



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SAF ÇÖZELTİLERE EKLENEN
PARAMANYETİK İYONLARIN T_1 VE T_2
DURULMA ZAMANLARI ÜZERİNE YAPILAN
ÇALIŞMALAR, ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE
ORTAYA ÇIKAN UYGULAMALARIN
İNCELENMESİ**

Mehmet Salih ÖNCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

**Şubat - 2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Salih ÖNCÜ tarafından hazırlanan "Saf çözeltilere eklenen paramanyetik iyonların T_1 ve T_2 durulma zamanları üzerine yapılan çalışmalar, elde edilen sonuçlar ve ortaya çıkan uygulamaların incelenmesi" adlı tez çalışması 09/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Zafer KÖYLÜ



Doç. Dr. Osman PAKMA



Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İSCAN
FBE Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Salih ÖNCÜ

09/02/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saf çözeltilere eklenen paramanyetik iyonların NMR T_1 ve T_2 durulma zamanları üzerine yapılan çalışmalar, elde edilen sonuçlar ve ortaya çıkan uygulamaların incelenmesi

Mehmet Salih ÖNCÜ

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL

2017, 34 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mehmet Zafer KÖYLÜ

Doç. Dr. Osman PAKMA

Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL

Bu çalışmada, saf çözeltilere eklenen paramanyetik iyonların NMR T_1 ve T_2 durulma zamanlarının ölçülmesinde kullanılan yöntemler incelenmiştir.

NMR cihazlarında kullanılan rezonans frekanslarının, ölçüm yapılan sıcaklık ve konsantrasyonlarının NMR T_1 ve T_2 üzerindeki etkisi, ölçümlerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle söz konusu sonuçların yeniden üretildiği teoriler ve bu teorilerin sonuçlarından ortaya çıkan uygulamalar incelenmiştir.

NMR T_1 ve T_2 ölçümlerindeki sıcaklık, frekans ve yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nükleer manyetik rezonans, T_1 ve T_2 durulma zamanı.

ABSTRACT

MS THESIS

A study on investigations, results and applications of NMR T_1 and T_2 relaxation in pure solutions doped with paramagnetic ions

Mehmet Salih ÖNCÜ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN PHYSICIS**

**Advisor: Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL
2017, 34 Pages**

Jury

Doç. Dr. Mehmet Zafer KÖYLÜ

Doç. Dr. Osman PAKMA

Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL

In this study, the methods of the relaxation times of paramagnetic ions of NMR T_1 and T_2 and that these NMR devices and resonance frequencies used and that the temperature of the concentration and contents and that results of the measurements and those reinvented theories and applications emerged from these evidences were examined.

The results of temperature, frequency and density differences in the NMR T_1 and T_2 measurements were evaluated.

Keywords: Nuclear Magnetic Resonance, T_1 and T_2 Relaxation

ÖNSÖZ

NMR çalışmaları 1946 yılında başlamıştır. Saf çözeltilerdeki deneyler ve deneylere uygun teoriler o yıllarda geliştirilmiştir. Bu tip çalışmalar, Yüksek frekans NMR, MR, fonksiyonel MR, MR mikroskopisi gibi tekniklerin ve MR kontrast maddelerinin üretilmesine yol açmıştır.

Tez de verilen konuların uygun bir tarzda derlenerek ortaya konulması, ileride yapılacak çalışmalar için hazır bir veri tabanı oluşturacağı için oldukça önemlidir.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ali YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. İsmail ARSEL hocam'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet Salih ÖNCÜ

BATMAN - 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	2
2.1. Nükleer spin kavramı	2
2.2. Manyetik perdeleme ve kimyasal kayma	3
2.3. NMR'ın klasik tanımı	4
2.3.1. Manyetik momenti olan parçacıkların manyetik alandaki davranışları	4
2.3.2. Soğurulma işlemi.....	6
2.4. NMR'ın kuantum tanımı	7
2.5. Bir manyetik alandaki enerji seviyeleri	8
3. TEMEL NMR KURAMI	12
3.1. H_0 Dış manyetik alan etkisindeki çözeltilerdeki çıplak atom davranışları.....	13
3.2. Manyetizasyon ve sinyal şiddeti.....	14
3.3. RF Pulsu (HRF) ve Çözeltilere Uygulanışı.	15
3.4. RF pulsunun bir spin topluluğuna uygulanışı.....	17
3.5. Sıcak spinlerin çevreye enerji aktarması ve T_1 süreci.	18
3.6. Spinlerin defaze olması ve T_2 süreci.	19
3.7. T_1 ve T_2 durulma zamanlarının makroskopik olarak incelenmesi.	20
3.8. Paramanyetik iyon içeren çözeltilerin denklem mekanizması	21
4. KAYNAK ARAŞTIRMASI	22
4.1. MnF_2 ve ZnF_2 katı çözeltilerin paramanyetik duyarlılıkları.....	22
4.2. Paramanyetik çözeltilerin proton durulma süreleri	22
4.3. Paramanyetik iyon çözeltilerinde durulma zamanının frekans bağımlılığı.....	22
4.4. Paramanyetik iyonlarının proton durulma zamanının sıcaklık bağımlılığı.	23
4.5. Sulu çözeltilerdeki Cr^{+++} , Mn^{++} , Ni^{++} , Cu^{++} ve Gd^{+++} iyonlarının proton spin durulması	23
4.6. VO^{++} Çözeltilerindeki paramanyetik durulma zamanının incelenmesi.....	24
4.7. Paramanyetik O^{17} çözeltilerinin durulma zamanının elektron spin durulma zamanına etkileri	24
4.8. Paramanyetik katyonların sulu çözeltilerdeki NMR durulma mekanizmaları	24

4.9. Seyreltik metanol çözeltisinde Cobalt (II) Ve Nikel (II) İyonların proton durulma zamanı	24
4.10. Sulu perklorat çözeltilerinde katyonların hidrasyon numaralarının NMR ile belirlenmesi.	25
4.11. Donmuş iyonların sulu çözelti içinde çözünen dipolar genişlemesinin NMR spektrası	25
4.12. Nikel iyonun kabuğunda Oksijen-17 nükleer manyetik rezonans çalışması.....	26
4.13. Oksijen-17 Ve Bakır (II) Sulu Çözeltilerdeki NMR çalışmaları.....	26
4.14. Bakır (II) iyonu ve 2,2'- dipiridin.	26
4.15. Nadir toprak iyonları ve bu iyonların kompleks çözeltilerinin NMR çalışmaları.....	27
4.16. Sulu çözeltilerdeki manganez iyon komplekslerinin proton durulma zamanı	27
4.17. Solvent değişimi geçiren paramanyetik iyonların çözücü moleküllerinin durulma hızları.....	28
4.18. Gd ³⁺ iyonlarının proton manyetik durulma verilerinin yorumlanması ve belirsizlikler	29
4.19. Gd ³⁺ ve Mn ₂ F komplekslerinin proton durulması kaynaklı manyetik alan bağımlılığı.....	29
4.20. ¹⁷ O sulu çözeltilerine eklenen Cu ²⁺ iyonunun durulma oranları	29
4.21. Mn katkılı ZnO nun yarı iletkenlerdeki saf paramanyetik davranışları	30
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	31
KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

T_1	:Spin-Örgü durulma zamanı
T_2	:Spin-Spin durulma zamanı
NMR	:Nükleer Manyetik Rezonans
ml	:Mililitre
g	:Gram
T_{1f}	:Serbest suyun durulması
T_{1b}	:Bağlı suyun durulması
Sn	:Saniye
m/T	:Viskozite/sıcaklık
ns	:Nano saniye
H_0	:Dış manyetik alan
I	:Proton Spin i
S	:Elektron Spin'i
Uv	:Ultraviyole
M	:Mıknatıslanma
h	:Planck sabiti
Bknz	:Bakınız
β	:Nükleer manyeton, sabitti ($\beta = 5.051 \times 10^{-24}$ erg/g dır)
μ	:Parçacığın momenti; proton için, $\mu = 2,7927$ nükleer manyetondur
B_0	:Dış alan kuvveti, gauss (G)
RF	:Radyo frekansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Protonların spin hareketi oluşturduğu manyetik alan.	2
Şekil 2.2. Manyetik alanın mıknatıs üzerindeki etkisi	2
Şekil 2.3. Manyetik alan etkisindeki spin hareketi.....	3
Şekil 2.4. Manyetik perdeleme	3
Şekil 2.5. Elektromanyetik Spektrum.....	4
Şekil 2.6. Dönen bir taneciğin bir manyetik alandaki presesyonu	5
Şekil 2.7. Hareketli bir tanecik tarafından ışın soğurma modeli	6
Şekil 2.8. Spin'i +1/2 olan bir çekirdeğin oluşturduğu manyetik alanın yönü, spin' i -1/2 olan çekirdeğin oluşturduğu manyetik alan yönünün tersindedir.....	7
Şekil 2.9. Paralel ve anti paralel manyetik momentler	7
Şekil 2.10.Paralel ve anti paralel manyetik momentler	8
Şekil 2.11. Çekirdeklerin manyetik alandaki manyetik momentlerinin enerji seviyeleri.....	9
Şekil 3.1. Spin'in Dış Manyetik alan içindeki hareketleri.....	12
Şekil 3.2. Bir I spin' in H_0 dış alanı içindeki enerji seviyeleri	13
Şekil 3.3. Bir çözelti içindeki spinlerin H_0 manyetik alanı içindeki davranışları.....	13
Şekil 3.4. Örnek içindeki spinlerin enerji diyagramı.....	14
Şekil 3.5. Spinlerin enerji seviyelerine dağılımını ve manyetizasyonu.....	15
Şekil 3.6. Spin'in enerji soğurması ve enerji salması.....	16
Şekil 3.7. Spin üst seviyeye çıkmasını ve inmesini temsil eden olasılıklar	16
Şekil 3.8. Tüp içindeki spinler' e Hrf in uygulanması	17
Şekil 3.9. HRF ya da α pulsunun etkisiyle enerji seviyeleri arasında geçişler.....	17
Şekil 3.10. HRF' in spin sistemine etkisi	18
Şekil 3.11. Çevrenin etkisiyle spin sisteminde geçişler	18
Şekil 3.12. Spinlerin defaze olma süreci	20

1. GİRİŞ

Nükleer manyetik kavramını tanımlamak için öncelikle günümüze kadar yapılan çalışma aşamalarını kronolojik sırası ile incelediğimizde;

1922 yılında Otto Stern ve Walther Gerlach tarafından incelenen gümüş buharı atomlarının manyetik alan etkisiyle saptırıldığını gözlemlədiler. Bu deney, elektron ve proton gibi atomu oluşturan parçacıkların ve de bazı atomların içsel manyetik momente sahip olduğunu gösterdi. Bu parçacıklar küçük birer mıknatıs gibi davranmışlardır.

1924 yılında Pauli yapmış olduğu deneyler soncunda bazı atom çekirdeklerinin spin ve manyetik moment özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Dış manyetik alan etkisindeki parçacıkların enerji seviyelerine ayrılacaklarını açıklamıştır.

1927 yılında T.E. Phipps ve J.B. Taylor hidrojen atomlarını kullanarak atomu oluşturan parçacıkların manyetik alandaki davranışlarını incelemişlerdir. Deney sonuçları, Stern - Gerlach deneyinin sonuçları ile uygunluk göstermiştir. Böylece Stern – Gerlach deneyi kanıtlanmıştır.

1946 yılında Bloch ve Purcell, Dışardan uygulanan kuvvetli bir manyetik alan etkisindeki çekirdeklerin, manyetik alanın etkisiyle enerji seviyelerine ayrıldığı gözlemlenmiştir. Böylece elektromanyetik ışın soğurduklarını kanıtlamışlardır.

1950 yılında Herman Carr tek eksendeki monoton olarak değişken manyetik alan kullanarak bir boyutlu (1D) olarak manyetik rezonans görüntülenme gerçekleşmiştir.

1960 yılının sonlarında Waugh katı hal fiziğinde yapmış olduğu NMR çalışmalarıyla NMR görüntü yöntemini geliştirdiler.

1966 yılında Ernest ve Anderson, Fourier Transform tekniğini NMR'a uyguladılar.

1970 yılında iki boyutlu (2D) NMR devreye alınmıştır.

1973 yılında Paul Lauterbur, radyo frekanslarını kullanarak manyetik alanı ana eksenenden anlık olarak hafifçe saptırmıştır.

1980 yılında Çözeltilerde NMR ile makro moleküler yapı tayinleri yapılmıştır.

(D.A.Skoog ve ark., 1981)

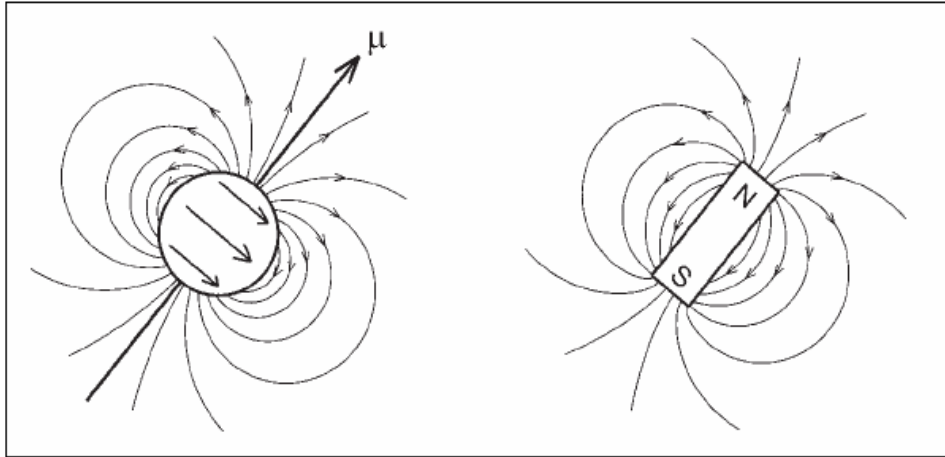
2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Nükleer Spin Kavramı

Bilindiği gibi atomlar, çekirdek ve çekirdek etrafındaki yörüngelerde bulunan elektron bulutundan oluşur. Atomun çekirdeğinde (+) yüklü olan protonlar ve yüksüz olan nötronlar yer almaktadır.

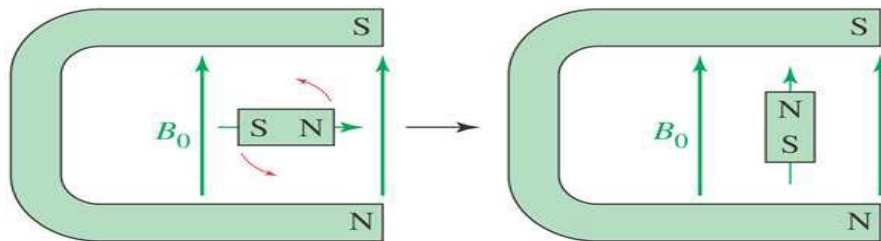
Protonlar küçük bir gezegen gibi davranmaktadırlar. Örneğin; ay gibi belli bir yörüngede kendi eksenini etrafında dönmektedirler. Bu protonların "spin" hareketine benzer. Yani spin hareketi yapar.

Hareketle yönü değişen bir elektrik akımı, o ortamdaki "manyetik alan" oluşmasını sağlar. Bu nedenle kendi eksenleri etrafında dönen ve dönmesonucunda elektriksel bir akıma sahip olan protonların çevrelerinde bir manyetik alan oluşturduklarını düşünürsek, bunları küçük bir "mıknatıs çubuğu" gibi kabul edebiliriz.



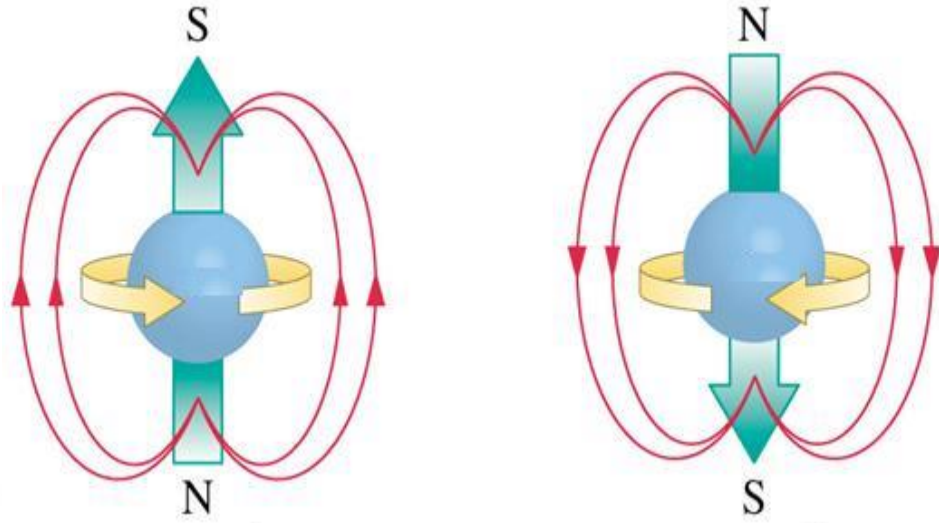
Şekil 2.1. Çekirdekteki pozitif yüklü protonların spin hareketi ve çevresinde oluşturduğu manyetik alan.

Proton ve nötron sayıları tek olan bütün atomlar nükleer eşlenmemiş bir nükleer spin'e sahiptir. Kendi eksenini etrafında dönen pozitif yüklü proton etrafında kendi yerel bir manyetik alanını yaratır. Spin hareketi yapan protonlar bir dış manyetik alan etkisinde kaldıklarında çubuk mıknatıs davranışını sergilerler.



Şekil 2.2. Manyetik alanın mıknatıs üzerindeki etkisi

Dış manyetik alana konan spin saat yönünde ya da saat yönünün tersi yönünde hareket eder.

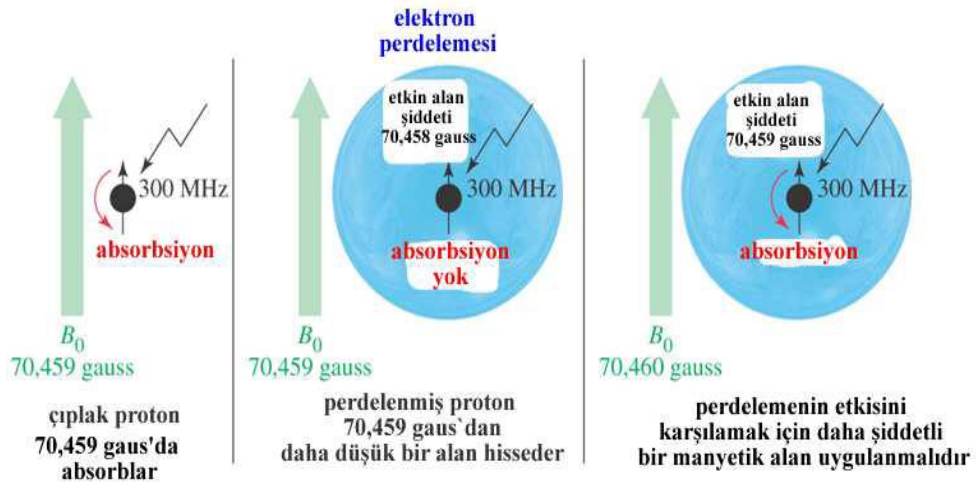


Şekil 2. 3. Manyetik alan etkisindeki spin hareketi

2.2. Manyetik Perdeleme Ve Kimyasal Kayma

Protonlar çevresinin elektronların hareketi ile oluşan manyetik alan tarafından sarılmasından dolayı dış manyetik alanın etkisinden korunur.

Proton' un çevresinde dönen elektronların oluşturduğu manyetik alan uygulanan dış manyetik alana zıt yönde bir kuvvet oluşturarak dış manyetik alanın etkisini azaltırlar. Oluşan kuvvet' e manyetik perdeleme adı verilir. Manyetik alan şiddetinin artırılması manyetik perdelemenin etkisi sona erdirir.

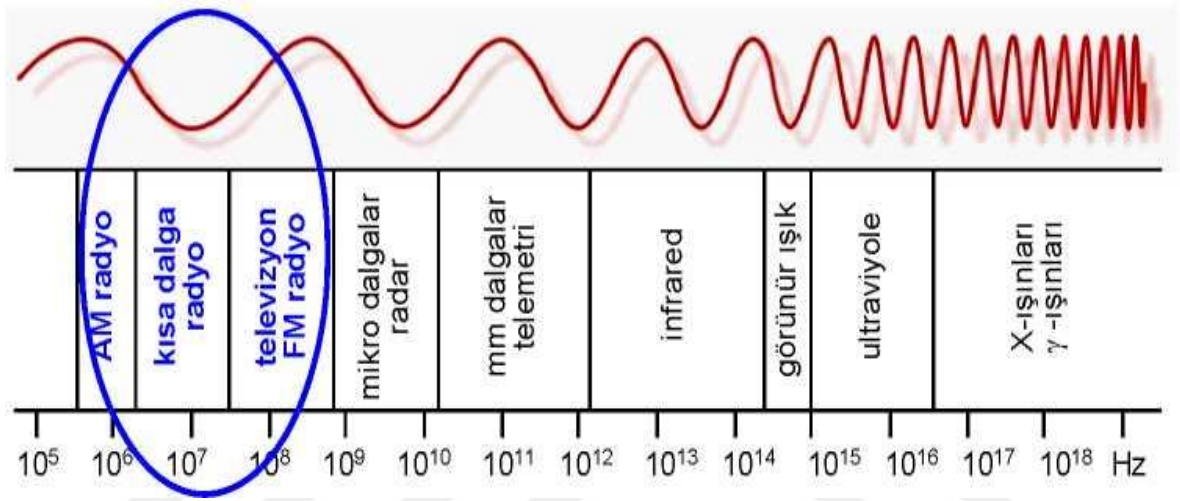


Şekil 2. 4. Manyetik perdeleme

Dışardan uygulanan kuvvetli bir manyetik alan bazı çekirdeklerin enerjilerini iki veya daha fazla enerji seviyelerine ayırır. Oluşan enerji seviyeleri arasında elektromanyetik ışının soğurulmasından dolayı geçişler olur.

Atomik çekirdeklerde kuantum seviyeleri arasındaki fark, 3000 - 3 m veya 0,1-100 MHz (1MHz=10⁶ devir/saniye) dalga boyu frekans aralığındaki ışın enerjilerine eşittir.

Elektromagnetik Spektrum



Şekil 2.5. Elektromanyetik Spektrum

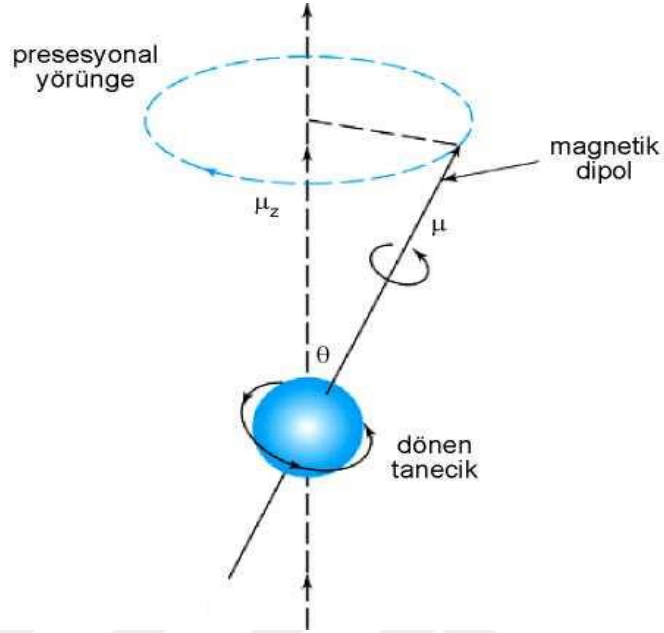
NMR, klasik fizik ve kuantum mekaniği ile açıklanabilir. Kuantum mekaniği; moleküllerin enerji durumları ile soğurulma frekansları arasındaki ilişkiyi, klasik fizik ise soğurulma işleminin klasik mekaniğini açıklar ve ölçümün yapılaş şeklini belirler.

2.3. NMR'ın Klasik Tanımı

2.3.1. Manyetik Momentli Parçacıkların Manyetik Alandaki Davranışları

Manyetik moment'e sahip olan parçacık, dış manyetik alan etkisine girdiğinde manyetik parçacıklar alan yönünde hizalanırlar. Uygulanan manyetik alan doğrultusuna dik, ikinci bir manyetik alan uygulanması durumunda; Manyetik moment, iki alanın bileşke yönünde olacak şekilde yönlendirilir, sonradan uygulanan ikinci manyetik alan etkisi sonlandırıldığında ise manyetik momente sahip parçacıklar sabit olan ilk alan yönüne geri dönmeye çalışacaklardır.

Geride dönme doğrudan olamaz. Presesyon hareketi denilen bir hareket yapacaktır. Presesyon hareketi, ilk uygulanan sabit manyetik alan etrafında döne döne olacaktır.



Şekil 2. 6. Döner bir taneciğin bir manyetik alandaki presesyonu

Presesyon hareketi, topacın saptırılıp bırakıldıktan sonra dönmesi gibidir. Presesyon hareketi belli bir periyoda sahiptir. Presesyon hareketinin periyodu ya da dönme sıklığı parçacığın şekli ve yerçekimi ivmesine bağlıdır.

Manyetik moment'e sahip olan parçacıkların manyetik alan etrafında yapmış oldukları presesyon hareketinin de belirli bir frekansı vardır. Sahip oldukları frekans'a Larmor frekansı denir.

Larmor frekansı, dışardan uygulanan manyetik alan şiddetine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Orantı sabitini (γ), Larmor frekansı ω , uygulanan dış manyetik alan şiddeti (B_0) arasında;

$$\omega = \gamma \cdot B_0 \quad (2.1)$$

Şeklinde bir ilişki vardır.

Larmor frekansı sistemin manyetik rezonans frekansıdır. Larmor frekansı Manyetojirik oran ve manyetik alan şiddetine bağlıdır. Manyetik momenti olan parçacıkların saptırılması için; ilk manyetik alana larmor frekansındaki veya manyetik rezonans frekansındaki çok zayıf bir radyo sinyalinin uygulanması dahi parçacıkları saptırmaya yetmektedir.

2.3.2. Soğurulma İşlemi

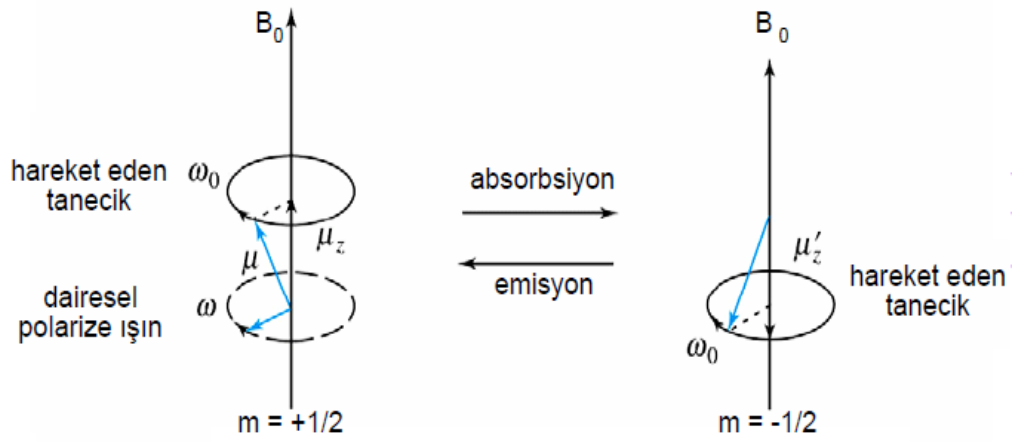
Dış manyetik alan etkisindeki dönen hareketli taneciğin potansiyel enerjisi E,

$$E = -\mu_z B_0 = -\mu_z B_0 \cos\theta \quad (2.2)$$

Denklemleri ile verilir.

Denkleme göre, radyo frekans aralığında enerji soğuran bir çekirdeğin presesyon açısı değişkendir.

Soğurulma işleminde, alan yönünde yönelen parçacıkların manyetik momentlerinin, alan yönüne zıt şekilde yönelmesi durumuna gelmesi olayına sıçratma denir.



Şekil 2. 7. Hareketli bir tanecik tarafından ışın soğurma modeli

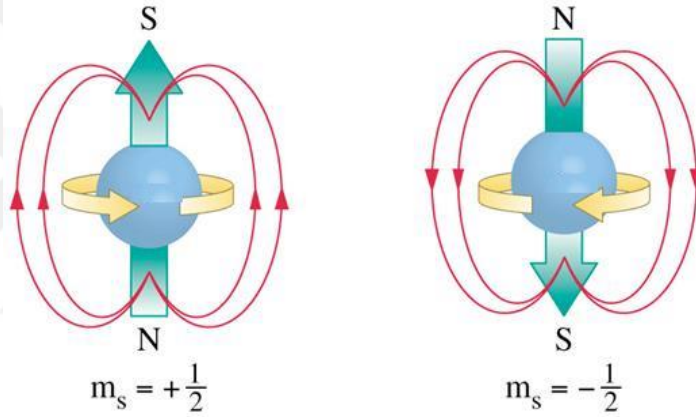
Soğurulma ve sıçratma olayının meydana gelmesi için; ilk uygulanan sabit manyetik alana doğru açı ile uygulanan bir manyetik alanın aynı fazda bulunan dairesel bileşeninde olması gereklidir. Uygun frekanslardaki dairesel olarak polarize olmuş ışınlar bu özellikleri sağlar, Işının manyetik vektörünün dönme frekansı manyetik rezonans frekansı ile aynı olması durumunda soğurulma ve sıçratma olayı meydana gelir.

2.4. NMR'ın Kuantumsal Tanımı

NMR, bir dış manyetik alanda (B_0) atomik çekirdeğin manyetik momentinin (μ) etkileşmesiyle meydana gelen manyetik rezonans'ın izlenmesinde radyo dalgalarının kullanılması spektroskopide uygulanan bir tekniktir.

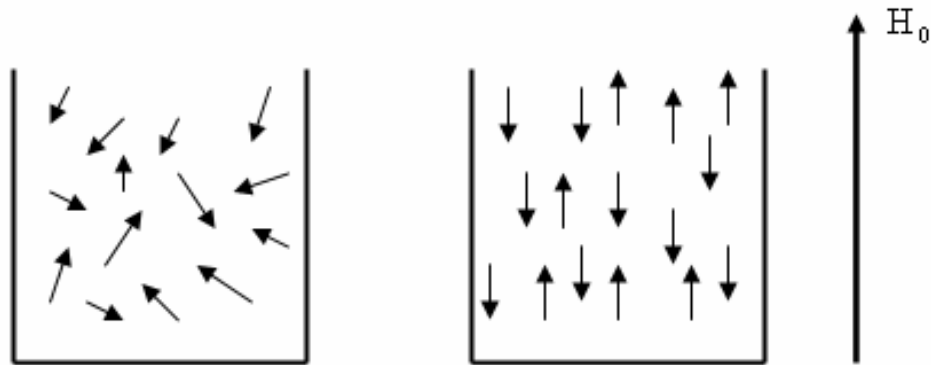
Kuantum mekaniğine göre, kütle numarası tek ve atom numarası tek olan çekirdeklerin spinleri bulunur. İzotop çekirdeklerin her birinin spinleri farklılık gösterir. Spinlerin farklılık göstermesi; NMR deneylerinin elementlerin izotopları için özel olmasını sağlar. ^1H veya ^{13}C gibi tek kütle numarasına sahip olan elementler manyetik alan oluşturur.

Spin'i $+1/2$ olan bir parçacığın oluşturduğu manyetik alan yönü, spin'i $-1/2$ olan bir parçacığın oluşturduğu manyetik alan yönünün tam tersindedir.



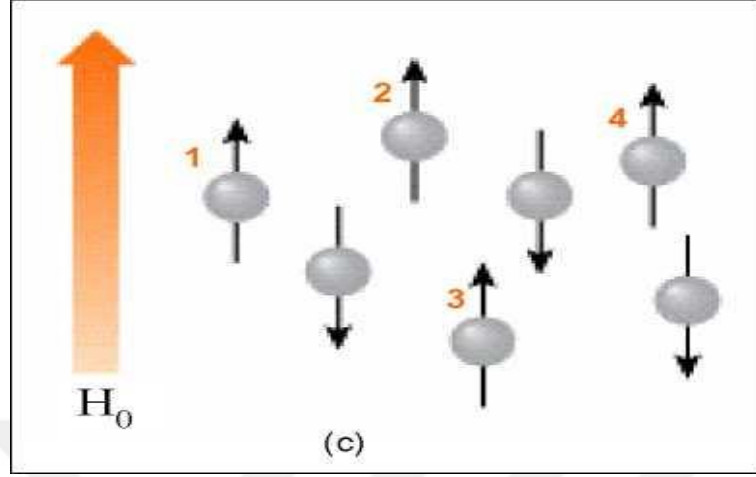
Şekil 2. 8. Spin'i $+1/2$ olan bir parçacığın oluşturduğu manyetik alan yönü, spin'i $-1/2$ olan parçacığın oluşturduğu manyetik alan yönünün tersindedir

Bir dış manyetik alan uygulanmayan nükleer spinlerin dağılımı rastgeledir. Nükleer spinler'e dış manyetik alan (B_0) uygulanması durumunda enerji durumlarına uygun olarak uygulanan alana paralel ya da anti paralel nükleer manyetik momentlerin oluşması sağlanır. Yönlenmelerdeki etkiye Zeeman Etkisi denir.



Şekil 2. 9. Dış manyetik alan etkisindeki paralel ve anti paralel nükleer manyetik momentler

Uygulanan dış manyetik alana paralel olan yerleşimlerin H_0 ile aynı yöndeki (paralel) manyetik momentleri, diğerlerine (anti paralel) göre daha yüksektir.



Şekil 2. 10. Dış manyetik alan etkisindeki paralel ve anti paralel nükleer manyetik momentler

2.5. Bir Manyetik Alandaki Enerji Seviyeleri

Manyetik moment'e sahip olan bir tanecik, Bir dış manyetik alanın etkisinde bırakıldığında, manyetik dipol'ü ve spin eksenini, uygulanan manyetik alana paralel olacak şekilde yönelir.

$$\Delta E = \frac{m \mu}{I} \beta B_0 \quad E = h \nu \quad (2.3)$$

Dışardan enerji (düşük radyo frekansı) uygulandığında çekirdek tarafından soğurulur. Çekirdeğin spin'i zıt şekilde yönlenir. Yani; NMR' ı etkileyen iki değişken bulunur. Bunlar dışardan uygulanan manyetik alan (B_0) ve rezonans için gerekli olan ışının frekansı (ν).

Parçacıkların davranışları, dış manyetik alana konulan küçük bir manyetik çubuğun davranışına benzer. Parçacıklar manyetik çubuk gibi davranış sergileyeceğinden potansiyel enerjisi de manyetik çubukta olduğu gibi dipol'ün dışardan uygulanan manyetik alana göre yönlenmesine bağlıdır. Çekirdeğin konumu $(2I+1)$ durumu ile sınırlandırıldığı için, potansiyel enerjisi de ancak $(2I+1)$ şeklinde sayı alabilir. Parçacıkların potansiyel enerjileri;

$$E = - \mu_z B_0 \quad (2.4)$$

Şeklindedir . (D.A.Skoog,; D.M.West ' 1981)

Spin sayısının I, manyetik kuantum sayısının da m olduğunu kabul ettiğimiz bir tanecik için, kuantum seviyesinin enerjisini hesaplanması istenir ise;

$$E = \frac{m \mu}{1} \beta B_0 \quad (2.5)$$

olur.

I = 1/2 olduğunu varsayarsak, parçacığın manyetik kuantum sayısı +1/2 ve -1/2 olur.

Bu durumların manyetik alandaki enerjileri ise;

$$\begin{aligned} \Delta E &= \mu \beta \frac{B_0}{1} \\ m = +\frac{1}{2} \quad E &= -\frac{1/2 (\mu \beta B_0)}{1/2} = +\mu \beta B_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$m = +\frac{1}{2} \quad E = -\frac{1/2 (\mu \beta B_0)}{1/2} = -\mu \beta B_0 \quad (2.7)$$

Şeklinde bulunur.

Bu iki farklı enerji, spin ekseninin dışardan uygulanan manyetik alana göre iki farklı şekilde yönelmesini sağlar.

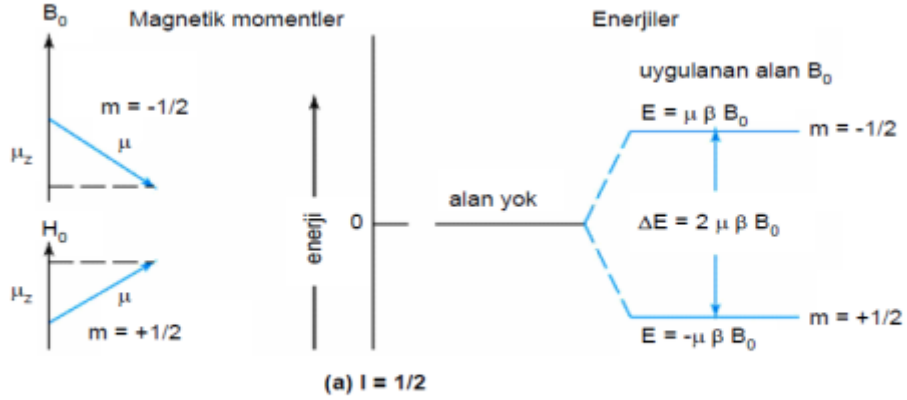
Düşük enerjili durumda (m = 1/2); manyetik moment manyetik alan ile aynı yönde yönelirler.

Yüksek enerjili durumda (m = - 1/2) ise manyetik alan ile manyetik moment zıt yönde yönelir. İki enerji seviye arasındaki fark,

$$\Delta E = 2 \mu \beta B_0 \quad (2.8)$$

Denklemiyle verilir.

Spin'i 1 olan parçacığın enerji seviyeleri ve yönelmeleri incelendiğinde Şekil (2.11b) 'deki diyagram ortaya çıkacaktır.



Şekil 2.11. Çekirdeklerin manyetik alandaki manyetik momentlerinin enerji seviyeleri

$m = 1$, $m = 0$, ve $m = -1$ seviyeleri arasındaki enerji farkları eşittir.

Enerji farkları;
$$\Delta E = \mu \beta \frac{B_0}{I} \quad (2.9)$$

Şeklinde gösterilir.

Daha yüksek seviyedeki kuantum seviyesine uyarmanın gerçekleşmesi; fotonun ΔE 'ye eşit miktardaki $h\nu$ enerjisi soğurulması ile sağlanabilir.

$$h\nu = \mu \beta \frac{B_0}{I} \quad (2.10)$$

Çekirdekleri ya da protonları etkileyen dış manyetik alan bulunmaması durumunda kuantum seviyelerinin enerjileri birbirine eşittir. Yani çekirdekte $m = +1/2$ ve $m = -1/2$ olan parçacıkların sayısı eşit miktarda bulunur.

Parçacıkların dışardan uygulanan manyetik alan etkisinde kalması durumunda, düşük enerji halleri ($m = +1/2$) fazla olacak durumda yönelirler.

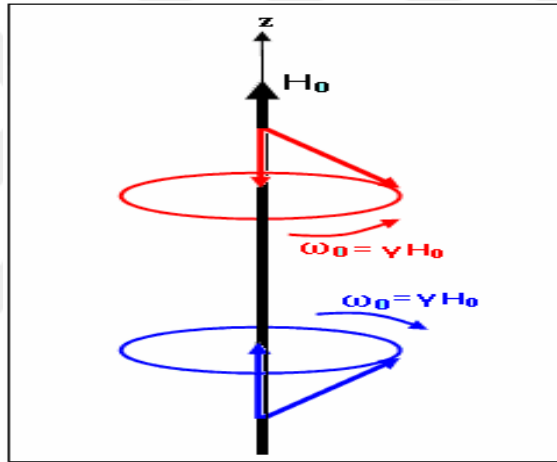
3. TEMEL NMR KURAMI

Bu Bölümdeki veriler Yılmaz A., Zengin B., Korunur S., ' nin Ders notlarından alıntı yapılarak hazırlanılmıştır.

Manyetik moment' e sahip bir atomun dış manyetik alan (H_0) etkisindeki davranışını ve enerji durumlarını incelediğimizde, çekirdeğindeki spin' in (H_0) manyetik alan etrafında saat yönünde (huni yüzeyinde) veya saat yönünün tersi yönünde (ters huni yüzeyinde) hareket ettiğini gözlemleriz. Dönme hızı (ω) alan şiddeti (H_0) ile doğru orantılıdır

$$\omega = \gamma H_0 \text{ (}\gamma \text{ jromanyetik oran)} \quad (3.1)$$

Manyetik alana yerleştirilen tüpteki tüm protonlarda, H_0 etrafında huni ya da ters huni yüzeyindeki dönme hareketi gözlemlenir. Protonların hareketi Şekil 3. 1' deki hareket diyagramını oluşturur.

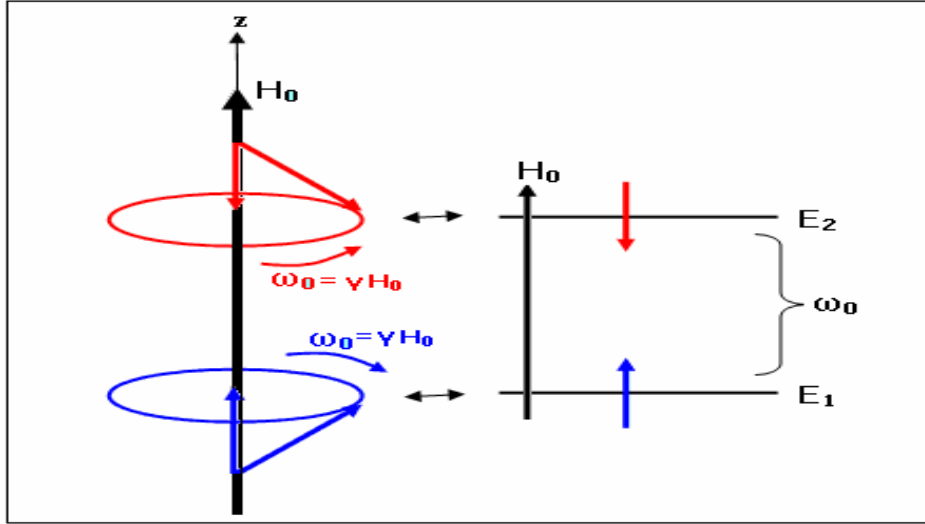


Şekil 3. 1. Spin'in Dış Manyetik alan içindeki hareketleri (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

Şekil 3. 1'de gösterilen spinler, tüp içinde çok farklı yerlerde yer alabilir. Örneğin bir spin tüp'ün üst kısmında dönerken, diğer spin tüp'ün alt kısmında dönüşünü yapabilir. Bu spinlerin hareketleri dikkate alınarak yan yana getirilmiştir. Oluşan diyagram hareket diyagramıdır. Her hareketin de bir enerjisi mevcuttur.

Kuantum mekaniksel hesaplardan anlaşıldığı üzere, huni yüzeyinde dönüş yapan (I_z bileşeni H_0 ' a paralel) spin enerjisi az; ters huni yüzeyinde dönüş yapan (I_z bileşeni H_0 ' a zıt ve paralel) spin enerjisi fazladır.

İstatistik fiziğine göre, spin enerjisinin az olduğu durumun daha tercih edildiğini söyler yani, meydana gelme olasılığı daha fazladır. Şekil 3. 1'deki hareket diyagramına enerji seviyelerini de eklersek (Şekil 3. 2) diyagramı elde ederiz.



Şekil 3. 2. Bir I spin'in H_0 dış alanı içindeki enerji seviyeleri (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

E_1 , az enerjisi olan spin'i yani saat yönünde (koni yüzeyinde) hareket eden spin'i temsil eder.

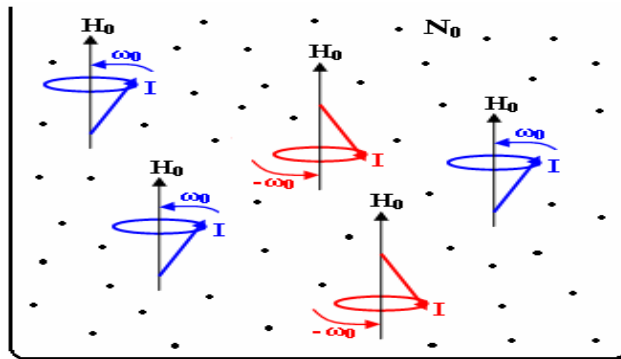
E_2 , enerjisi daha fazla spin'i yani saat yönünün tersinde (ters koni yüzeyinde) hareket eden spin'i temsil eder.

Hareket, enerji ile eş anlamlıdır. Bu nedenle Şekil 3. 2' ye hareket-enerji diyagramı veya enerji seviyeleri diyagramı denilebilir.

Manyetik alanın olması (H_0) Enerji seviyelerini oluşturur. H_0 ortadan kalktığı anda enerji seviyelerinden söz edilemez. Enerji seviyelerinin oluşması, H_0 manyetik alanından kaynaklandığı için, enerji seviyelerinin oluşması ortamda H_0 manyetik alanın var olduğunu gösterir. .

3.1. H_0 Dış Manyetik Alan Etkisindeki Çözeltilerde Çıplak Atom Davranışları

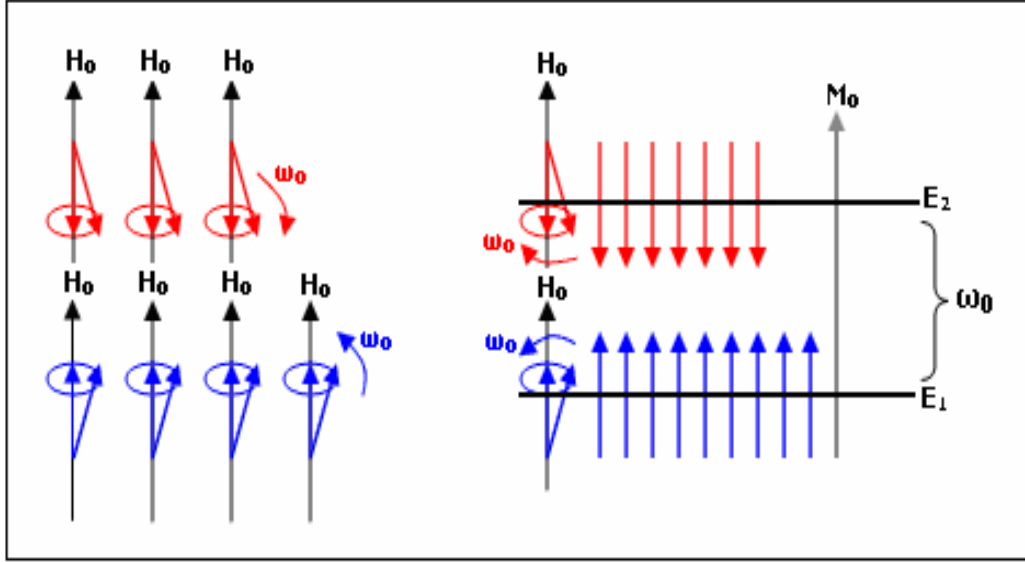
Bir dış H_0 manyetik alan içine yerleştirilen spinler, ya koni yüzeyinde veya ters koni yüzeyinde dönerler.



Şekil 3. 3 Bir çözelti içindeki spinlerin H_0 manyetik alanı içindeki davranışları (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

İlave noktalar, gerçek spin sayısının N_0 (Avagadro sayısı) mertebesinde olduğunu göstermektedir.

Energileri aynı olan spinler yan yana dizildiği varsayılırsa, Şekil 3. 4'deki gibi, hareket - enerji diyagramı elde edilir.



Şekil 3. 4 Örnek tüpteki spinlerin enerji diyagramı (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

Şekil 3. 4 deki hareket diyagramındaki düşük enerjili durumlar yukarı doğru bakan 9 tane ok ile, yüksek enerjili durumlar ise aşağı bakan 7 tane ok ile gösterilmiştir.

Enerji seviyesindeki spin miktarı Avagadro sayısı ile mukayese edilebilir sayıda bulunmaktadır.

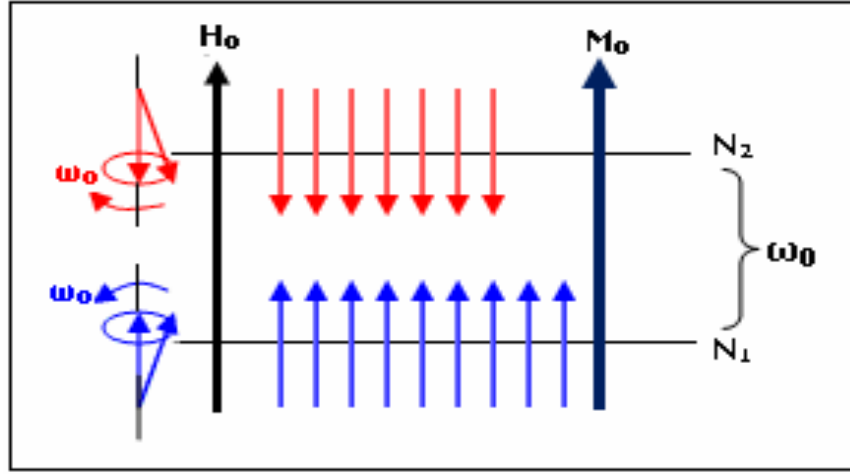
Şekil 3. 4' deki E_1 enerjili spinlerin gerçek sayısı N_1 ; E_2 enerjili spinlerin gerçek sayısı ise N_2 olmaktadır.

Şekil 3. 4' te E_1 seviyesinde yukarıya olarak gösterilen oklar, spinlerin H_0 alanının paralel bileşenini; E_2 seviyesinde aşağı yönlü olarak gösterilen oklar ise spinlerin H_0 alanına zıt ve paralel olan bileşenini göstermektedir. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.2. Manyetizasyon Ve Sinyal Şiddeti

İstatistik Fiziğine göre, huni dönüşü spinlerin sayısı, ters huni dönüşü yapan spinlerin sayısından fazladır. Bu nedenle alt enerji seviyesine daha fazla spin dizilmelidir. Yani alt enerji seviyesinde fazla, üst enerji seviyesinde daha az spin vardır. Bu spin sayısının farkının bileşkesi bir M_0 mıknatıslanmasına yol açar.

Mıknatıslanmadan sinyal üretilir. İstatistik değerleri verebilmek için spinlerin enerji seviyelerine dağılımını ve manyetizasyonu (M_0) şekil 3. 5. 'de verilmiştir.



Şekil 3. 5 spinlerin enerji seviyelerine dağılımını ve manyetizasyonu (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

Şekil 3. 5 'deki her bir enerji seviyelerine spinlerin yerleşimi Boltzmann kuralına göre olur.

$$N_1 = C e^{-E_1/KT} \quad \text{ve} \quad N_2 = C e^{-E_2/KT} \quad (3.2)$$

Olarak yazılır.

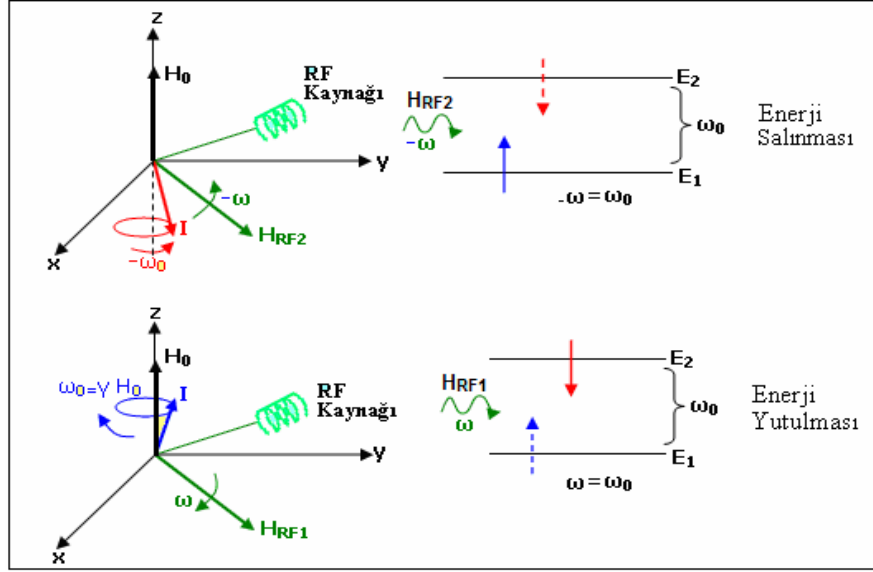
Denklem alt enerji seviyesine, üst enerji seviyesine göre daha fazla spin yerleşeceğini ortaya koyar. M_0 sabit ve $(N_1 - N_2) \cdot I$ olarak yazılabilir. H_0 alanına paralel M_0 mıknatıslanmasını veren duruma, Boltzmann dengesi denir. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.3. RF Pulsu (HRF) 'nun Çözümlere Uygulanması

RF pulsu enerji taşıyan bir dalgadır. Tek bir RF puls dalgasının, bir spin' e etkisini incelemek istersek; Spin' i (X,Y,Z) sisteminin başlangıç noktasına koyarız. Bu spin, H_0 manyetik alanı etrafında ω hızı ile döner.

RF dalgası ise, RF kaynağı tarafından, X -Y düzleminde ω hızı ile dönen bir H_1 alanı şeklinde üretilir.

$\omega = \omega_0$ 'a eşit olunca spin, H_1 'den enerjiyi alır. Alt enerji seviyesinden üst enerji seviyesine geçer. $\omega = -\omega_0$ eşit olunca, üst seviyede olan bir spin alt seviyeye iner, Şekil 3. 6' da ki gibi gösterilebilir.

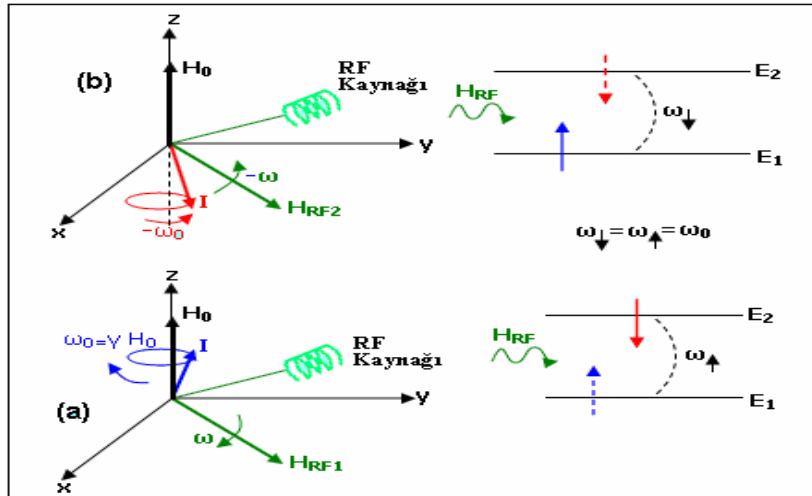


Şekil 3.6. Spin' in enerji soğurması ve enerji salınması (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

$\omega = \omega_0$ durumuna rezonans denir. Rezonans esnasında HRF'in enerjisi, iki seviyesi arasındaki enerji farkına eşittir.

$$h\omega = E_2 - E_1 \quad (3.3)$$

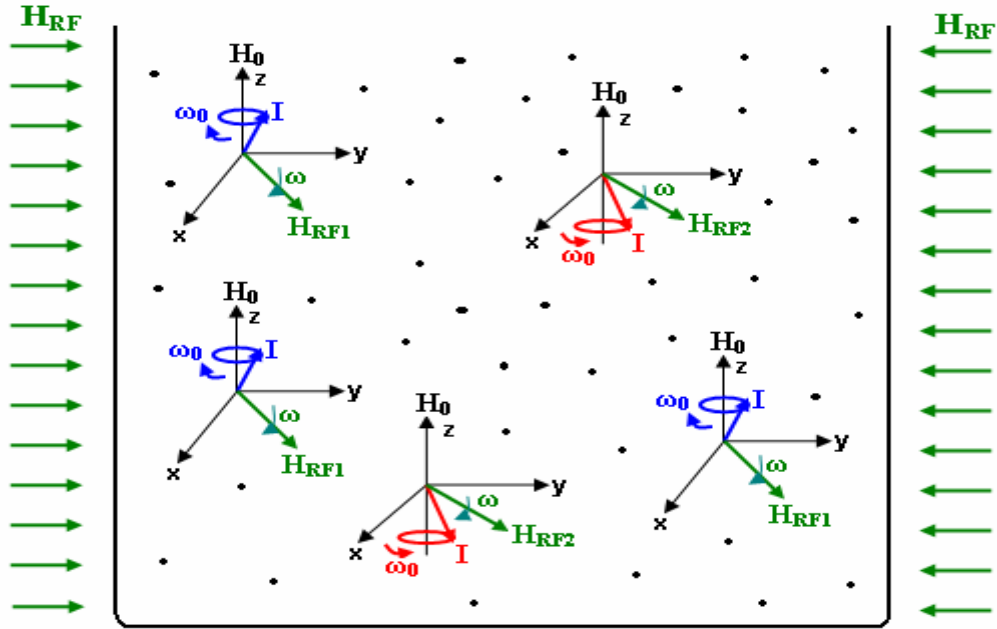
Şekil 3. 6'da, RF alanını üreten kaynağın yeri temsilen verilmiştir. RF alanı, H_0 'ı üreten bobinin üzerine farklı şekilde sarılmış, diğer bir bobin tarafından üretilir. $H_{RF} \ll H_0$ ve H_{RF} , H_0 'a diktir. Şekil 3. 6 ' da gösterildiği gibi iki tane HRF vardır. Biri, huni yüzeyinde dönen spin'i rezonans'a götürür. Diğeri ise ters huni yüzeyinde dönen spin'i rezonans'a götürür. Bu iki alan birbirine zıt yönde döner. HRF 'in etkisi ile bir spin'in üst enerji seviyesine çıkma olasılığı olan ($w \uparrow$), alt enerji seviyesine inme olasılığı olan ($w \downarrow$) ile aynıdır. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)



Şekil 3.7 Spin üst seviyeye çıkmasını ve üst seviyeden inmesini temsil eden olasılıklar (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.4. RF Pulsunun Bir Spin Topluluğuna Uygulanışı

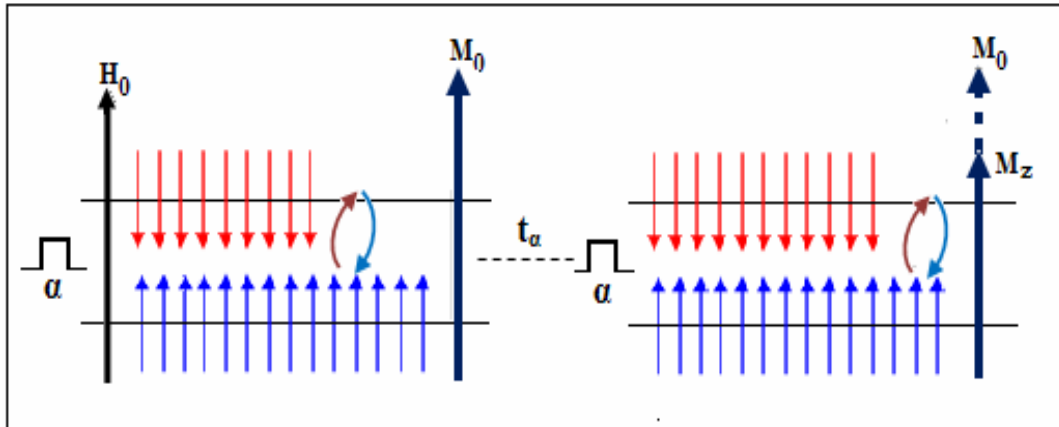
X-Y düzleminde dönen HRF (H_1 olarak da yazılırsa) alanı şeklinde üretilen RF dalgası, tüm örneğe uygulanır. Bu nedenle de örnek içindeki tüm spinler, bu alanı hisseder.



Şekil 3. 8. Tüp içindeki spinler' e Hrf in uygulanması (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

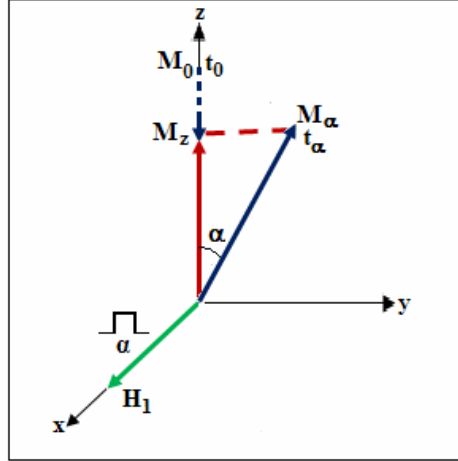
Şekil 3. 8'de sistem'e bir H_{RF1} pulsu bir t zamanı kadar uygulandığında. Örnekteki spinlerin bir kısmı H_1 'den enerji kazanır ve üst seviyeye geçer. Bazı spinler, H_1 'den enerji kaybederek alt seviyeye iner.

Alt seviyenin nüfusu fazla olduğundan, üst seviyeye geçişler daha fazla olur. Bu nedenle üst seviyedeki spin sayısı giderek artar. Bu esnada M_z mıknatıslanması giderek küçülür.



Şekil 3. 9 HRF ya da a pulsunun etkisiyle enerji seviyeleri arasında geçişler (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

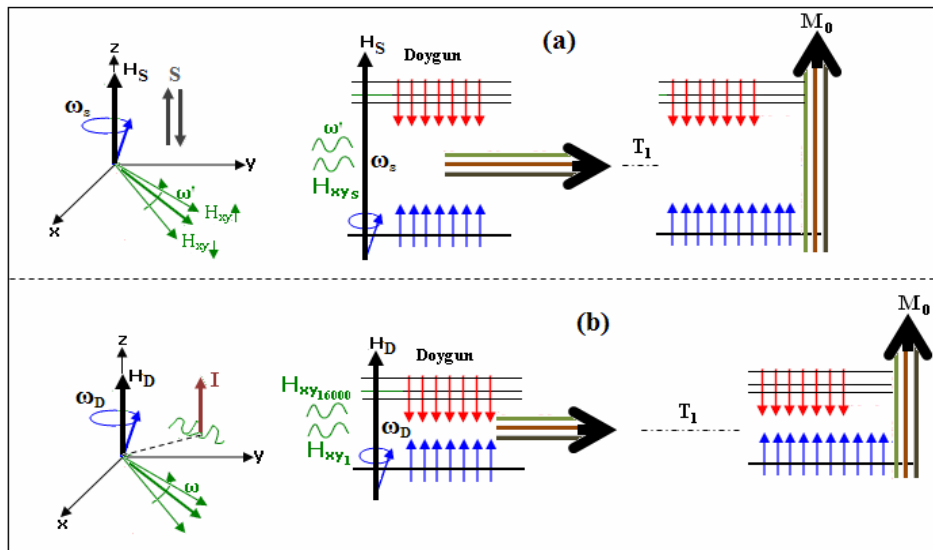
M mıknatıslanmasını gören bir sisteme bakıldığında, M_0 mıknatıslanmasının, H_1 etrafında, α açısı kadar döndüğü görülür. Bu nedenle M_z mıknatıslanmasının da giderek küçüldüğü görülür. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)



Şekil 3. 10. HRF'in spin sistemine etkisi. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.5. Sıcak Spinlerin Çevreye Enerji Aktarması ve T_1 Süreci

RF uygulaması sonunda, sistemin doyum (iki seviyenin nufus' u eşit) durumuna ulaşmasından sonra ortaya çıkar. Diğer bir deyişle H_{rf} ' nin kesilmesiyle başlar. Bu andan itibaren bu spinlerin çevrelerinde S varsa, S in kurduğu yerel alanın H_{xys} bileşeni; komşu I varsa, I in kurduğu yerel alanın H_{xyI} bileşeni; i varsa, i nin kurduğu yerel alanın H_{xyi} bileşeni devreye girer. Komşunun devreye girişi, spin sisteminin enerji seviyeleri arasında geçişlere yol açar.



Şekil 3. 11. Çevrenin etkisiyle spin sisteminde geçişler(Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

Şekil 3. 11.' in xyz düzlemi ile gösterilen kısmı, gözlem altındaki bir spin' in S ya da I çevresi ile nasıl etkileştiğini gösterir. Bu etkileşim, sistem içerisindeki her spin için benzer şekilde olur.

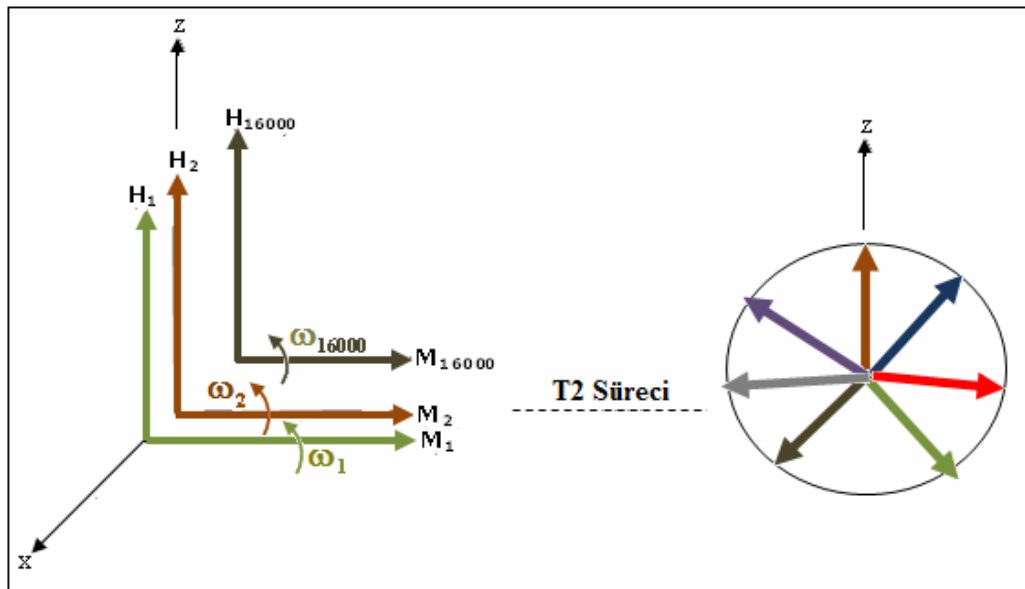
S tarafından xy düzleminde kurulan H_{xys} ya da I tarafından kurulan H_{xyi} ' nın dönme frekansı, gözlem altındaki I spin'inin H_z alanı etrafındaki dönme frekansına eşit olunca enerji yutulur veya salınır. Bu sırada bazı spinler enerji alarak üst enerji seviyesine geçer, bazı spinlerde enerji salarak alt enerji seviyesine iner.

Saniye başına aşağı inen spin sayısı, yukarı çıkan spin sayısından fazla olacağından; spin sistemi gittikçe enerji kaybeder ve başlangıç denge durumuna döner. Başlangıç duruma dönüş süresine T_1 denir. Son durumda M_z manyetizasyonu da M_0 değerine ulaşır. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.6. Spinlerin Defaze Olması Ve T_2 Süreci

T_1 süreci incelenirken süreç' e spin yönünden bakılır. T_2 sürecine ise makroskopik yönden bakmak daha doğru olur. 90° derece puls kesildikten sonra, başlangıç sistemine döndüğünü belirtmiştik.

Başlangıç sisteminde görebileceğimiz H_d alanları, z-ekseni boyunca yönelmiş, $H^{(1)}_1$, $H^{(1)}_2, \dots, H^{(1)}_{16000}$ alanları olmaktadır. Bunlarla birebir ilişkili $M^{(1)}_1, M^{(1)}_2, \dots, M^{(1)}_{16000}$ alanları da artık y- yönüne yatmıştır. $M^{(1)}_1, H^{(1)}_1$ etrafında $\omega^{(1)}_1$ hızı ile döner aynı şekilde; $M^{(1)}_2, H^{(1)}_2$ etrafında $\omega^{(1)}_2$ hızı ... ile döner. Hızlar farklı olduğundan $M^{(1)}_1, M^{(1)}_2, \dots, M^{(1)}_{16000}$ alanlar zamanla defaze olur.



Şekil 3. 12 Spinlerin defaze olma süreci (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

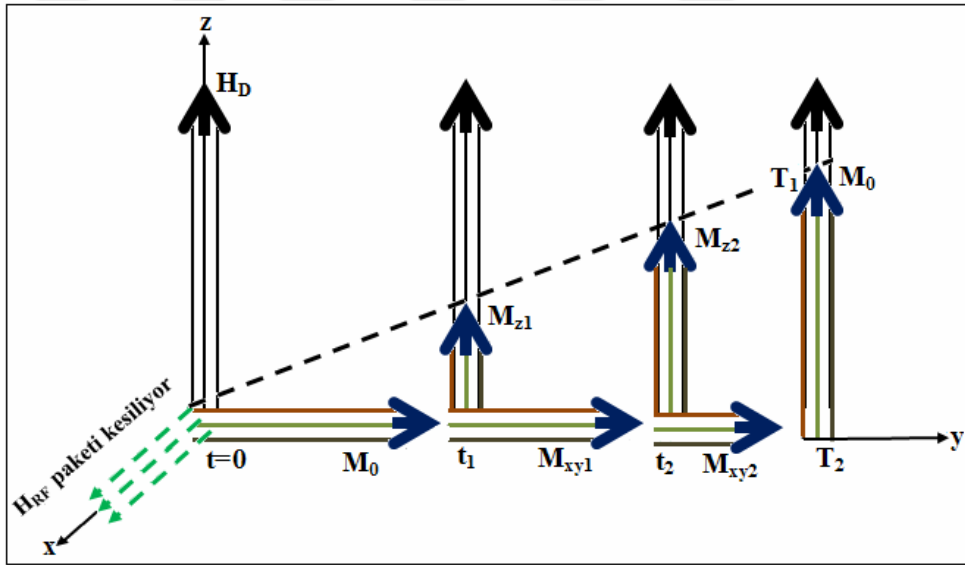
Defaze olma süreci T_2 zamanı içinde gerçekleşir. Tüm spinlerin aynı yönde olduğu ilk durumdan, spinlerin rastgele dağıldığı son duruma kadar geçen süreye T_2 spin-spin durulma zamanı denir. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.7. T_1 ve T_2 Durulma Zamanlarının Makroskopik Olarak İncelenmesi

Örneğimize x -ekseni boyunca 90 derecelik bir RF puls paketi uygulandığında; $M_1, M_2, \dots, M_{16000}$ bileşenlerini içeren M_0 (mıknatıslanma) döner ve y -ekseni boyunca uzanır.

RF puls paketi kesildikten sonra, spinler enerjilerini etrafına aktarmaları sonucu, M_0 (mıknatıslanma) z -ekseni boyunca artarak yeniden kurulur.

(xy) düzleminde M_{xy} ise, $M_1, M_2, \dots, M_{16000}$ bileşenlerinin defaze olmaları sonucu, azalarak sıfıra gider.



Şekil 3.12 Spinlerin defaze olma süreci (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

T_1 (Spin-örgü durulma zamanı) M_0 (mıknatıslanmanın) z -ekseni boyunca artarak denge durumuna ulaşma sürecini karakterize eder. T_2 (Spin-spin durulma zamanı) ise, M_{xy} mıknatıslanmasının sıfıra gitme süresini karakterize eden bir zamandır. $1/T_1$ spin-örgü, $1/T_2$ ise spin-spin durulma oranlarını gösterir. (Yılmaz A., Zengin B., Korunur S.)

3.8. Paramanyetik İyon İçeren Çekirdeklerin Denklem Mekanizması

1955 yılında, Süleyman, Bloembergen, Purcell ve Pound saf sıvıların ve diğer basit maddelerin T_1 ve T_2 değerlerini tahmin etmek için korelasyon süreleri ve spektral yoğunlukları kullanılarak bir model geliştirmiştir.

$$J(\omega) = \frac{\tau_c}{1 + \omega^2 \tau_c} \quad (3.4)$$

$$\frac{1}{T_1} = 2K \frac{\gamma^4}{r^6} [j(\omega) + 4j(2\omega)] \quad (3.5)$$

$$\frac{1}{T_2} = K \frac{\gamma^4}{r^6} [3j(0) + 5j(\omega) + 2j(2\omega)] \quad (3.6)$$

$$\frac{1}{T_1} = \frac{6}{20} \frac{\hbar^2 \gamma^4}{r^6} \left[\frac{\tau_c}{1 + \omega^2 \tau_c^2} + \frac{4\tau_c}{1 + 4\omega^2 \tau_c^2} \right] \quad (3.7)$$

$$\frac{1}{T_2} = \frac{3}{20} \frac{\hbar^2 \gamma^4}{r^6} \left[3\tau_c + \frac{5\tau_c}{1 + \omega^2 \tau_c^2} + \frac{2\tau_c}{1 + 4\omega^2 \tau_c^2} \right] \quad (3.8)$$

$$\frac{1}{T_1} = 2K \frac{\gamma_1^2 \gamma_s^2}{r^6} [j(\omega_1 - \omega_s) + j(\omega_1) + j(\omega_1 + \omega_s)] \quad (3.9)$$

$$\frac{1}{T_2} = K \frac{\gamma_1^2 \gamma_s^2}{r^6} [4j(0) + j(\omega_1 - \omega_s) + 3j(\omega_1) + 6j(\omega_s) + 6j(\omega_1 + \omega_s)] \quad (3.10)$$

Şeklinde formülize edilmiştir.

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Saf sulu çözeltilere eklenen paramanyetik iyonların durulma süreleri üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalar yer almaktadır.

4.1. MnF₂ Ve ZnF₂ Katı Çözeltilerin Paramanyetik Duyarlılıkları

MnF₂ ve ZnF₂ katı çözeltilerinin paramanyetik duyarlılıkları sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür.

Curie - Weiss yasası ($X = C / T + \Delta$) 76 °K - 295 ° K sıcaklık aralığında bütün çözeltiler için incelenmiştir. Sabit Δ , MnF₂ mol fonksiyonunun doğrusal bir fonksiyon olduğu bulunmuştur. Bu davranış, belirli bir iyon ile bağlantılı manyetik etkileşim enerjisinin, paramanyetik komşularının sayısı ile orantılıdır varsayımı ile tutarlıdır. Sonucuna ulaşılmıştır. (L.Corliss ve ark.1950)

4.2. Paramanyetik Çözeltilerin Proton Durulma Süreleri

Fe⁺⁺⁺, Mn⁺⁺, ve Gd⁺⁺⁺, gibi paramanyetik iyonların S spektroskopik durumları ve bu iyonlar gibi Cr⁺⁺⁺ ve Cu⁺⁺ iyonlarının etkin durumları (orbital bileşeni ve Spin-yörüngesi) protonun durulma zamanının karesiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Eşdeğer yoğunlaşma manyetik moment ile gösterilmiştir. Co⁺⁺, Nd⁺⁺⁺, ve Dy⁺⁺⁺ gibi iyonlarda, yaklaşık on kat daha az etkili olduğu görülmüştür. (Robert L; Conger ve PW Selwood 1952)

4.3. Sulu Paramanyetik İyon Çözeltilerinde Proton Spin Durulma Zamanının Frekans Bağımlılığı

Cr (H₂ O)₆⁺⁺⁺ Mn (H₂ O)_x⁺⁺, Co (H₂ O)_x⁺⁺ ve Nd (H₂ O)_x⁺⁺ sulu çözeltileri için 2,7-28,7 Mc / sn. frekans aralığında manyetik rezonans durulma süreleri T_1 ve T_2 olarak ölçülmüştür. T_1 , her bir iyon için aslında sabit iken, Cr (H₂ O)₆⁺⁺⁺, Mn (H₂ O)_x⁺⁺ iyonlarının frekanslarının düşürülmesiyle azaldığı gözlemlendi, T_1 / T_2 anormal büyük çıkması yüksek frekansın etkisinin bir sonucu olarak görülmüştür. (Ions AW Nolle ve LO Morgan 1957)

4.4. Sulu Çözeltilere Eklenen Paramanyetik İyonlarının Proton Durulma Zamanının Sıcaklık Bağımlılığı

Sulu çözeltilere eklenen paramanyetik iyonlar, proton nükleer manyetik Durulma süreleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür.

10, 20 ° C'de ölçülen Mn^{++} iyonu için, proton T_1 ve T_2 , 28 Mc / sn ve Co^{++} , Cu^{++} , ve Gd^{+++} iyonları için ölçülen T_1 ve T_2 , 20 Mc / sn. gözlenen sıcaklık etkileri genel Bloembergen -Solomon durulma ifadeleri için uygun sıcaklık bağıntıları ile açıklanabilir.

Mn^{++} durumunda olan çözeltiler, T_1/T_2 , oda sıcaklığı ve 20 Mc / sn, için, kimyasal olarak yaklaşık 5.5 oranının, elektron değişimi ve di polar etkileşimlerinden kaynaklandığı bulunmuştur.

Geliştirilen denklemlerle verilerinin analizi, protonların kimyasal değişimi ile ilgili bilgi sağlamıştır.

Mn^{++} iyonu. 8.4 kcal / mol ve bu işlem için diğer parametrelerin bir aktivasyon enerjisi ile değerlendirilir.

T_1 ve T_2 ' nin Sıcaklığa bağımlılığı Co^{++} , Cu^{++} , ve GD^{+++} çözeltileri için di polar etkileşim sıcaklık bağımlılığı ile açıklanabilir. (Robert A.; Thomas H. ve DE Woessner 1959)

4.5. Sulu Çözeltilere Eklenen Cr^{+++} , Mn^{++} , Ni^{++} , Cu^{++} Ve Gd^{+++} Paramanyetik İyonlarının Proton Spin Durulması.

Krom, manganez, nikel, bakır, ve gadminyum iyonlarının sulu çözeltileri içinde protonlar için Nükleer manyetik Durulma süreleri 60 Mc / sn frekans aralığının da 1.9 olarak ölçüldü. Sonuçlar elektron nükleer dipol-dipol etkileşimi için, Solomon elektron ve nükleer spin skaler bağlantısı için Bloembergen in formülü açısından yorumlanmıştır.

Büyük manyetik alanların durulma sürelerine etkileri, elektron spin durulma süreleri ve / veya elektron-nükleer spin değişim sabitlerinin alana bağımlı olduğunu öne sürerek, düşük alan değerleri temelinde beklenenden daha kısa olduğu tespit edilmiştir. (L. O. Morgan and A. W. Nolle 1959)

4.6. VO⁺⁺ Çözeltilerinde Paramanyetik Durulma

VO⁺⁺ Çözeltilerinde ESR spektrumu aşırı ince çizgi genişliklerinin ve bileşenlerinin nükleer spin yönünün bağlı olduğu ilginç bir özelliği vardır. Özeliğin kökeninin HM McConnell tarafından önerilen mekanizma olduğu tespit edilmiştir. Yani mikro kristal içinde anizotropilerin yol açtığı iyon, g tensörü ve aşırı ince etkileşimdir.

D. Kivelson tarafından yapılan hesaplamaların sonuçları ile 9.25 KMC de ve 24,3 KMC yapılan çizgi kalınlığı ölçümlerinin sonuçlarını karşılaştırarak, mikro kristal modelinin geçerliliği ispatlanmıştır. (R. N. Rogers ve G. E. Pake 1960)

4.7. Paramanyetik Çözeltilerin Proton Durulma Zamanının Elektron Spin Durulma Zamanına Etkileri

Paramanyetik iyon çözeltilerinde proton durulma zamanının elektron spin, Durulma zamanında ki etkileri, diğer faktörlerin yanı sıra τ' ye bağlı τ_s dir.

İkinci demir grubunun iyonları için, diğer su molekülleri ile çarpışmaların hidratlanmış kompleksinin bozulması gösterilmiştir.

Mn⁺⁺ çok yüksek manyetik alandaki çözeltileri Teori için bir nicel açıklama sağlar. Demir grubunun T_1 ve T_2 Proton durulma zamanı süreleri, teorik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Gözlenen alan ve sıcaklık bağımlılığı iyonlar için, τ_s ye bağlı olduğu gözlemlenmiştir. (N. Bloembergen ve L. O. Morgan 1961)

4.8. Paramanyetik Katyonlarının Sulu Çözeltilerde O¹⁷ NMR-Durulma Mekanizmaları Ve Su Moleküllerin İlk Koordinasyon Alandaki Ömürleri

Çözeltilere eklenen paramanyetik katyonların ilk koordinasyon küresi arasındaki su moleküllerinin değişim oranları tüm iyonlar için belirlenmiştir. Değişim için etkinleştirme enerjisi ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. T_1 ve birleştirme sabitleri, tespit edilmiştir. (T. J. Swift ve Robert E. Connick 1962)

4.9. Seyreltik Metanol Çözeltilerinde Cobalt (II) Ve Nikel (II) İyonların Proton Durulma Zamanı Ve İyon Değişimi

Seyreltik metanol içinde, -80 ° C ile + 80 ° C aralığında Co⁺⁺ ve Ni⁺⁺ iyonlarının proton nükleer durulmaları araştırılmıştır.

Sıcaklık farkının fazla olmasından dolayı iki ya da üç çözünmüş paramanyetik değişiklikler okundu.

Bu bağımlılık, kimyasal tepe kaymasına mukabil sıcaklık bağımlılığı, kantitatif paramanyetik iyon koordinasyon küresinde metanol moleküllerinin kimyasal değişimi açısından yorumlanabilir.

Bu baskın değişim süreci, tüm metanol molekülleri için geçerlidir. Yani, bir proton transferini nispeten önemsiz olduğu bulunmuştur. (Z. Luz ve S. Meiboom 1964)

4.10. Sulu Perklorat Çözeltilerinde Katyonların Hidrasyon Numaralarının NMR İle Belirlenmesi

Sulu çözelti içine eklenen paramanyetik bir iyon (oksijen-17) için NMR sinyalini saf H₂O'nun normal pozisyonundan kaydıracağı görülmektedir.

Tek bir oksijen-17 NMR sinyalini, saf H₂O normal konumundan kaydıracağı görülmektedir, paramanyetik iyon sulu çözelti içinde ilk koordinasyon küresinin ve çözücü arasındaki suyu hızlı bir şekilde değiştirir. Sistemdeki toplam (kararsız) su paramanyetik iyon konsantrasyonunun oranının bir ölçüsüdür.

Sulu çözeltilerde paramanyetik katyonların hidrasyon numaralarının belirlenmesi için bu molal kayma yönteminin uygulanmıştır. (Mohammed Alei Jr.ve Jasper A. Jackson 1964).

4.11. Donmuş İyonların Sulu Çözeltide Çözünen Dipolar Genişlemesinin EPR Spektrası

Dondurulmuş sulu çözeltiler Mn²⁺ ve Gd³⁺ 'ün EPR spektrası, bir dizi buzlu çözünen kristalizasyon ayrılımlarına neden olduğunu göstermektedir.

Paramanyetik iyonların konsantrasyonu dolayısıyla EPR spektrumları dipolar genişlemesi sonuçlarından kaynaklıdır ve dondurulmuş sulu Mn spektrumları önceden yayınlanan Mn²⁺ sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve yeniden yorumlanmıştır.

Ayrılımların etkisi deneysel olarak eylemsiz çözünen miktarlarının eklenmesi ile düşürülebilir sonucuna varılmıştır. David K.; Victor S. ve ark. (1965)

4.12. Nikel İyonun Kabuğunda Oksijen-17 Nükleer Manyetik Rezonans Çalışması

Oda sıcaklığında, sulu çözelti içinde Nikel iyon çözme kabuğu kullanılarak O^{17} 'nin nükleer manyetik rezonansı gözlemlendi.

A çekirdeğinde Nikel iyonu aşırı ince yapı etkileşimi eşleşmemiş elektronlar arasında $3,0 \times 10$ olarak saptanmıştır. Elektronun durulma zamanı, $T_{1e} = T_{2e}$ varsayılarak, $4,3 \times 10^{-12}$ sn. olarak saptanmıştır.

Hesaplamalar durulma olduğunu göstermektedir. Proton durulması dipolar bağlanma yoluyla gerçekleşir ise O^{17} çekirdeğinde, eşleşmemiş elektronlarla skalar bağlantı yoluyla gerçekleşir.

Sonuç olarak, önceki Ni-O mesafeden bağımsızdır, oysa ikinci durumda, hesaplanan elektron Durulma süresi, Ni - H mesafeye çok duyarlı olmakla birlikte, bağımsız bir şekilde aşırı ince birleştirme sabiti ile yönetilir. Ayrıca çekirdekleri ile eşleşmemiş elektronlar arasındaki dipol-dipol etkileşimi için elektronların boyuna ve enine durulma sürelerini birbirinden ayırmak gerekir. Hidrasyon kabuğu ve dökme arasında su değişiminin hızının sabit olduğu görülmüştür. $298 \text{ }^\circ\text{K}$ ($3,0 \pm 0,3$), 10^4 sn. ve aktivasyon $10,8 \pm 0,5$ kcal / mol entalpisi bulunmuştur. (Robert E. Connick ve Daniel Fiat 1966)

4.13. Oksijen-17 Ve Bakır (II) Sulu Çözeltilerde NMR'a, Kompleks İyonlar ($(H_2O)_4^{+2}$ Ve $Cu(En)_2(H_2O)_2^{+2}$ 'da EPR (Manyetik Rezonans) Çalışmaları

O^{17} 'nin Bulunması NMR spektrumunu genişletir ve Cu (II) tarafından kaydırılır. $(H_2O)_4^{2+}$ elektron spin spektrasının aşırı ince etkileşim yoluyla etkisi yoktur. Sonuçlar için antibağ moleküler orbital modeli açısından tartışılmıştır. (W. Burton Lewis, Muhammed Alei Jr. ve LO Morgan 1966)

4.14. Bakır (II) İyonu Ve 2,2'- Dipiridin

0 ° ila $60 \text{ }^\circ\text{C}$ su içinde, oksijen-17 çekirdeklerinin enine Durulma oranı diaquobis (2,2'-dipiridin) bakır(II) konsantrasyonu ile orantılı olarak artar.

Tris (2,2'-dipiridin) bakır (II) nitrat Çözeltilerin durulma oranı $T1 / T2$ paramanyetik elektron-oksijen-17 AL / H $1,0 \times 10^7$ düzeyindedir. Bu değer, iki su molekülü

pozisyonları işgal eden, daha önce diaquobis (etilendiamin) bakır (II) için rapor ile karşılaştırıldığında, büyük trans kompleksi çarpık Jahn-Teller uzun eksen üzerinde birbirine göre olan. 2,2'-dipiridin / bakır (II) oranı 2,00 olan, bir etanol-su camı x-bant EPR spektrumu gösterir.

25 ° C 'de, elektron spin - doku serbest süreleri ve belirgin yuvarlanan korelasyon alt limitleri tetraaquo (2,2'-dipiridin), diaquobis (2,2'-dipiridin için x-bant EPR spektrumları elde edilmiştir)

tris - (2,2'-dipyride) bakır (II) türleri. İkinci türün yuvarlanan ilgileşim zamanı olağandışı düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu olgu, sulu çözeltiler içinde, karmaşık iyonlarına dinamik Jahn-Teller etkisi daha önce tartışılan kavramını uygulamak için önerilmiştir. (Manfred Noack ve Gilbert Gordon 1968)

4.15. Nadir Toprak İyonları Ve Bu İyonların Kompleks Çözeltilerinin Nükleer Manyetik Rezonans Çalışmaları.(III. Oksijen-17 Ve Proton Sulu Çözelti Değişimleri)

Nükleer manyetik rezonans incelemesinde nadir toprak iyonlarının bulunduğu sulu çözeltileri kompleks türlerin doğada daha iyi bir fikir elde etmek için araştırılmıştır.

Oksijen-17 ve suyun proton kimyasal kayma değerleri ve onlara konsantrasyon etkileri ve anyonlar tartışılmıştır.

İşlem mekanizması henüz tam olarak bilinmemesine rağmen klorür de nadir toprak iyonunun bir dehidrasyona neden olmaktadır. Su kimyasal kayma verileri kullanılarak kompleks oluşumu için denge belirtilmiştir. (Jacques Reuben ve Daniel Fiat 1969)

4.16. Paramanyetik Durulma Ve Sulu Çözeltilerdeki Manganez İyon Komplekslerinin Frekans Ve Ligand Bağımlılığı

Çeşitli ligand ortamlarda manganez iyonu elektron paramanyetik rezonans şekilleri iki mikrodalga frekanslarında, 9,1 ve 35 GHz'de incelenmiştir.

İki mikrodalga frekanslarında hat şeklinde görülen farklılıklar, sıfır alan yarıлма (zfs) etkileşimi ve etkin ZFS büyüklüğünü modüle işlemler için korelasyon süreleri değerlendirilmiştir.

İncelenen tüm kompleksleri için korelasyon süreleri 3×10^{-12} - 9×10^{-12} sec Aralığında 300°K 'de idi. ZFS iki tiptir, durulma süreçleri ve statik ZFS ile ilgilidir. Geçici zfs ayırt edilir.

Bu bağlamda, bir katı-hal spektrumundan elde edilen durulma çalışmaları ve statik ZFS elde edildiği gibi, geçici ZFS arasında basit bir ilişki vardır.

Mn EDTA için büyük statik zfs bu kompleksin çözümüne EPR spectra için yarı-katı-hal özellikleri adı verilir. (George H.; John S. Leigh ve John E. Pearson 1971)

4.17. Solvent Değişimi Geçiren Paramanyetik İyonların Çözeltilerinde Çözücü Moleküllerinin Döner Çerçevesi Durulma Hızları

Teori döner çerçeve durulma oranı bağımlılığı için geliştirilmiştir.

$$R_{1\rho} = R_{1\rho}^\infty + S\rho^2 (R_2 - R_{1\rho}) \omega_1^{-2}, R_{1\rho}^\infty = R_{2s} + P_m r_m R_{2m} (R_{2m} + r_m)^{-1}, S\rho^2 = (R_{1m} + r_m) (R_{2m} + r_m)^{-1} \{ (R_{2m} + r_m)^2 + \Delta\omega_m^2 \}, R_{1m}, R_{2m}$$

Durulma oranları,

$\Delta\omega_m$ toplu ve koordineli kimyasal kayma

r_m : çözücü,

Saf çözücü toplamı: R_{2s}

Dış küre Durulma oranları

$P_m = (\text{koordine çözücü molekülleri}) \times (\text{metal iyonu molalite} / \text{çözücü molalite})$.

CH_3 ve kobalt (II) için veriler OD, nikel (II), CH_3CN ' ün $R_{1\rho}$ ölçümleri belirlenmesinde kullanılan özelliklerinden yararlanılır.

$\Delta\omega_m$. ikinci koordine solvent moleküllerinin sayısını belirlemek için kütle çözücü vardiya ile kombine edilebilir. (S Chopra, R.E.D McClung, R.B Jordan, 1974)

4.18. Su Çözeltilerine Eklenen Gd³⁺ İyonlarının Proton Manyetik Durulma Verilerinin Yorumlanması Ve Belirsizlikler

PH 'ı 5.5 ve sıcaklığı 5, 15 ve 25 ° C 'de, su çözeltisi içinde solvent proton spin - doku oranı 1 / T₁ ölçümlerini rapor edilmiştir.

Veri 50 MHz - 20 kHz Larmor frekans aralığı protona tekabül eden özellikle, 5 OE 12 Koe için, manyetik alan bir fonksiyonu olarak elde edildi.

Veri teori ile karşılaştırılmıştır ve tatmin edici bir uyum teorisinin parametre değerlerinin bir aralığı için elde edilebileceği gösterilmiştir. (Seymour H.; Koenig ve Michael Epstein ,1975)

4.19. Manyetik Alan Bağımlılık Solvent Proton Durulma Kaynaklı, Gd³⁺ Ve Mn²⁺ Kompleksleri

Su da çözünen paramanyetik iyonların etkisi, manyetik durulma oranı 1 / T₁'dir. Durulma oranı manyetik alan gücüne ve iyonların kimyasal ortamına bağlıdır.

Alan ile 1 / T₁ varyasyon, fizyolojik pH' a yakın ortamlarda Gd³⁺ ve Mn²⁺ iyonları için ölçülmüştür. Su' ya eklenen hidrat; EDTA (etilendiamintetraasetik asit) ve DTPA (dietilentriaminpentaasetik asit) ile şelatlanmış ve NMR görüntüsü alınmıştır. Hangi alan aralığında, 1 / T₁ in değiştirebilir gösterilmiştir. Bu iyonların potansiyel yarar ve sonuçları tartışılmıştır. (Seymour H.; Mercan Baglin ve Rodney D ,1984)

4.20. ¹⁷O Sulu Çözeltileri İçine, Eklenen Cu²⁺ İyonunun Nükleer Manyetik Rezonansının Jahn-Teller İncersiyonuna Etkisi Ve Durulma Oranları

Su moleküllerinin dinamiklerinin sulu çözeltilere eklenen Cu²⁺ ve O¹⁷ ile araştırılmıştır. Birçok sıcaklık ve manyetik alanlar üzerindeki NMR incelenmiştir.

Bu Jahn-Teller incersiyon etkisini göz ardı edildiği standart ifadeler, açıkça görülmektedir. Bu model Boyuna Durulma oranları ile tutarsız ise de deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gösterilmiştir. (D. Hugh Powell.; Lothar Helm ve André E. Merbach ,1991)

4.21. Mn Katkılı ZnO Yarıiletkenlerde Saf Paramanyetik Davranışları

Polikristal çinko oksitleri Mn katkılı ($Zn_{1-x}Mn_xO$) ile birlikte çökelme yöntemi ile sentezlenmiştir x 0.01 ile 0,1 arasında değişmektedir.

Raman spektroskopisi ZnO matris olarak Mn iyonlarının dahil edilmesi için bir gösterge olan ilave bir mod görünümünü gösterir. Manyetik özellikleri, elektron paramanyetik rezonanstır. (EPR) spektroskopisi ile incelenmiştir.

EPR spektrumları izole Mn iyonları için beklenen desen. Karşılıklı entegre EPR sinyalinin sıcaklığa bağlılığı için tipik bir paramanyetik davranışı gösteren bir Curie yasasını izler ($x \leq 0.05$.) (J. Alaria ve ark.,2006)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

MnF_2 ve ZnF_2 katı çözeltilerin paramanyetik duyarlılıkları sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür ve belirli bir iyon ile bağlantılı manyetik etkileşim enerjisi, para-manyetik komşularının sayısı ile orantılıdır varsayımı kanıtlanmıştır. (Lester C. Ve ark.1950)

Fe^{+++} , Mn^{++} , ve Gd^{+++} , gibi paramanyetik iyonların S spektroskopik durumları ve bu iyonlar gibi Cr^{+++} ve Cu^{++} iyonlarının etkin durumları arasında (su vermek kaydıyla) Spin-yörüngenin, proton durulma zamanının karesiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür. Co^{++} , Nd^{+++} , ve Dy^{+++} gibi iyonların, yaklaşık on kat daha az etkili olduğu görülmüştür. (Robert L. ve ark. 1952)

Sulu Paramanyetik İyon Çözeltilerinde Proton Spin durulma zamanının Frekans Bağımlılığı araştırılmıştır,

T_1/T_2 her bir iyon için aslında sabit iken, ilk iki iyonun frekansının düşürülmesiyle T_1/T_2 azaldığı gözlemlendi, T_1/T_2 anormal büyük çıkması yüksek frekansın etkisinin bir sonucu olarak görülmüştür. (Ions AW ve ark.,1957)

Paramanyetik iyonlarının sulu Çözeltilerinin Proton durulma zamanının Sıcaklık Bağımlılığı araştırılmıştır.

Paramanyetik iyonların sulu çözeltiler içinde, proton nükleer manyetik Durulma süreleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. T_1 ve T_2 'nin Sıcaklığa bağımlılığı dipolar etkileşim sıcaklık bağımlılığı ile açıklanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. (Robert A. Ve ark.,1959)

Sulu Çözeltilere eklenen Paramanyetik iyonlarının Proton Spin Durulması. Cr^{+++} , Mn^{++} , Ni^{++} , Cu^{++} ve Gd^{+++} iyonları için araştırılmıştır.

Büyük manyetik alanlarda Durulma süreleri, elektron spin durulma süreleri ve elektron-nükleer spin değişim sabitleri alana bağımlı olduğunu öne sürerek, düşük alan değerler temelinde beklenen daha kısa olduğu tespit edilmiştir. (Morgan L. O. ve Ark.,1959)

VO^{++} Çözeltilerinde paramanyetik durulma incelenmiştir. D. Kivelson tarafından yapılan hesaplamaların sonuçları ile 9.25 KMC de ve 24.3 KMC yapılan çizgi kalınlığı

ölçümlerinin sonuçlarını karşılaştırarak, mikro kristal modelinin geçerliliğini kanıtlanmıştır.(Rogers R. N. ve Pake G. E.,1960)

NMR-Durulma O^{17} Mekanizmaları Paramanyetik katyonlarının sulu çözeltilerde ve ilk koordinasyon alanda Su Moleküllerin Ömürleri araştırılmıştır

para-manyetik katyonların ilk koordinasyon küresi arasındaki su moleküllerinin değişim oranları tüm iyonlar için belirlenmiştir. Değişim için etkinleştirme enerjisi ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. (Swift T. J. ve Robert E., 1961)

Düşük konsantrasyonlarını ihtiva eden metanol içinde, hidroksil ve metil proton nükleer durulmaları Co^{++} ve Ni^{++} iyonları $-80^{\circ}C$ ile $+80^{\circ}C$ arasındaki araştırılmıştır.

Bakır Sulu Çözeltilerde Çizgi genişlikleri 0° ila $60^{\circ}C$ su içinde, oksijen-17 çekirdeklerinin enine Durulma oranı araştırılmıştır, Bu olgu, sulu çözeltiler içinde, karmaşık iyonlarına dinamik Jahn-Teller etkisi daha önce tartışılan kavramlara uygulamak için önerilmiştir. (Manfred N. ve Gilbert G.,1962)



KAYNAKLAR

AW Nolle ve LO Morgan (1957). Frequency Dependence of Proton Spin Relaxation in Aqueous Solutions of Paramagnetic J. Chem. Phys. 26, 642

D. Hugh Powell, Lothar Helm and André E. Merbach (1991). ^{17}O nuclear magnetic resonance in aqueous solutions of Cu^{2+} : The combined effect of Jahn-Teller inversion and solvent exchange on relaxation rates J. Chem. Phys. 95, 9258

George H. Reed, John S. Leigh Jr. and John E. Pearson (1971). Electron Paramagnetic Relaxation and EPR Line Shapes of Manganous Ion Complexes in Aqueous Solutions. Frequency and Ligand Dependence J. Chem. Phys. 55, 3311

J. Alaria , M. Bouloudenine , G. Schmerber , S. Colis , , A. Dinia ,P. Turek ve M. Bernard (2006). Nuclear magnetic relaxation and ionic solvation of $^{23}\text{Na}^+$ and $^{81}\text{Br}^-$ in aqueous mixtures of simple amides J. Appl. Phys. 99, 08M118

Jacques Reuben and Daniel Fiat(1969); Nuclear Magnetic Resonance Studies of Solutions of the Rare-Earth Ions and Their Complexes. III. Oxygen-17 and Proton Shifts in Aqueous Solutions and the Nature of Aquo and Mixed Complexes , J. Chem. Phys. 51, 4909

Lester Corliss, Yvette Delabarre ve Norman Elliott (1950), Paramagnetic Susceptibilities of Solid Solutions of MnF_2 and ZnF_2 , J. Chem. Phys. 18, 1256

L. O. Morgan and A. W. Nolle (1959), Proton Spin Relaxation in Aqueous Solutions of Paramagnetic Ions. II. Cr^{+++} , Mn^{++} , Ni^{++} , Cu^{++} , and Gd^{+++} .J. Chem. Phys. 31, 365

Manfred Noack ve Gilbert Gordon, (1968), Copper(II) Ion and 2,2'-Dipyridine, J. Chem. Phys. 48 , 2689

Mohammed Alei Jr.and Jasper A. Jackson(1964). NMR Determination of the Hydration Numbers of Cations in Aqueous Perchlorate Solution J. Chem. Phys. 40, 2686

N. Bloembergen and L. O. Morgan(1961), Proton Relaxation Times in Paramagnetic Solutions. Effects of Electron Spin Relaxation, J. Chem. Phys. 34, 842

Reuben ve Daniel Fiat J. (1969). Nuclear Magnetic Resonance Studies of Solutions of the Rare-Earth Ions and Their Complexes. III. Oxygen-17 and Proton Shifts in Aqueous Solutions and the Nature of Aquo and Mixed Complexes Jacques Chem. Phys. 51 , 4909

Robert A. Bernheim , Thomas H. Brown , HS Gutowsky ve DE Woessner (1959), Temperature Dependence of Proton Relaxation Times in Aqueous Solutions of Paramagnetic Ions J. Chem. Phys. 30 , 950

Robert E. Connick 1 ve Daniel Fiat (1966). Oxygen-17 NuclearMagnetic Resonance Study of the Hydration Shell of Nickelous Ion, J. Chem. Phys. 44 , 4103

Robert L. Conger ve PW Selwood (1952), Proton Relaxation in Paramagnetic Solutions. J. Chem. Phys. 20, 383

Robert T. Ross(1965). Dipolar Broadening of EPR Spectra Due to Solute Segregation in Frozen Aqueous Solutions ,J. Chem. Phys. 42, 3919

Rogers and G. E. Pake(1960). Paramagnetic Relaxation in Solutions of VO⁺⁺, J. Chem. Phys. 33, 1107

Seymour H. Koenig1 and Michael Epstein2(1975); Ambiguities in the interpretation of proton magnetic relaxation data in water solutions of Gd³⁺ ions J. Chem. Phys. 63, 2279

T. J. Swift and Robert E. Connick(1962) ,NMR-Relaxation Mechanisms of O¹⁷ in Aqueous Solutions of Paramagnetic Cations and the Lifetime of Water Molecules in the First Coordination Sphere J. Chem. Phys. 37, 307

W. Burton Lewis, Muhammed Alei Jr. ve LO Morgan,(1966).Magnetic-Resonance Studies on Copper(II) Complex Ions in Solution. II. Oxygen-17 NMR and Copper(II) EPR in Aqueous Solutions of Cu(en)(H₂O)₄²⁺ and Cu(en)₂(H₂O)₂²⁺, J. Chem. Phys. 45 , 4003

Yılmaz A., Zengin B., Korunur S. Ders notları, NMR kuramı

Z. Luz ve S. Meiboom (1964), Proton Relaxation in Dilute Solutions of Cobalt(II) and Nickel(II) Ions in Methanol and the Rate of Methanol Exchange of the Solvation Sphere, J. Chem. Phys. 40 , 2686

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Salih ÖNCÜ
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : 01.05.1985
Telefon : 5530321862
Faks :
e-mail : msoncu@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Bitirme Yılı
Lise	: Fatih lisesi , merkez ,diyarbakır	2002
Üniversite	: Harran üniversitesi, merkez, Şanlıurfa	2011
Yüksek Lisans	: Batman üniversitesi	2017

YABANCI DİLLER

İngilizce