiksel fiziğinde en eski ve en iyi bilinen yöntemlerden birisidir.

Bu metot, sistemlerdeki dalgalanmaların korelasyonlarını içermediğinden dolayı, şayet sistem birinci dereceden enerji kuyusuna gelirse, buradan en düşük enerjili duruma geçemeyecektir. Çünkü OAY’nda spin korelasyonlarının etkisi hesaplamalar içine girmemektedir. Bundan dolayı da faz diyagramlarında bulunmuş olan bazı birinci-derece faz geçiş çizgileri ve dolayısıyla bazı özel noktalar, özellikle dinamik üçlü kritik nokta, dinamik çift (double) kritik son nokta ve dinamik kritik son nokta gibi özel noktalar, muhtemelen OAY’nın bir yapay sonucu olabilir. Dolayısıyla bu proje kapsamında ilk olarak Ising sistemlerinin dinamik özellikleri üzerine spin korelasyonlarının etkilerini elde etmek için, seçilen bir spinin en yakın komşu spinler arasındaki korelasyonun etkisini hesaba katan ve OAY’dan daha iyi sonuçlar veren Glauber geçiş oranları temelli etkin-alan teorisi (DEAT) kullanılarak karma spin-1/2 ve spin-1 sisteminin DFG sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları elde edildi. Projenin ikinci aşamasında ise, bu sistemin DFG sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları üçüncü bir dinamik yöntem olan yol ihtimaliyet metodu (YİM) kullanılarak incelendi. Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dinamik faz geçiş sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları YİM ile araştırılmadan önce daha basit bir sistem olan tek örgülü ve iki düzen parametrelili spin-1 Blume-Emery-Griffths Ising sisteminin DFG sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları YİM ile bu proje kapsamında incelendi ve sonuçlar DOAY ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Daha sonra karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dinamik faz geçiş sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları YİM kullanılarak incelendi. Böylece bu proje kapsamında, en basit, en önemli ve üzerinde en fazla çalışma yapılmış ve yapılmakta olan karma spin Ising sistemlerinden bir tanesi olan karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin DFG sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları kapsamlıca incelenmiş oldu. Ayrıca yine bu proje kapsamında, sistemlerin dinamik davranışını incelemeye kullanılan DOAY, DEAT ve YİM’in birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları araştırılmış oldu. Yapılan çalışmalar sonucunda: 1) YİM da sistemin DOAY ve DEAT göre çok daha karmaşık ve ilginç dinamik faz diyagramı sergilediği gözlemlendi. 2) YİM ile elde edilen dinamik denklemlerin belirli limitler dâhilinde DOAY da elde edilen denklemlere indirgendiği gözlemlendi. 3) YİM da dinamik denklemlerin elde edilmesinin DOAY ve DEAT göre çok daha basit ve açık olduğu gözlemlendi. Burada bu noktayı belirtelim ki YİM’ nun DEAT göre dezavantajı, YİM da spinler arası korelasyonun hesaba katılmamasıdır.

Proje dâhilinde Journal of Magnetism and Magnetic Materials dergisinde 1 adet makale yayınlanmış ve 2 adet makale ise yayınlanmak üzere Physica A ve Brazilian of Journal

Physics dergilerine gönderilmiş ve bu anda çalışmalar inceleme aşamasındadır. Aynı zamanda, 2 adet sözlü bildiri Uluslararası toplantılarda, 1 adet sözlü bildiri ise Ulusal toplantıda sunulmuştur. Bu kapsamlı proje; Erciyes Üniversitesi'nin (Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Proje No: FBA-2013-4411) verdiği maddi destek ve projede araştırmacı olarak görev alan saygıdeğer hocam ve değerli meslektaşım Prof. Dr. Mustafa Keskin'nin değerli katkıları sayesinde tamamlanmıştır. Dolayısıyla, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ile Prof. Dr. Mustafa Keskin'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2014

Mehmet Ertaş

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	2

BÖLÜM I

GİRİŞ

I. 1. GİRİŞ.....	3
------------------	---

BÖLÜM II

II.1. KARMA SPİN-1/2 VE SPİN-1 ISING SİSTEMİNİN GLAUBER GEÇİŞ ORANLARI TEMELLİ ETKİN-ALAN TEORİSİ (DEAT) İLE İNCELENMESİ.....	6
--	---

BÖLÜM III

III.1. SPİN-1 BLUME-EMERY-GRIFFTHS SİSTEMİNİN YOL İHTİMALİYET METODU İLE İNCELENMESİ.....	7
--	---

III. 2. KARMA SPİN-1/2 VE SPİN-1 ISING SİSTEMİNİN YOL İHTİMALİYET METODU (YİM) İLE İNCELENMESİ.....	7
--	---

BÖLÜM IV

SONUÇ

IV.1 SONUÇ VE ÖNERİLER8	
-------------------------	--

KAYNAKLAR.....	10
----------------	----

EKLER.....	13
------------	----

ÖZET

Zamana bağılı salınımlı dış manyetik alan altında karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dinamik davranışı, Glauber-tipi stokastik dinamik temelli etkin-alan teorisi (EAT) ve yol ihtimaliyet metodu kullanılarak incelendi (YİM). Spin-1 Blume-Emery-Griffths sisteminin dinamik davranışında YİM metodu ile incelendi. Sistemlerdeki fazları bulmak için ortalama düzen parametrelerinin zamanla değişimi incelendi. Dinamik faz geçişlerinin doğasını karakterize etmek (sürekli ve süreksiz) ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıklarını elde etmek için dinamik düzen parametrelerinin davranışı indirgenmiş sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi. Dinamik faz diyagramları farklı düzlemlerde sunuldu. Dinamik faz diyagramları birçok durumda üçlükritik ve birkaç durum için reentrant davranış sergilemektedir. Ayrıca, bu faz diyagramları, çift kritik son nokta, sıfır sıcaklık kritik nokta, kritik sonlu nokta, çoklu kritik nokta, üçlü nokta ve dörtlü nokta gibi özel dinamik kritik noktalara sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sistemi; Spin-1 Blume-Emery-Griffths sistemi; Yol ihtimaliyet metodu; Etkin-alan teorisi; Glauber-tipi stokastik; Dinamik faz geçişleri; Dinamik faz diyagramları.

ABSTRACT

Dynamic behavior of mixed spin-1/2 and spin-1 Ising systems under a time-dependent oscillating external magnetic field is examined by using the effective field theory (EFT) based on Glauber-type stochastic dynamics and path probability method (PPM). Dynamic behavior of spin-1 Blume-Emery-Griffiths system is also investigated by using PPM. The time variations of average order parameters are investigated to find the phases in the systems. The behavior of the dynamic order parameters as a function of the reduced temperature are studied to characterize the nature (continuous and discontinuous) of the dynamic phase transitions and obtain the dynamic phase transition (DPT) temperatures. The dynamic phase diagrams are presented in different planes. The dynamic phase diagrams exhibit the dynamic tricritical behavior in most cases, the reentrant behavior in few cases. Moreover, these phase diagrams exhibit many dynamic critical points, such as double critical end point, zero-temperature critical point, critical end point, multicritical point, triple point and tetra point.

Keywords: Mixed spin-1/2 and spin-1 Ising systems; Spin-1 Blume-Emery-Griffiths system; Path Probability Method; Effective-field theory; Glauber-type stochastic dynamics; Dynamic phase transitions; Dynamic phase diagrams.

BÖLÜM I

I.1. GİRİŞ

Son yıllarda, karma spin sistemleri, istatistik fizikte ve yoğun madde fiziğinde aktif olarak en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Nedeni ise: (i) Bu çalışmaların, termomanyetik kayıt sistemleri gibi önemli teknolojik uygulama alanları ile ilgili olması [1], (ii) Bu sistemlerin, tek spinli sistemlere göre daha az simetriye sahip olmaları, (iii) Bu sistemlerin, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin anlaşılabilmesine model oluşturmalarıdır [2]. Karma spin sistemlerinin denge özellikleri, dengeli istatistik fizikte geliştirilen ve iyi bilinen kapalı form yaklaşıkları (ortalama-alan (OA)), Bragg-Williams (BW), Bethe-Peierls (BP), kümesel değişim yaklaşıklıkları, seriye açılım, transfer matris (TM), etkin alan teorisi (EAT), Monte Carlo (MC) hesaplamaları, renormalizasyon grup (RG) teknikleri v.b., yöntemlerle kapsamlıca incelenmiştir. Bu sistemlerin dengeli davranışları ile ilgili binlerce makale hakkında özet bilgi vermek projenin kapsamı içine girmediğinden, özet bilgiler verilmeyecek. Çünkü bizim asıl gayemiz karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminde dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıkları hesaplamak ve dinamik faz diyagramlarını iki farklı dinamik yöntem ile kapsamlıca incelemek olacaktır. Dolayısıyla, burada yalnız bu karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dengesiz davranışları üzerine yapılan çalışmalar özetle verilecek.

Karma spin Ising sistemlerinin dengesiz davranışları son yıllarda yoğun şekilde araştırılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalardan ilki karma spin (1/2, 1) Ising sistemi üzerine Buendía ve Machado tarafından Glauber geçiş oranları temelli ortalama-alan yaklaşımı, yani dinamik ortalama-alan yaklaşımı (DOAY) kullanılarak yapılmıştır [3]. Keskin ve arkadaşları [4], Buendía ve Machado'nun çalışmasında gördükleri eksikliklerden dolayı bu sistemi çok daha kapsamlı bir şekilde aynı yöntemle DOAY ile incelemişlerdir. Çalışmalarında, (T, h) ve (d, T) düzlemlerinde altı farklı tipte dinamik faz diyagramları elde etmişlerdir. Hâlbuki Buendía ve Machado (T, h) düzleminde yalnız iki farklı temel faz diyagramı bulmuş ve sistemin (d, T) düzleminde faz diyagramlarını elde etmemişlerdir. Ekiz ve Keskin [5], modelin dinamiğini, manyetik alan varlığında ve yokluğunda, yol ihtimaliyet metodunu kullanarak araştırmışlardır. Godoy ve Figueiredo [6], bilinear etkileşme Hamiltonyenli dengesiz karma spin (1/2, 1) Ising sisteminin kararlı durumlarını, dinamik çift yaklaşık yöntemi, MC ve sonlu-boyut ölçüm metodlarını [7, 8] kullanarak araştırmışlar ve sistemin faz diyagramlarını elde etmişlerdir., Godoy ve Figueiredo yukarıda belirtilen çalışmalarında [7, 8], sistemi dış manyetik alanın

sıfır olduğu durum için incelediler. Bununla birlikte, Godoy ve Figueiredo [9, 10], kristal alan etkileşme parametresini içeren aynı modelin dinamiğini MC ve dinamik çift yaklaşık metodunu kullanarak araştırdılar.

DFG çalışmaları Ising modellerinin yanısıra birçok sistem içinde yapılmıştır. Örneğin, Heisenberg spin sistemleri [11-14], XY modeli [15, 16], CO oksitlenmesi için Ziff-Gunlari-Burshad model [17], spin-2 Ising sistemleri [18, 19], mixed spin Ising modelleri [20, 21], Bose-Habbord model [22], thin ferromanyetik films [23-25], lattice models [26], heterogeneous nucleations [27], Bose-Einstein yoğunlaşması [28], süperiletkenlik [29]. Bu noktayı da belirtelim ki birkaç çalışma hariç bütün bu çalışmalarda, DFG sıcaklıkları ve bazı DFG ile ilgili olaylar incelenmiş fakat sistemlerin dinamik faz diyagramları elde edilmemiştir. Hâlbuki faz diyagramlarının elde edilmesi bu gibi konularda çok önem arz ettiğinden önümüzdeki yıllarda faz diyagramlarının elde edilme çalışmaları önemli ve ilginç sahaları olacaktır. Diğer taraftan, deneysel olarak DFG sıcaklıkları çok ince Co/Cu(001) [30, 31], Cu/Pt [32] manyetik filmlerde, ferroik (ferromanyetler, ferroelektrikler, ferroelastikler) sistemlerde ve çok ince manyetik filmlerde [33], amorf YBaCuO filmlerinde [34] gibi birçok sistemde gözlenmiştir. DFG'lerin evrenin ilk yaradılışının açıklanmasında rol oynayabileceği de düşünülmektedir [35, 36].

Literatürde bu kapsamlı çalışmalar olmasına rağmen, karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin, ki bir çok kooperatif fiziksel sistemlerin termodinamik davranışlarını incelemek için kullanılmakta olan prototip sistemlerin en önemlilerindendir, DFG sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları DOAY'dan daha üstün iki dinamik yöntem olan DEAT ve YİM ile elde edilmemiştir. Bu yöntemler, dengesiz istatistiksel fiziğinde geliştirilen birkaç önemli yöntemlerden olup birçok gerçek sistemlere ve Ising modellerine başarıyla uygulanmış ve uygulanmaktadır. Burada bu noktayı da belirtelim ki karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin DFG sıcaklıklarını ve dinamik faz diyagramlarını YİM ile elde etmeden önce bu yöntem daha basit sistem olan spin-1 Blume-Emery-Griffths (BEG) sisteminin DFG sıcaklıklarını ve dinamik faz diyagramlarını elde etmek için kullanıldı. Sonuçlar hem spin-1 BEG hemde karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sistemi için, literatürdeki mevcut DOAY ile karşılaştırıldı ve bu dinamik yöntemlerin avantaj ve dezavantajları detaylıca tartışıldı. YİM ile karma spin-1/2 ve spin-1 için elde edilen sonuçlar DEAT ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı ve bu dinamik yöntemlerin avantaj ve dezavantajları detaylıca tartışıldı. Böylece bu projemiz, karmaşık sistemlerin DFG sıcaklıklarının elde edilmesi ve dinamik faz diyagramlarının

hesaplanması çalışmalarına önemli derecede temel oluşturacak ve ışıık tutabilecek potansiyele sahip olma özelliğine sahip oldu.

Üç bölümden oluşan bu projenin ilk bölümü giriş bölümü olup, Bölüm II’de karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dinamik özellikleri DEAT ile incelenmiştir. Bölüm III’de ise spin-1 Blume-Emery-Griffths ve karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sistemlerinin dinamik özellikleri YİM ile incelenmiştir. Her bölümün arkasında sonuç ve tartışma kapsamıca verildiğinden, gereksiz tekrarlamalardan kaçınmak için, son bölümde çok kısa ve maddeler halinde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM II

II.1. KARMA SPİN-1/2 VE SPİN-1 ISING SİSTEMİNİN GLAUBER GEÇİŞ ORANLARI TEMELLİ ETKİN-ALAN TEORİSİ (DEAT) İLE İNCELENMESİ

Bilineer (J) ve kristal-alan (D) etkileşme Hamiltonyenli karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin dinamik faz geçiş sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları Glauber geçiş oranları temelli etkin-alan teorisi ile yani dinamik etkin-alan teorisi ile elde edilmiştir. Sistemin etkin-alan dinamik denklemleri Glauber geçiş oranları kullanılarak elde edilmiş ve dinamik mıknatıslanmaların sıcaklığa göre davranışı kapsamlıca incelenerek dinamik faz geçiş (DFG) noktaları hesaplanmıştır. (T, h) düzleminde beş farklı faz diyagramları elde edilmiştir. Faz diyagramlarının indirgenmiş kristal alan etkileşim sabitine (d) ve indirgenmiş manyetik alan genliğine (h) kuvvetli bir şekilde bağlı olduğu gözlenmiş ve sistemde paramanyetik (p), ferrimanyetik (i) temel fazlarına ilaveten karma i + p fazı da bulunmuştur. Bu fazları birbirinden ayıran dinamik faz sınırları, birinci- veya ikinci-derece faz geçiş çizgileridir. Faz diyagramları dinamik üçlü kritik noktanın yanında sıfır-sıcaklık kritik nokta (Z), dinamik kritik son nokta (E), dinamik çoklu kritik nokta (A) ve dinamik üçlü nokta (TP) içermektedir. Elde edilen sonuçlar Glauber geçiş oranları temelli ortalama-alan yaklaşımı ile yani dinamik ortalama-alan yaklaşımı (DOAY) ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırdı. Çalışma, **Braz. J. Phys.** dergisine yayınlanması için sunulmuştur (**Bknz. Ek-1**). Daha kapsamlı bilgiler bu çalışmadan elde edilebilir. Çalışma aynı zamanda, **111. İstatistiksel Fizik Toplantısında (11-13 Mayıs 2014, Rutgers University, Hill Center, ABD), SÖZLÜ BİLDİRİ** olarak sunulmuştur (**Bknz. Ek-2**).

BÖLÜM III

III.1. SPİN-1 BLUME-EMERY-GRIFFITHS SİSTEMİNİN YOL İHTİMALİYET METODU (YİM) İLE İNCELENMESİ

Bilineer (J), bikuadratik (K) ve kristal-alan (D) etkileşmeli spin-1 Ising modelinin, yani spin-1 Blume-Emery-Griffiths (BEG) modelinin, dinamik faz geçiş sıcaklıkları ve dinamik faz diyagramları yol ihtimaliyet metodu kullanılarak zamana bağlı salınımlı dış manyetik alan altında elde edildi. Elde edilen sonuçlar, Glauber-tipi stokastik dinamik temelli etkin alan teorisi ve ortalama-alan yaklaşımı, yani DEAT ve DOAY ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı ve şu sonuçlar gözlemlendi: 1) YİM da sistemin DOAY ve DEAT göre çok daha karmaşık ve ilginç dinamik faz diyagramı sergilediği gözlemlendi. 2) YİM ile elde edilen dinamik denklemlerin belirli limitler dâhilinde DOAY da elde edilen denklemlere indirgendiği gözlemlendi. 3) YİM da dinamik denklemlerin elde edilmesinin DOAY ve DEAT göre çok daha basit ve açık olduğu gözlemlendi. Çalışma, **J. Magn. Magn. Mater. 377, 386-394, 2015** dergisinde yayınlanmıştır (**Bknz. Ek-3**). Daha kapsamlı bilgiler bu çalışmadan elde edilebilir. Çalışma aynı zamanda, **20. İstatistiksel Fizik Toplantısında (27-29 Haziran 2013, Erciyes Üniversitesi, Kayseri), SÖZLÜ BİLDİRİ** olarak sunulmuştur (**Bknz. Ek-4**).

III.2. KARMA SPİN-1/2 VE SPİN-1 ISING SİSTEMİNİN YOL İHTİMALİYET METODU (YİM) İLE İNCELENMESİ

Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin önce dinamik davranışını belirleyen dinamik denklemler YİM ile elde edilmiş ve bu dinamik denklemler çözülerek sistemde meydana gelen fazlar tespit edilmiştir. Sonrada dinamik düzen parametrelerinin indirgenmiş sıcaklığa (T) göre davranışları kapsamlıca incelenmiştir. Bu inceleme sonucu, dinamik faz geçişlerinin tabiatı (birinci- veya ikinci-derece) karakterize edilmiş ve dinamik faz geçiş (DFG) sıcaklıkları bulunmuştur. Son olarak da, indirgenmiş sıcaklık (T) ve indirgenmiş manyetik alan genliği (h) düzleminde, yani (T, h) düzleminde, on iki farklı faz diyagramı elde edilmiştir. Faz diyagramları paramanyetik (p), ferrimanyetik (i) ve karma i + p fazlarını içermektedir. Etkileşme parametrelerine bağlı olarak, sistem dinamik üçlükritik nokta, dinamik kritik son nokta, dinamik çoklu kritik nokta, dinamik çift kritik son nokta ve dinamik sıfır sıcaklık kritik nokta gibi özel kritik noktalar içermektedir. Ayrıca, sistem reentrant davranışında sergilemektedir. Çalışma, **Physica A** dergisine yayınlanması için sunulmuştur (**Bknz. Ek-5**). Daha kapsamlı bilgiler bu çalışmadan elde edilebilir. Çalışma aynı zamanda, **Uluslararası**

Fizik Kongresi 2014 (18-19 Kasım 2014. Kuala Lumpur, Malezya), SÖZLÜ BİLDİRİ olarak sunulmuştur (Bknz. Ek-6).

BÖLÜM IV

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bulunan sonuçlar:

Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin Glauber geçiş oranları temelli etkin-alan teorisi (DEAT) ile incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar: Sistemde paramanyetik (p) ve ferrimanyetik (i) temel fazların yanı sıra, $i + p$, karma fazı elde edilmiştir. Fazlar arası dinamik faz sınırları birinci-derece ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerinden oluşmaktadır. Temel fazlar arası dinamik faz sınırları genellikle ikinci-derece faz geçiş çizgileri olduğu halde, karma fazlar ise çoğunlukla birinci-derece ve az sayıda ikinci-derece faz geçiş çizgileri ile ayrılmaktadır. Etkileşim parametrelerine bağlı olarak, sistemde üçlükritik nokta dışında, dinamik çift kritik son nokta, dinamik sıfır kritik son nokta, dinamik çoklu kritik nokta gibi özel kritik noktalar da gözlenmiştir.

Spin-1 Blume-Emery-Griffths (BEG) sisteminin yol ihtimaliyet metodu ile incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar: Sistemde düzensiz (D) ve ferremanyetik (F) temel fazların yanı sıra, $F + FQ$, $FQ + D$, $F + D$, $F + FQ + D$ karma fazları elde edilmiştir. Fazlar arası dinamik faz sınırları birinci-derece ve ikinci-derece faz geçiş çizgilerinden oluşmaktadır. Sistemin dinamik faz diyagramları (T, h) , (d, T) ve (K, T) düzlemlerinde sunuldu. Etkileşim parametrelerine bağlı olarak, sistemde üçlükritik nokta dışında, dinamik çift kritik son nokta, dinamik dörtlü nokta, dinamik üçlü nokta gibi özel kritik noktalar da gözlenmiştir.

Karma spin-1/2 ve spin-1 Ising sisteminin yol ihtimaliyet metodu (YİM) ile incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar: Sistemde paramanyetik (p) ve ferrimanyetik (i) temel fazların yanı sıra, $i + p$, karma fazı elde edilmiştir. Etkileşim parametrelerine bağlı olarak, sistem dinamik çift kritik son nokta, dinamik dörtlü nokta, dinamik üçlü nokta gibi özel kritik noktaların yanında bir, iki veya üç tane dinamik üçlü kritik nota içermektedir. Sistem aynı zamanda reentrant davranış sergilemektedir.

Öneriler:

1- Glauber-tipi stokastik dinamik kullanılarak değişik ve özellikle de daha karmaşık fiziksel sistemlerin dinamik davranışları incelenebilir ve dinamik faz diyagramları elde edilebilir.

2- YİM ile ilgili yaptığımız çalışmalarda bu yöntemin DOAY ve DEAT göre çok daha karmaşık ve ilginç dinamik faz diyagramı sergilediği ve YİM da dinamik denklemlerin elde edilmesinin DOAY ve DEAT göre çok daha basit ve açık olduğunu gözlemledik. Dolayısıyla bu yöntem tek alt örgülü ve yüksek spinli Ising sistemlerinin ve iki alt örgülü ve yüksek spinli karma Ising sistemlerinin dinamik davranışlarının incelenmesinde kolaylıkla kullanılabilir.

3- DEAT de spinler arası korelasyonlar göz önüne alındığından dolayı karma spin sistemlerinin dinamik faz geçiş sıcaklıkları, dinamik telafi sıcaklıkları, dinamik histerisis davranışları, dinamik faz diyagramları gibi dinamik özellikleri, DEAT ile incelenmesi, sistemlerin dinamik özelliklerinin incelenmesi konusuna önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mansuripur, M., Magnetization Reversal, Coercivity, and the Process of Thermomagnetic Recording in Thin Films of Amorphous Rare Earth Transition Metal Alloys, J. App. Phys., 61, 15807, 1987.
- [2] Coronado, E., Dekhais, P., Gatteschi, D., Miller, J.S., Molecular Magnetism: From Molecular Assemblies to the Devices (NATO ASI Series E, Vol. 321), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
- [3] Buendia, G.-M., Machado, E., Kinetics of a mixed Ising ferrimagnetic system, Phys. Rev. E, 58, 1260, 1998.
- [4] Keskin, M., Canko, O., Polat, Y., Dynamic Phase Transitions in the Kinetic Mixed Spin-1/2 and Spin-1 Ising Ferrimagnetic System Under Time-Dependent Magnetic Field, J. Korean Phys. Soc., 53, 497, 2008.
- [5] Ekiz, C., Keskin, M., Magnetic Properties of The Mixed Spin-1/2 And Spin-1 Ising Ferromagnetic System, Physica A, 317, 517, 2003.
- [6] Godoy, M., Figueiredo, W., Mixed-Spin Ising Model with One- and Two-Spin Competing Dynamics, Phys. Rev. E, 61, 218, 2000.
- [7] Godoy, M., Figueiredo, W., Critical Behavior of the Mixed-Spin Ising Model with Two Competing Dynamics, Phys. Rev. E, 65, 026111, 2002.
- [8] Godoy, M., Figueiredo, W., Nonequilibrium Antiferromagnetic Mixed-Spin Ising Model, Phys. Rev. E 66, 036131, 2002.
- [9] Godoy, M., Figueiredo, W., V. S. Leite, Compensation Temperature of the Mixed-Spin Ising Model on the Hexagonal Lattice, Braz. J. Phys., 34, 392, 2004.
- [10] Godoy, M., Figueiredo, W., Competing Dynamics in the Mixed-Spin Ising Model with Crystal-Field Interaction, Physica A 339, 392, 2004.
- [11] Jang, H., Grimsen, M. J., Hysteresis and the Dynamic Phase Transition in thin Ferromagnetic Films, Phys. Rev. E, 63, 066119, 2001.
- [12] Jang, H., Grimsen, M. J., Hall, C. K., Dynamic Phase Transitions in Thin Ferromagnetic Films, Phys. Rev. B 67, 094411, 2003.
- [13] Jang, H., Grimsen, M. J., Hall, C. K., Exchange Anisotropy and the Dynamic Phase Transition in Thin Ferromagnetic Heisenberg Films, Phys. Rev. E 68, 046115, 2003.
- [14] Huang, Z., Chen, Z., Zhang, F., Du, Y., Dynamic Phase Transition in the Heisenberg Model Under a Time-Dependent Oscillating Field, Phys. Lett. A 338, 485, 2005.

- [15] Yasui, T., Tutu, H., Yamamoto, M., Fujisaka, H., Dynamic Phase Transitions in the Anisotropic XY Spin System in an Oscillating Magnetic Field, *Phys. Rev. E* 66, 036123, 2002.
- [16] Fujiwara, N., Kobayashi, T., Fujisaka, H., Dynamic Phase Transition in a Rotating External Field, *Phys. Rev. E* 75, 026202, 2007.
- [17] Machado, E., Buendía, G.M., Rikvold, P.A., Ziff, R.M., Response of a Catalytic Reaction to Periodic Variation of the CO Pressure: Increased CO₂ Production and Dynamic Phase Transition, *Phys. Rev. E* 71, 016120, 2005.
- [18] Keskin, M., Canko, O., Ertaş, M., Kinetics of the Spin-2 Blume–Capel Model under a Time-Dependent Oscillating External Field, *J. Exp. Theo. Phys.* 105, 1190, 2007.
- [19] Ertaş, M., Canko, O., Keskin, M., Dynamic phase transition in the kinetic spin-2 Blume–Emery–Griffiths model in an oscillating field, *J. Magn. Magn. Mater.* 320, 1765, 2008.
- [20] Keskin, M., Kantar, E., Canko, O., Kinetics of a Mixed Spin-1 and Spin-3/2 Ising System under a Time-Dependent Oscillating Magnetic Field, *Phys. Rev. E*, 77, 051130, 2008.
- [21] Deviren, B., Keskin, M., Canko, O., Kinetics of a mixed spin-1/2 and spin-3/2 Ising ferrimagnetic model, *J. Magn. Magn. Mater.* 321, 458, 2009.
- [22] Kullath, C., Lüchli, A., Altman, E., Quench Dynamics and Nonequilibrium Phase Diagram of the Bose-Hubbard Model, *Phys. Rev. Lett.* 98, 180601, 2007.
- [23] Jang, H., Grimson, M. J., Hysteresis and the dynamic phase transition in thin ferromagnetic films, *Phys. Rev. E* 63, 066119, 2001.
- [24] Jang, H., Grimson, M. J., Hall, C.K., Dynamic Phase Transitions in Thin Ferromagnetic Films, *Phys. Rev. B* 67, 094411, 2003.
- [25] Choi, B.C., Ho, J., Arnup, G., Freeman, M. R., Nonequilibrium Domain Pattern Formation in Mesoscopic Magnetic Thin Film Elements Assisted by Thermally Excited Spin Fluctuations, *Phys. Rev. Lett.* 95, 237211, 2005.
- [26] Vojta, T., Lee, M. Y., Nonequilibrium Phase Transition on a Randomly Diluted Lattice, *Phys. Rev. Lett.* 96, 035701, 2006.
- [27] Iwamatsu, M., Direct numerical simulation of homogeneous nucleation and growth in a phase-field model using cell dynamics method. *J. Chem. Phys.* 128, 084504, 2008.
- [28] Ramos, E. R. F., Sanz, L., Yukolov, V. I., Bagnato, V. S., Order parameter for the dynamical phase transition in Bose-Einstein condensates with topological modes, *Phys. Rev. A*, 76, 033608 2007.

- [29] Maeda, A., Togawa, Y., Kitano, H., An experimental approach to understand dynamical phase diagram of driven vortices of high-Tc superconductors, *Physica C* 369, 177, 2002.
- [30] Jiang Q., Yang H. N., Wang, G. C., Scaling and dynamics of low-frequency hysteresis loops in ultrathin Co films on a Cu(001) surface, *Phys. Rev. B* 52, 14911, 1995.
- [31] Jiang Q., Yang H. N., Wang, G. C., Field dependent resonance frequency of hysteresis loops in a few monolayer thick Co/Cu(001) films, *J. Appl. Phys.* 79, 5122, 1996.
- [32] Robb, D. T., Xu, Y. H., Hellwig, O., Berger, A., Novotny, M.A., Rikvold, P.A., Evidence for a dynamic phase transition in [Co/Pt]₃ magnetic multilayers, *Phys. Rev. B*, 78, 134422, 2008.
- [33] Kleemann, W., Braun, T., Dec, J., Petravic, O., Dynamic phase transitions in ferroic systems with pinned domain walls., *Phase Trans.* 78, 811, 2005.
- [34] Samoilenko, Z. A., Okunev, V. D., Pushenko, E. I., Isaev, V.A., Gierlowski, P., Kolwas, K., Lewandowski, S. J., Dynamic Phase Transition in Amorphous YBaCuO Films under Ar Laser Irradiation, *Inorganic. Mater.* 39, 836, 2003.
- [35] Kibble, T.W.B., Topology of cosmic domains and strings, *J. Phys. A* 9, 1387, 1976.
- [36] Kibble, T.W.B., Some Implications of a Cosmological Phase Transition, *Phys. Rep.* 67, 183, 1980.

EKLER

I- Projeden Yapılan Makaleler

- 1- Ertaş, M. and Keskin, M., Dynamic phase transition properties for the mixed spin (1/2, 1) Ising model in an oscillating magnetic field, Braz. J. Phys., incelemede.
- 2- Ertaş, M. and Keskin, M., Dynamic phase transitions of the Blume-Emery-Griffiths model under an oscillating external magnetic field by the path probability method, J. Magn. Magn. Mater, 377, 386, 2015.
- 3- Ertaş, M. and Keskin, M., Dynamic phase diagrams of a ferrimagnetic mixed spin-(1/2, 1) Ising system within the path probability method, Physica A, incelemede

II- Sunulan Bildiriler

- 1- Ertaş, M. and Keskin, M., Dynamic phase transition properties for the mixed spin-(1/2, 1) Ising model in an oscillating magnetic field”, **111. İstatistiksel Fizik Toplantısı, Rutgers University, Hill Center, ABD, 11-13 May 2014, SÖZLÜ BİLDİRİ.**
- 2- Ertaş, M. and Kekin, M., The dynamic phase transitions and dynamic phase diagrams in the Blume-Emery-Griffiths model in an oscillating field: Path Probability Method, **20. İstatistiksel Fizik Toplantısı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 27-29 Haziran 2013, SÖZLÜ BİLDİRİ.**
- 3- Ertaş, M. and Kekin, M., Dynamic behaviors in the mixed spin-(1/2, 1) Ising model in an oscillating magnetic field: path probability method, **Uluslararası Fizik Kongresi 2014, Kuala Lumpur, Malezya, 18-19 Kasım 2014, SÖZLÜ BİLDİRİ.**