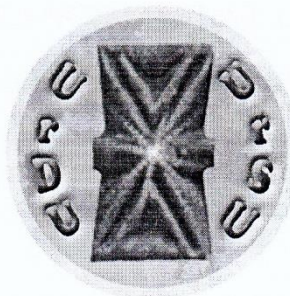


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI



Fizika-matematika fakulteti 401-fizika guruhi talabasi
Jumaboyev Bexzod Quronboy o'g'lining
5140200-fizika ta'lim yo'nalishi bo'yicha
bakalavr darajasini olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Mavzu: Magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o'rganilishi va qo'llanilishi.

Ilmiy rahbar:



dots. Ismoilov Sh.K

Urganch – 2016

1-ilova. Bitiruv malakaviy ishining titul varagʻi

**OʻZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA OʻRTA MAXSUS TAʼLIM
VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası**

Magnit rezonansi xodisasining ochilishi, oʻrganilishi va qoʻllanilishi

Bajaruvchi: _____ Jumaboyev B.Q.

Ilmiy rahbar: _____ dots. Ismailov Sh.

Urganch shahri – 2016 yil

URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika-matematika fakulteti

Fizika kafedrası

**BITIRUV MALAKAVIY ISHINI BAJARISH BO‘YICHA TOPSHIRIQLAR
REJASI:**

Talaba Jumaboyev Bexzodga Universitet rektorining 2015 yil 3 noyabrda chiqarilgan 199 – T sonli buyrug‘i bilan bitiruv malakaviy ish bajarish uchun

1. “Magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o‘rganilishi va qo‘llanilishi” mavzusi tasdiqlangan.

2. Kafedra majlisining qaroriga binoan **dots. Ismailov Sh. bitiruv malakaviy ishini bajarishga rahbar qilib tayinlangan.**

3. Bitiruv malakaviy ishining tarkibiy tuzilmasi: **kirish qismi, ikki bob, birinchi bob ham ikkinchi bob ham uch rejadan iborat.**

4. Bitiruv malakaviy ishi uchun ma’lumotlar: **ilmiy jurnallar, kitoblar va internet ma’lumotlaridan olinadi.**

5.Bitiruv malakaviy ishga _____
_____ ilova qilinadi.

Bitiruv malakaviy ishini bajarish jadvali

№	Loyiha bosqichlarining nomi.	Nazorat vaqti
1	Mavzuni kafedrada tasdiqlash.	20.11.2015
2	Malakaviy bitiruv ishi topshirig'i mavzuni va hajmini aniqlash.	10.12.2015
3	Internetdan Magnit rezonansiga oid materiallar to'plash.	12.01.2016
4	Mavzu bo'yicha malakaviy bitiruv ishi mazmuni, hajmi va tartibini aniqlashtirish, xamda reja tuzib chiqish	29.01.2016
5	Malakaviy bitiruv ishi loyihasining tuzilishini dastlabki loyixasini tasdiqlash	11.02.2016
6	Barcha eskizlarni to'la tasdiqlash va malakaviy bitiruv ishi loyihasi nazariy va amaliy qismlari tasdiqlash	07.03.2016
7	Magnit rezonansi va uning ochilishi, amaliyotda qo'llanilishiga doir ma'lumotlarni tahlil qilish	28.03.2016
8	Malakaviy bitiruv ishi loyihasini bajarishning borishi nazorati va uning nazariy qismining kafedradagi muhokamasi	28.04.2016
9	Kafedra mudiri va rahbar tomonidan tugallangan BMI ni ko'rikdan o'tkazish	16.05.2016
10	Tugallangan ishni malakaviy bitiruv ishi loyihasi rahbar xulosasi va uni himoyaga tavsiya bilan birgalikda kafedraga taqdim qilish	03.06.2016

Bitiruv malakaviy ishi rahbari: _____ dots. Ismailov Sh. K.

Bajaruvchi talaba: _____ Jumaboyev B. Q.

201__ yil "___" _____

Topshiriqlar rejasi va jadvali kafedra majlisida 201__ yil "___" _____ tasdiqlandi
(___ – sonli bayonnoma)

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.
(imzo)

Urganch davlat universiteti
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası

Bitiruv malakaviy ish 2016-01-05-sonli tartib raqam bilan qayd qilindi.

Bitiruv malakaviy ishni bajaruvchining ismi-sharifi: Jumaboyev Bexzod
Quronboy o‘g‘li

Bitiruv malakaviy ishning mavzusi: “Magnit rezonansi xodisasining
ochilishi, o‘rganilishi va qo‘llanilishi”

Ilmiy rahbar (maslahatchi) ning ismi-sharifi: dotsent Ismoilov Sh.K

Bitiruv malakaviy ish kafedraning 2016 yil ____ iyunda o‘tkazilgan majlisi
qaroriga muvofiq DAK majlisida himoya qildi.

Bitiruv malakaviy ishga taqrizchi qilib Bobojonov K.A. tayinlandi.

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.

Kafedra majlisining qaroriga binoan bitiruv malakaviy ishni DAK majlisida
himoya qilish bo‘yicha tavsiyasiga roziman.

Fakultet dekani: _____ dots. Xujamov J.U.

Urganch Davlat Universiteti
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası

5140200 – Fizika bakalavr ta’lim yo’nalishi

Tasdiqlayman
fakultet dekani
dots. Xujamov J.U.

“ ____ ” _____ 2015 y.

BITIRUV MALAKAVIY ISH BO‘YICHA TOPSHIRIQ

Talaba Jumaboyev Bexzod Quronboy o‘g‘li

1. Ishning mavzusi: “Magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o‘rganilishi va qo‘llanilishi” mavzusini

Universitet rektorining 2015 yil 3 noyabrda chiqarilgan 199 – T sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan.

2. Ishni topshirish muddati: 3 iyun 2016 y.

3. Mavzu bo‘yicha dastlabki ma’lumotlar beruvchi adabiyotlar ro‘yxati

1. Парселл . Э “Электричество и магнетизм” , Берклеевский курс физики, Т.2

2. Тамм И. Е “Основны теории электричества” М: Мир Рубл., 1979

3. А.В Кессених “Открытие исследования и применения магнитного резонанса” УФН Т.179.N7. 2009 г.

4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц “Электродинамика сплошных сред” М.: 1959 г.

5. Хеберлен У, Меринг М «ЯМР високого разрешения в твёрдых телах» М.: Мир, 1980 .

6. Г. Копфепман «Ядерные моменты » М.: ИЛ, 1960

4. Ishning maqsadi: “Magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o‘rganilishi va qo‘llanilishi” ni o‘rganish.

5. CHizma materiallar ro‘yhati: _____

6. Maslahatchilar: _____

Bo‘limlar	Maslahatchi F.I.SH.	Imzo, sana	
		Topshiriq berdi	Topshiriq qabul qildi
Kirish	dots. Ismailov Sh		
1.1.	dots. Ismailov Sh		
1.2.	dots. Ismailov Sh		
1.3.	dots. Ismailov Sh		
2.1.	dots. Ismailov Sh		
2.2.	dots. Ismailov Sh		
2.3.	dots. Ismailov Sh		
Xulosa	dots. Ismailov Sh		

Ishga taqriz yozuvchining F.I.SH., ilmiy darajasi, unvoni: Bobojonov K.A

7. Ilmiy rahbar: dots. Ismailov Sh _____
(F.I.SH.) (imzo)

BMI bajaruvchi talaba: Jumaboyev Bexzod _____
(F.I.SH.) (imzo)

Kafedra mudiri: dots. Aminov U.A. _____
(F.I.SH.) (imzo)

Mundarija

Kirish	9
I.Bob. Magnit rezonansi hodisasining ochilishi va o'rganilishi.	13
1.1. Elektron paramagnit rezonans hodisasi.	13
1.2. Yadroning magnit momentlari va yadroviy magnit rezonansi.	22
1.3.Magnit rezonans hodisasining eksperimental metodlari.	36
II.Bob. Magnit rezonans hodisasining qo'llanilishi.	39
2.1 Magnit rezonans hodisasining amaliy masalalarni yechishda qo'llanilishi.	39
2.2.Tibbiyotda magnit rezonans mikroskopiyasi.	42
2.3 Magnit rezonansning zamonaviy tibbiyot meditsinasida qo'llanilishi.	44
Xulosa.	48
Foydalanilgan adabiyotlar.	50

Kirish

Ishning dolzarbligi: Keying yillarda keng qo'llanilayotgan metodlardan biri bu, magnit rezonansi deb ataladigan hodisaga asoslangan metoddir. Elektron paramagnet rezonans (EPR) va yadroviy magnit rezonans (YAMR) kimyoviy tekshirishlarda moddalarning molekulyar va molekula ichidagi tuzilmalarni o'rganishda keng qo'llaniladi. Magnit rezonans hodisasi va bu hodisa yordamida ishlaydigan qurilmamalarni keng jamoatchilikka va ilm fan sohalariga tadbiq qilish va yoshlarimizni shu sohaga bo'lgan qiziqishini oshirish mavzuning dolzarbligidir, zero prezidentimiz Islom Karimov ta'kidlaganlaridek *“Vatan kelajagi, avvalo, farzandlarimizning unib – o'sib, ulg'ayib, qanday inson bo'lib hayotga kirib borishiga bog'liqdir”*[1].

Ishning maqsadi va vazifalari: Magnit rezonans – moddaning ma'lum bir uzunlikdagi elektromagnit to'lqinlarni tanlab yutishi. Bunga sabab – elektronlar yoki atom yadrolarining magnit momentlari o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Moddalarning turi va xususiyatlariga ko'ra, magnit rezonans hodisasi, asosan, 4 ga bo'linadi: yadroviy magnit rezonans (to'lqinlar amplitudasining kuchli kattalashishi), elektron paramagnet rezonans, ferromagnet rezonans va antiferromagnet rezonans; a) yadroviy Magnit rezonansda elektromagnit to'lqinlarning yutilishi (nisbatan juda kuchsiz yutilishi) radiochastotali magnit maydoni ta'siridagi kuchli o'zgarmas magnit maydonida kuzatiladi. Atom yadrosi magnit "tashuvchi" bo'lib xizmat qiladi va xossalari ko'rilayotgan hodisaning rezonansligini belgilaydi; b) radiochastotali elektromagnit maydon energiyasining paramagnet moddalarda tashqi magnit maydon ta'sirida rezonans yutilishi elektron paramagnet rezonansdir; v) turli chastotali ikki o'zgaruvchi elektromagnit maydonning moddaga bir vaqtda rezonans ta'sirida juft rezonans hodisasi ro'y beradi. Paramagnet kvant kuchaytirgichlarning ishi shu hodisaga asoslangan, ferromagnet rezonans ferromagnitlardagi elektron magnit rezonans deb ham ataladi. Ferromagnet modda o'ziga xos magnitlanish xususiyatiga ega, ya'ni ferromagnitda tashqi magnit maydon yo'q holda ham ichki magnit maydon bo'ladi. Ferromagnet modda elektronlari o'rtasidagi ta'sir kuchlari shunchalik katta

boʻladiki, xatto issiklik harakati natijasida elektronlar spinining harakat yoʻnalishi ham oʻzgarmaydi. Bu hodisaga, asosan, oʻta yuqori chastotali asboblari (ferrit generatorlar va kuchaytirgichlar) yasaladi; g) antiferromagnit rezonans elektromagnit energiya antiferromagnitda rezonans yutilishidir. Bu hodisa yuqori chastota diapazoni (odatda, mm li toʻlqinlar diapazoni) da kuzatiladi. Antiferromagnit rezonans hodisasini kuzatishda radiospektroskoplardan foydalaniladi.

Elektromagnit nurlanish kristallga tushib, uning ichiga kira borganda barcha takroriyliklarda nurlanishning yutilishi yuz beradi, ammo muayyan takroriyliklarda yutilish juda kuchli boʻladi, yani yutilishning keskin choʻqqisi vujudga keladi. Bu hodisa rezonans hodisasi deyiladi. Agar rezonans nurlanishining atomlar yadrolari spin magnit momentlari bilan oʻzaro taʼsiri oqibatida yuz bersa, uni **yadroviy magnit rezonans** deyiladi. Shuningdek kristall panjarasidagi kirishma atomlarining elektronlari spini bilan nurlanish oʻzaro taʼsirlashganda yuz beradigan rezonansni **elektron – paramagnit rezonans** yoki **elektron – spin rezonans** deyiladi.

Agar elektromagnit nurlanish energiyasi erkin elektronlar (yoki kovaklar) yutayotgan boʻlsa, bundagi rezonans **tsiklotron** yoki **diamagnit rezonans** deb ataladi.

Sanab oʻtilgan rezonanslardan yana boshqa murakkab oʻzaro taʼsirdan kelib chiqadigan rezonanslar ham bor. Ayrim rezonans hodisalari ustida toʻxtalamiz.

Mikroskopik obektlarning strukturasi esa magnit tomografiyasi (magnit rezonans introskopiya – MRI) – MPT metodi bilan aniqlanadi. Zamonaviy meditsinada MRT metodini boshqa metodlar bilan almashatirib boʻlmaydi. Bu hodisaga asoslangan metodlardan yana biri bu magnit rezonans kuch atom mikroskopiyasidir.

Tabiatda uchraydigan koʻpgina zarralar (leptonlar, elektron ham, adronlar, hususan proton va neytronlar,) atom yadrosida, erkin atomlar va baʼzi molekulalar hususiy harakat miqdori momenti (spin) ga ega boladilar. Bunday zarralar odatda spinlar deb aytib ketilaveradi. Plank doimiysi h birliklarida spin soni s yoki

$I \geq \frac{1}{2}$ kabi aniqlanadi.

Bu zarralarning magnit dipol momentlari μ_s yoki μ_l ularning spin soni S , $\hbar$ va giromagnit nisbat γ_s yoki γ_e orqali ifodalanadi

$$\mu_s = \gamma_s \cdot s \cdot \hbar$$

H_0 magnit maydonida s spinga ega o'zaro ta'sirlashmaydigan zarralar sistemasida $2 \cdot s + 1$ ta energetik sathlar mavjud bo'ladi. Chunki spin tashqi maydonga parallel qilib olingan "kvantlash o'qi" ga shunga proeksiyaga ega bo'ladi ($-S \leq S_z \leq S$).

Kvant o'tishlarda magnit moment yo'nalishi (orientatsiya) $\Delta m = \Delta S_z = \pm 1$ ga o'zgaradi. Bu o'tishlar $\omega_0 = \gamma_s \cdot H_0$ chastata bilan aylanmayotgan elektromagnit maydon magnit komponentasi bilan bog'liq energetik sathlar energiyasi qiymati zarralar impulsi va koordinatasiga bog'liq bo'lmaydi, lekin zarralar spin koordinatali va tashqi va loqal maydonlar harakteristikasiga bog'liq bo'ladi. Bu i va j spinga ega bo'lgan turli zarralar ta'sir energiyasi ham shu spin koordinatasiga bog'liq bo'ladi. Spinga ega zarralarning energiya operatori quyidagi ko'rinishga ega:

$$\hat{H}(S_{iz}, S_{iy}, S_{ix}, S_{jz}, S_{jy}, S_{jx} \dots) = \sum \hat{W}(\vec{S}_i, \vec{S}_j \dots)$$

Magnit (paramagnit, ferromagnit, va boshqalar) rezonans energiyaning nurlanayotgan yoki yutilayotgan chastataga bog'lanishi bo'lib, elektromagnit maydon magnit komponentasining ta'sirida spin orientatsiyasi (yo'nalishi) o'zgarishi natijasidir.

Tadqiqot ob'ekti va predmeti: Tadqiqot ob'ekti va predmeti bo'lib chet ellarning va Respublikamizning nufuzli ilmiy jurnallarida hamda global internet tarmog'ida chop qilingan magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o'rganilishi va qo'llanilishi to'g'risidagi ilmiy adabiyotlar va ilmiy maqolalar keng va batafsil qarab chiqilgan.

Tadqiqot usuli. Tadqiqot usuli bo'lib keng miqyosdagi turli xil axborot

vositalaridan foydalanib magnit rezonansi xodisasining ochilishi, o'rganilishi va qo'llanilishi tadqiq iborat. Bu yerda katta miqdordagi ilmiy maqola va ilmiy adabiyotlar qarab chiqiladi.

Mavzuning ahamiyati. Meditsina va ilm – fan sohasida magnit rezonansi hodisasi asosida ishlaydigan qurilmalar va ularning shu turdagi boshqa qurilmalar bilan almashtirib bo'lmasligi bu yo'nalishning ahamiyatini belgilaydi. MRT lar yordamida bemorlarga tashxis qo'yish, bemor xaqida to'g'ri va aniq ma'lumotlar olish imkonini beradi. Bundan tashqari moddalarning tuzilishi xossalarini batafsil o'rganishda magnit rezonans spektroskopiyasidan keng foydalaniladi.

Men ushbu bitiruv malakaviy ishimda ushbu hodisaning fizik asoslari ochilish tarixi, va uning amaliyotda qo'llanilishini adabiyotlar asosida taxliliy o'rgandim. Bu hodisaning hozirgi zamon ilgor texnikasida ahamiyatini boshqa hodisalar bilan taqqoslash mumkin emas.

Masalan oddiy tibbiyotdagi MRT (magnit rezonans tomografiya) usulining tibbiy tekshiruvlarda ahamiyatini aytishning o'zi yetarli. Shu nuqtai nazardan o'rganilayotgan hodisa dolzarb hisoblanadi.

I BOB. MAGNIT REZONANSI XODISASINING OCHILISHI VA O'RGANILISHI.

1.1 Elektron paramagnit rezonans hodisasi.

Oldin qayd qilinganidek magnit rezonansi bu magnit maydon ta'sirida spin orientatsiyasining rezonans o'zgarishi va natijada energetik sathlarning ajralishi xodisasi hisoblanadi. Energiya sathlarining bu ajralishi elektronlar va yadrolar spinlarining magnit maydon bilan o'zaro ta'siri natijasida sodir bo'ladi. Shuningdek bunday ajralish shu zarralar momentlarining elektr kvadrupol ta'sirida ham sodir bo'lishi mumkin.

Elektron – paramagnet rezonans. Elektron spini doimiy magnit maydonda ikkita sathga parchalaladi, ular orasida o'tishlar imkoni bor.

Magnit maydon yo'qligida elektronlar spini doimiy magnit maydonda ikkita sathga parchalanadi, ular orasida o'tishlar imkoni bor.

Magnit maydon yo'lidagi elektronlar spinlari fazoda tartibsiz yo'nalgan va yig'indi magnit moment nolga teng. Modda namunasi doimiy magnit maydonda joylashganda spinlar maydon bo'ylab yoki maydonga qarshi yo'nalgan bo'ladi. Spinning magnit maydoniga parallel yo'nalishi energiya jihatidan antiparallel yo'nalishga nisbatan qulay bo'lganligi sababli elektronlar spinlarining ko'p qismi magnit maydon bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. Oqibatda induksiyalangan magnitlanish vujudga keladi, magnitlanish vektori magnit maydon bo'ylab yo'nalgan bo'ladi, yani Pauli paramagnetizmi paydo bo'ladi. Qo'shimcha yuqori takroriylikli maydon, muayyan takroriylikda, maydonga parallel spinli elektronlarni antiparallel yo'nalishli holatga o'tkazadi, demak, yuqori takroriylikli elektromagnit maydon energiyasi kuchli yutiladi **elektron paramagnet rezonans** hodisasi yuz beradi.

Elektron – paramagnet rezonans yuz berishi uchun kristalda spinlari juftlanmagan elektronlar bo'lishi shart. Masalan, temir atomida elektronlar ichki qobig'i to'lmagan va juftlanmagan spinlar mavjud. Bunday atomlarda Elektron – paramagnit rezonansni yaxshi kuzatish mumkin. Agar yarim o'tkazgich kristalida o'tish elimentlari (Fe, Co, Ni) ning atomlari mavjud bo'lsa, Elektron – paramagnit

rezonans usulida ularning $10^{11} - 10^{12} \text{ sm}^{-3}$ chamasidagi miqdorini aniqlab olish mumkin.

Magnit rezonans hodisalaridan yana biri tsiklotron (diamagnit) rezonans hodisasidir. Kuchli magnit maydonida erkin elektronlar yoki kovaklar maydon atrofida aylanma harakat (pretsessiya) qiladi. Agar bu harakat takroriyligi (tsiklotron takroriylik) namunadan o'tkazilgan elektromagnit nurlanish takroriyligiga teng bo'lsa, nurlanish kuchli darajada yutiladi.

Tsiklotron rezonans hodisasi. Bu hodisa klassik fizika nuqtai nazaridan kuchli deb hisoblangan ($\mu B \gg 1$) va kvantlanish e'tiborga olinmaydigan magnit maydonida yuz berad. Uning qisqacha bayoniga to'xtalsak.

Magnit maydon elektron harakatining unga tik tashkil etuvchisiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli elektronning magnit maydonga tik tekislikdagi harakatini qarasak, u magnit maydon atrofida

$$r = \frac{m^* v_{\perp}}{e \cdot B} = \frac{v_{\perp}}{\omega_c} \quad (1.1.1)$$

radiusli aylana bo'ylab harakat qilad. Bu yerda $\omega_c = \frac{eB}{m^*}$ **tsiklotron chastata** deyiladi. Shu bilan bir vaqatda elektron magnit maydon yo'nalishida ilgarilanma harakatini ham davom ettiradi.

Agar kuchli $\vec{B}$ magnit maydondagi o'tkazgichdan $\omega_c = \omega$ takroriylik elektromagnit nurlanish o'tayotgan bo'lsa, nurlanish energiyasi hisobiga elektron tezlashadi, binobarin nurlanish kuchi darajada yutiladi. Ana shu xodisa **tsiklotron rezonans** deyiladi. Uning yuz berish shartlari

$$\mu B \gg 1 \quad \text{va} \quad \omega_c = \omega \quad (1.1.2)$$

Birinchi shartdan $\omega_c = \frac{eB}{m^*} \gg \frac{1}{\tau}$ yoki $\omega_c \tau \gg 1$ bo'lishligi kelib chiqadi,

ikkinchi shartdan esa, skalyar effektiv massasini toppish mumkin:

$$m^* = \frac{eB}{\omega} \quad (1.1.3)$$

Ellipsoidal energiya zonalari holida m_1, m_2, m_3 massalarni aniqlash uchun kuchli yutilish kuzatiladigan uchta $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ nurlanish takroriyliklari topiladi, ular aniqlanayotgan massalar bilan quyidagicha bog'langan:

$$\omega_1 = \frac{eB}{\sqrt{m_2 m_3}}; \omega_2 = \frac{eB}{\sqrt{m_1 m_3}}; \omega_3 = \frac{eB}{\sqrt{m_1 m_2}} \quad (1.1.4)$$

Ravshanki, bu uch tenglikdan m_1, m_2, m_3

Magnit maydonda joylashgan paramagnit zarralarga ega bo'lgan moddaning elektromagnit to'lqin energiyasini rezonans ravishda yutish hodisasi elektron – paramagnet rezonans deb nomlanadi. Tashqi maydon $\vec{H}$ ta'sirida yig'indi spini S ga teng bo'lgan zarra $2S+1$ ta sathga ajratadi. Sathlar orasidagi energiya farqi

$$\Delta E = 2\mu_B H \quad (1.1.5)$$

Darhaqiqat, erkin elektron uchun $S = \frac{1}{2}$, $\mu = g_s \mu_B \mu_s$. Bunda $g = 2,0023$ (erkin elektron uchun) va $\mu_s = \pm \frac{1}{2}$. Demak, elektron $E_1 = -\frac{1}{2} g_s \mu_B \mu_s$, $E_2 = \pm \frac{1}{2} g_s \mu_B \mu_s$ energiyalarni qabul qila oladi. Unda

$$\Delta E = E_2 - E_1 = g_s \mu_B H = 2\mu_B H \quad (1.1.6)$$

Elektromagnit to'lqin energiyasi kvant uchun

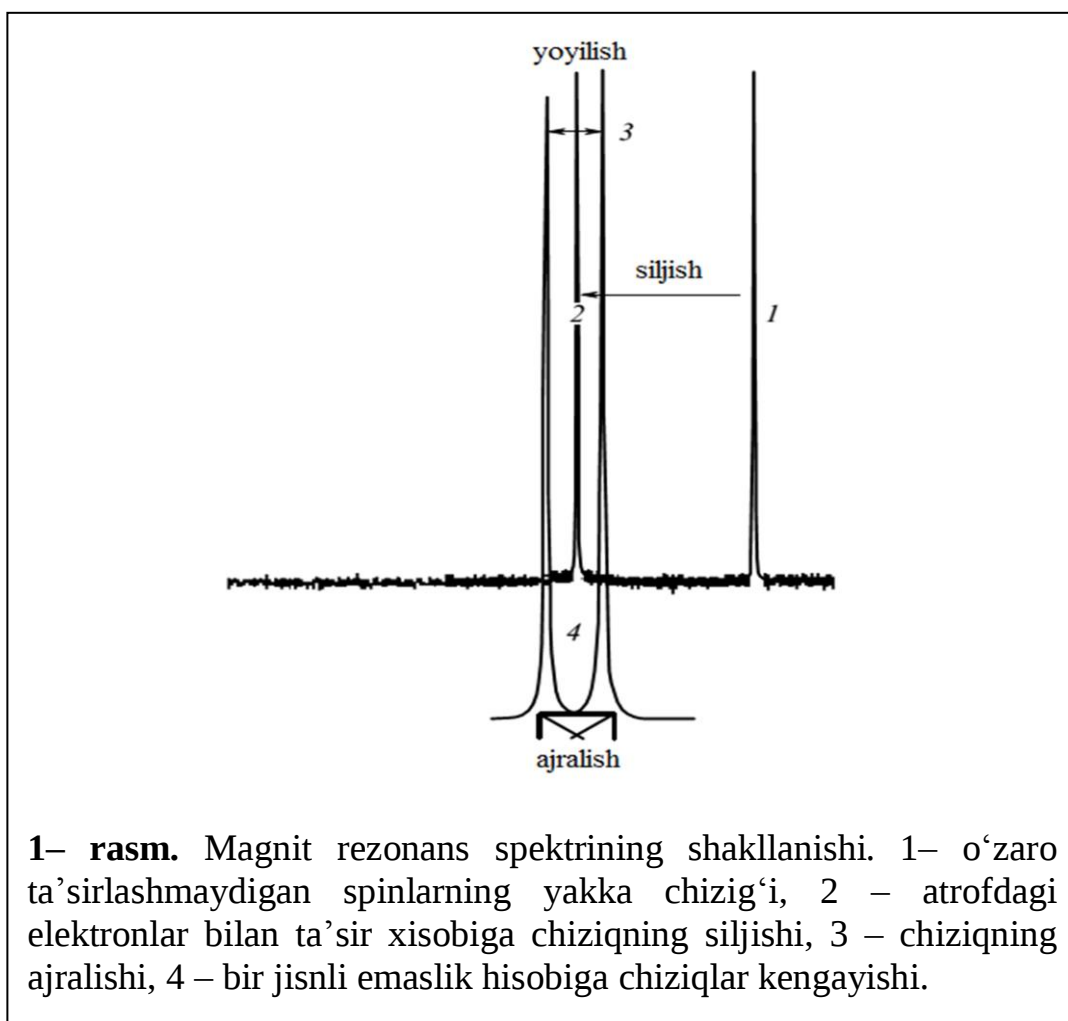
$$\hbar\omega = \Delta E = g\mu_B H \quad (1.1.7)$$

Shart bajarilganda kuchli yutilish kuzatiladi. Bu hodisa yordamida metallardagi o'tkazuvchan elektronlarning spinlari orientatsiyasini, nuqsonlarda boshqa hodisalarni o'rganish mumkin.

Spin kichik satxlari energiyalaridagi farq bu sathlarning zarralar bilan to'lishida farqlarning bo'lishiga (polarizatsiya) olib keladi va bu esa o'z navbatida mikroskopik paramagnit moment yuzaga keltiradi.

Rezonans nurlanish chastatasini o'zgartira borib, *rezonans chastata* chastata yaqinida yoki shu chastata funksiyasi – taxlili (yoyilmasi) yaqinida sodir bo'ladi.

Natijada 1 – rasmdagi kabi magnit rezonans chizig‘i yoki magnit rezonans spektrining bir nechta chiziqlari xosil bo‘ladi. Ko‘pgina paramagnit rezonanslarda chiziq nisbiy kengligi $\frac{\delta \cdot \omega}{\omega_0}$ juda kichik bo‘ladi (10^{-9} gacha) va paramagnit spektr ajralishi yaqqol ko‘zga tashlanadi. Bu spinlarning “panjara” bilan kuchsiz bog‘lanishi natijasidir. Shu bilan birga spin – gamiltoniyani parametrlari spin bilan tashqi muxit ta’siriga bog‘liq bo‘lib u muhitdagi spektral strukturaviy bog‘lanishlarni o‘zida aks ettiradi. Bu esa bir biriga juda yaqin va o‘xshash spin chiziqlarini farqlash imkonini beradi.



Eksperimentator magnit rezonans sharti bajarilishiga erishishi uchun qutblovchi va uyg‘otuvchi tashqi maydon parametrlarini o‘zgartira boradi. Bu

parametrlar maydon kuchlanganligi (induktsiya), chastatasi (yoki fazasi) ning vaqt o'tishi bilan tebranishidir. Shu yo'l bilan rezonans chiziqlarining intensivligi, chastatasi va kengligini o'zgartirish mumkin. Bu o'zgarishlarni shu tur spinli shu ob'ektda o'zgarish qilmasdan amalga oshirish mumkin. Bunda rezonansning uyg'onish shartlari o'zgaradi xolos (aylanuvchi sanoq sistemasidagi rezonans namuna aylanib turadi ikkilangan rezonanslar va hakazo).

Aloxida yakkalangan spin yoki o'zaro ta'sirlashuvchi spinlar sistemasi modda strukturasini aniqlashda zont vazifasini o'tashi mumkin. Spin – gamiltoniyanlar tipi va simetriyasi spinni o'z ichiga oluvchi molekula va kristallar tuzilishiga bog'liq bo'ladi. Masalan chiziqlar soni yoki chiziqlar guruhi soni spindagi ekvivalent bo'lmagan spin holatlari soni bilan belgilanadi. Agar spinlar bir xil va ularning atrof muhit bilan ta'sirini hisobga olmaslik mumkin bo'lsa u holda $\vec{H}_0$ maydonda Zeeyman gamiltoniyanini deb atalgan qismi

$$\hat{H} = -\vec{\mu}_s \cdot \vec{H}_0 \quad (1.1.8)$$

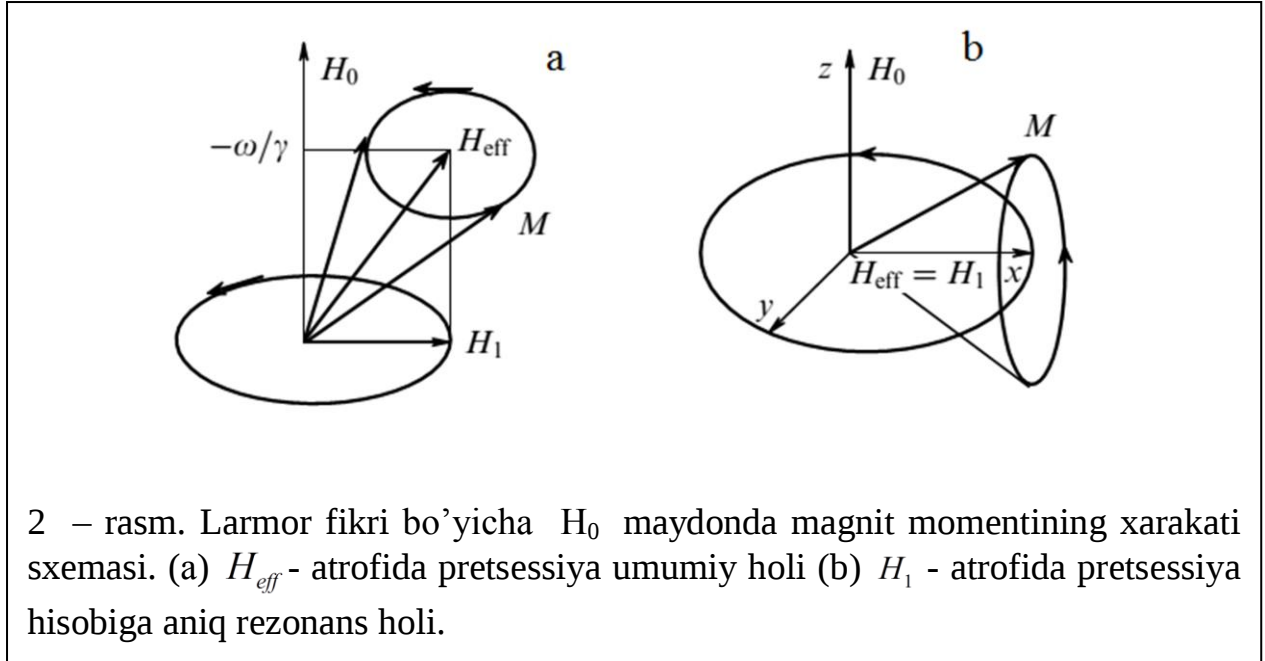
qoladi va $\omega_0 = \gamma \cdot H_0$ chastataga ega magnit rezonans chizig'i qoladi (1 – rasmda 1 – egri chiziq). Agar qo'shimcha ta'sir mavjud bo'lsa, magnit rezonansning qo'shimcha chiziqlari paydo bo'ladi. Spinlarning atrof muhit bilan ta'siri (masalan elektron qobiqdagi elektronlar, tashqi elektr va magnit maydon bilan) rezonans chizig'ining siljishiga olib keladi (1 – rasmdagi 2 – egri chiziq). Spinning boshqa spinlar bilan ta'siri esa rezonans chizig'ining ajralishiga olib keladi (1 – rasmdagi 3 – egri chiziqlar). Ba'zi bir vaqt bo'yicha o'zgaruvchi ta'sirlar chiziqlarning relaksatsion kengayishiga olib keladi (1 – rasm 4 – egri chiziq).

Rezonans spektridagi turli chiziqlar ekvivalent bo'lmagan spinlarga mos keladi. Juda qisqa vaqt “yashovchi” va bir biriga o'tib turuvchi holatlarga bitta chiziq mos keladi. Kimyoviy almashinuvning qo'shilishi yoki spin relaksatsiyasi uchinchi chiziqlarning qayta qo'shilishiga olib kelishi mumkin.

Magnit rezonansning mikroskopik namoyon bo'lishida Larmor teoremasi muhim ro'l o'ynaydi. Bu teoremaga asosan L – mexanik va M – magnit momentga ega sistemaning z o'qi yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan H maydondagi o'zini

tutishi, $H = 0$ holda z o'qi bo'ylab $\omega_0 = \gamma \cdot H_0$ chastata bilan (Larmor chastatasi) aylanishiga to'la mos keladi. Bunda $\gamma = \frac{M}{L}$ giromagnit nisbat deb yuritiladi.

Impuls momentining saqlanish qonuni natijasi sifatida bu teorema mikroskopik



effektlar uchun ham bajariladi. z o'qi bo'ylab aylanuvchi sanoq sistemasiga o'tish ω_0 / γ maydonning paydo bo'lishiga ekvivalent bo'ladi (2 – rasm).

Relaksatsion effektlarni hisobga olgan holda Larmor teoremasining manosini (giromagnit effekt) ushbu F.Blox tenglamasi ifodalaydi.

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma [\vec{M} \times \vec{H}] - \frac{\vec{M}_z - \vec{M}_0}{T_1} - \frac{\vec{M}_\perp}{T_2} \quad (1.1.9)$$

$\vec{M}_z$ va $\vec{M}_\perp$ – yadroviy magnitlanish vektorining mos ravishda bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari $\vec{M}_0$ - mikroskopik magnit momentning issiqlik muvozanat qiymati. T_1 va T_2 - bo'ylama va ko'ndalang relaksatsiya vaqtlari (1.1.9) tenglamani aylanuvchi sanoq sistemasida yozish qulay (ASS).

ASS da ω chastata bilan aylanuvchi H_1 amplitudali va effektiv qiymati H_{eff} – bo'lgan maydon

$$H_{eff} = \sqrt{\left(H_0 - \frac{\omega}{\gamma}\right)^2 + H_1^2} \quad (1.1.10)$$

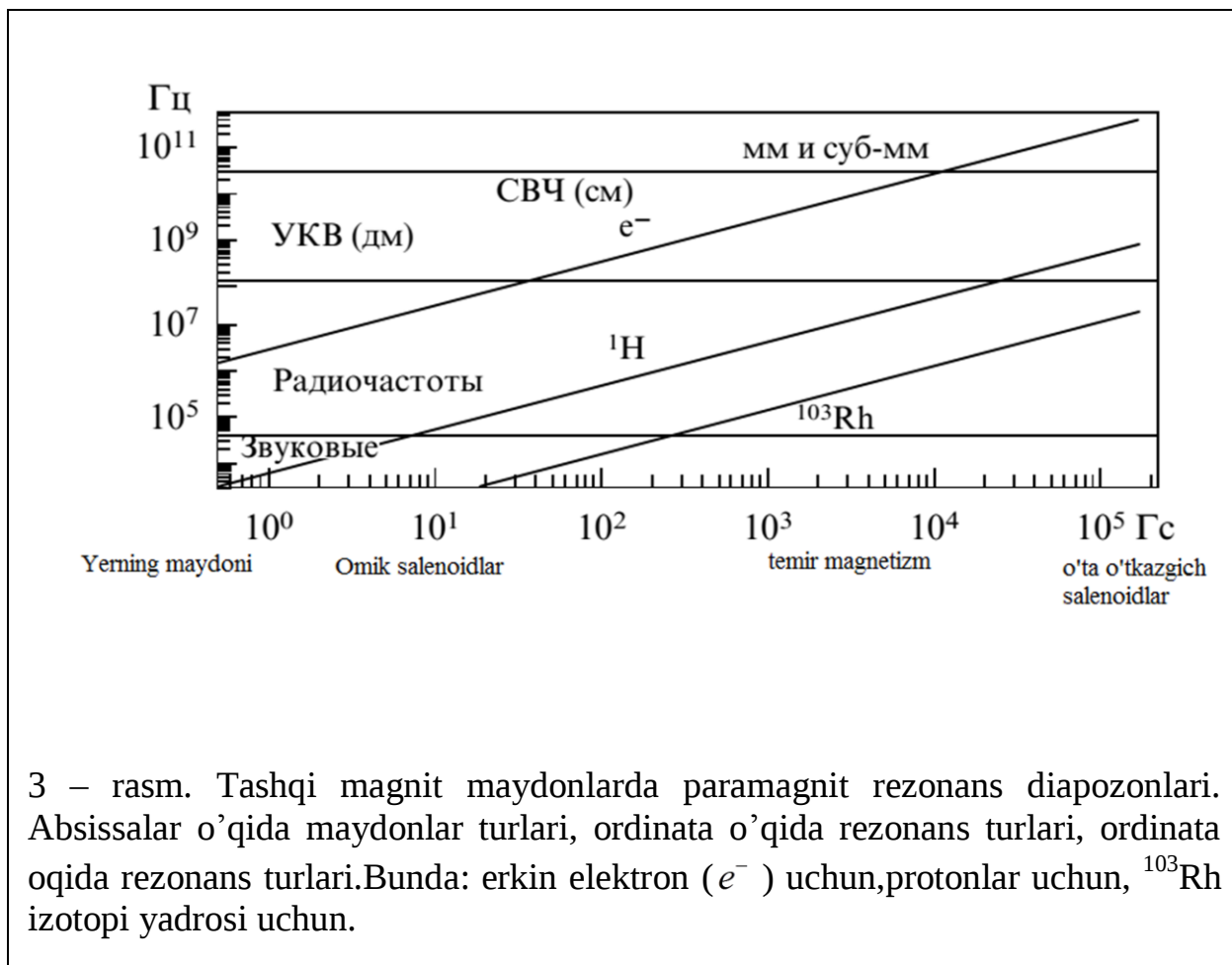
kabi ifodalanadi.

Rezonans holatida $\omega = \gamma \cdot H$ ASS da maydon z – komponentasi nolga teng (2 – b rasm). Bunday holatda magnit momenti $\vec{H}_1$ atrofida $\gamma \cdot H_1$ chastata bilan precession aylanadi.

ω – chastatali rezonans maydon qo‘shilganda τ vaqtda magnit momenti $\alpha = \gamma H \tau$ burchakka buriladi. Impuls parametrlarini tanlash bilan ($\alpha = \frac{\pi}{2}, 90^\circ$ li impuls) magnit momentni H_0 maydonga perpendikulyar qo‘yish mumkin bo‘ladi. Bu holda “erkin induktsiya” signalining amplitudasi maksimal bo‘ladi (2a – rasm).

Magnit rezonansni aylanuvchi sanoq sistemada taxlil qilish nazariy jihatdan ahamiyatli bo‘lib, bu sohada tajriba o‘tkazishning turli metodlarini ko‘rsatib beradi. Kondensirlangan muhitlarda magnit rezonans hodisasi spinlar sistemasini o‘rganish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Magnit rezonanslarning xilma – xilligi va o‘ziga xosligi spinlar o‘zaro ta’sir energiyasining turli tumanligi bilan belgilanadi. Masalan, spinlarning tashqi maydon bilan ta’siri ω_z lokal maydonda – ω_{lok} , boshqa tur spinlar bilan ω_{es} va bir turdagi spinlar bilan – ω_{ss} o‘zaro ta’sirlar farqlanadi. Energiyasi boshqalaridan yuqori bo‘lgan ta’sir kvantlovchi va qutublovchi xisoblanadi. Turli xil magnit rezonanslarning klassifikatsiyasi 1 – javalda keltirilgan. Ulardan EPR va YaMR $S \geq 1$ bo‘lgan sistemalarda qo‘zg‘aladi boshqalari esa ixtiyoriy spinli sistemalarda namoyon bo‘lishi mumkin. Agar Zeeman ta’siri asosiy kvantlovchi bo‘lsa (birinchi yaqinlashishda) magnit rezonansda bitta chiziqli qo‘zg‘atiladi. Spinlar asosida kuchsiz o‘zaro ta’sir mavjud bo‘lsa 1 – rasmdagidek spektrlar kuzatiladi.

Zeeman ta’siri kvantlovchi bo‘lgan holda magnit rezonans diapozonlari 3 – rasmda keltirilgan. Bu logarifmik masshtabda rezonans chastata $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\gamma H}{2\pi}$ bilan magnit maydon ta’siri bog‘lanishi bir biridan 1 – 2 tartibga farq qiluvchi giromagnit nisbatli uchta zarra uchun berilgan: erkin elektron e^- , proton 1H va ^{103}Rh radiy izotopi. Diagrammada radiochastatalar diapozoni nomlanishi va magnit maydon manbalari ham ko‘rsatib o‘tilgan.



Kvantlovchi ta'sirlar energiyasi normal sharoitdan issiqlik xarakat energiyasidan juda kichik bo'ladi. Kyuri temperaturasi T_s bilan harakterlanuvchi ($10-10^3\text{ K}$) spinlar orasidan Geyzenbekning almashinuvchi ta'siri ferromagnit va paramagnitlarda magnit rezonans chastatasiga ta'sir etmaydi. Amaliyotda qo'llash uchun spektr hosil qiluvchi ta'sirlar muxim hisoblanadi. Bunday spektr shakllantiruvchi ta'sirlar sirasiga **dipol – dipol ta'sir** (DDT), **elektr kvadrupol ta'sir** (EKT), **spin aylanuvchi ta'sir** (SAT) – tori nolga teng bolgan va tori bo'lmagan boshqa ta'sirlar kiradi. Oxirgi ta'sirga yadromagnit rezonans YAMR kabi ta'sirlarni misol qilib ko'rsatish mumkin. Endi magnit rezonans hodisasi tarixiga to'xtalib o'tsak.

J. Larmor (1857 – 1947) tomonidan uning nomi bilan ataluvchi teoremaning yaratilishi magnit rezonans hodisasi ochilishiga dastlabki qadam bo'ldi. Bu hodisa zaryadga va ma'lum massaga ega zarraning magnit maydonida doimiy tezlik bilan aylanishida o'zini namoyon qiladi.

Bundan zarra ham mexanik momemt $\vec{I}$ va doiraviy tok kabi magnit dipol momenti $\vec{M}$ ga ega bo‘ladi.

Larnor aniqlashicha elektron uchun giromagnit nisbat ($\gamma = \frac{\vec{M}}{\vec{I}}$) quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\gamma_e^L = \frac{e}{2m_e c} \quad (1.1.11)$$

Bunday zarra $\vec{H}$ magnit maydon yo‘nalishi atrofida protsessiyalanuvchi giromagnit tizimni hosil qiladi. Bunda aylanish chastatasi $\omega_0 = \gamma H$ ga teng (2a – rasm). (1.1.11) formula elektron orbital momenti uchun o‘rinli. Harakat miqdori momenti bilan bog‘liq bo‘lgan magnit momenti pretsessiyasi tushunchasi undan 30 yil keyin ochilgan elektron spini uchun tadbiq qilindi. Giromagnit doimiy va Lornor chastatasining qiymati elektron uchun ikki marta katta chiqadi.

$$\gamma_e^s = \frac{e}{m \cdot c} \quad (1.1.12)$$

1885 yilda P. Kyuri tomonidan paramagnitlarni o‘rganishning dastlabki natijalari e‘lon qilindi bu natijalar fanga Kyuri qonuni bo‘lib kirdi. Magnit rezonans hodisasini keyingi o‘rganilishida Zeeyman effekti hodisasi (magnit maydonda optik spektrning ajralishi) katta ahamiyat kasb etdi. U natri bug‘larida optik spektrning D_{12} dub keti paydo bo‘lishini kuzatdi. Zeeymanning narmal va murakkab (anomal) effektlari farqlanadi. “Oddiy” Zeeyman effektiga faqat spin sabab bo‘lar ekan [1].

1.2. Yadroning magnit momentlari va yadroviy magnit rezonansi.

Magnit maydonda yadrolarning energiya sathlari parchalanadi va yadrolar

$$\frac{N_-}{N_+} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) = \exp\left(-\frac{\gamma_k \hbar H}{kT}\right) \quad (1.2.1)$$

qonuniyat asosida sathlar bo'yicha taqsimlangan bo'ladi.

Bu yerda N_- va N_+ - yuqorigi va pastki sathlardagi yadrolar zichligi.

$$\gamma_k = \frac{g_k e}{2Mc} \quad (1.2.2)$$

g_k – yadroning g – omili; M – proton massasi. Parchalanish sathlari orasidagi masofani ΔE deb belgilasak, sodda holda

$$\Delta E = 2\mu_B H \quad (1.2.3)$$

Agar elektromagnit nurlanish kvanti energiyasi (uning yo'nalishi tegishlicha tanlanganda) $\hbar\omega = \Delta E$ bo'lsa, yutilish eng kuchli bo'ladi. Yadroviy magnit rezonans γ_k ni, binobarin g_k omilni (faktorni) aniqlash imkonini beradi. Tajribadan g_k ning qiymati 2 – 10 oraliqda bo'lishi aniqlangan.

Yadroviy kvadrupol rezonans. Yadroviy kvadrupol rezonansni kuzatganimizda faqat yadroning kristalldagi qurshovi bilan o'zaro magnit ta'siri e'tiborga olinadi. Elektr maydonlarning yadroning yo'naltirilganligiga ta'siri xisobga olinmaydi. Agar yadro zaryadining taqsimoti sferik simmetrik bo'lmasa, bunday yadro kvadrupol elektr mamentiga ega bo'ladi. Kvadrupol elektr momentining o'zaro ta'sir energiyasi mavjud:

$$E_{kv} = \frac{e^2 q Q}{4J(J-1)} [3m^2 - J(J+1)] \quad (1.2.4)$$

Bunda q – yadro turgan joyda elektr maydon gradient, Q – yadroning kvadrupol momenti, J – uning spin momenti, m – spinning elektr maydoni yo'nalishiga proeksiyasi.

Tashqi yuqori takroriylikli maydon $|\Delta m|=1$ bo'lgan satxlar orasidagi rezonans o'tishlar paydo qiladi, yuqori takroriylikli maydon energiyasi yutiladi, ya'ni yadroviy kvadrupol rezonans hodisasi sodir bo'ladi.

Yadroning, magnit momenti μ va harakat miqdori $I \cdot \hbar$ ga teng bo'ladi. Bu momentlar paralleldir shuning uchun quyidagicha yozish mumkin:

$$\mu = \gamma \hbar I \quad (1.2.5)$$

bu yerda γ o'zgarmas kattalik, I – yadroning xarakat miqdori momenti.

Magnit momenti va tashqi magnit maydon (B_a) bilan enrgiyani o'zaro ta'siri:

$$U = -\mu B_a \quad (1.2.6)$$

Agar maydon z o'qi bilan yo'nalgan bo'lsa, $B_a = B_0 \hat{z}$ u holda:

$$U = -\mu_z B_0 = -\gamma \hbar B_0 I_z \quad (1.2.7)$$

Taqiqlangan qiymati I_z : $m_1 = I, I-1, \dots, -I$; binobarin, energiyani taqiqlangan qiymati :

$$U = -m_1 \gamma \hbar B_0$$

Yadro magnit maydonda, $I = \frac{1}{2}$ bo'lganda ikki xil energetik vaziyatda bo'lishi mumkin. Agar ikki holat enrgiyasi ayirmasini $\hbar \omega_0$ tenglasak:

$$\hbar \omega_0 = \gamma \hbar B_0$$

bundan quyidagi natijani olamiz

$$\omega_0 = \gamma B_0 \quad (1.2.8)$$

(1.2.8) tenglama magnit rezonans yutilishini asosiy shartlaridir.

Proton holatida :

$$\gamma = 2,675 \cdot 10^8 \text{ rad} / (\text{s} \cdot \text{Tl})$$

yadro energiyalari haqida ma'lumotlar, magnit rezonans hodisasiga bo'lgan qiziqishlar 1-jadvalda keltirilgan.

Harakat tenglamasi. Sistemada harakat miqdori momenti biror vaqt davomida xisoblangan sistemaga ta'sir qiluvchi, aylanayotgan momentga teng

boʻladi. Mexanik moment, magnit momentga magnit maydon tamonidan taʼsir qilayotgan vektor koʻpaytmaga $\mu \times B$ teng, harakat tenglamasini moment uchun quydagi koʻrinishda yozishimiz mumkin:

$$\hbar \frac{dI}{dt} = \mu \times B_a \quad (1.2.8)$$

yoki

$$\frac{d\mu}{dt} = \gamma \mu \times B_a \quad (1.2.9)$$

Magnitlangan yadro, hajm biligida $\sum \mu_i$ kabi aniqlanadi.

1 – jadval.

№	Taʼsir turi	Namunaviy obekt	Energiya, MHz	Kvantlovchi taʼsir	izox
1	Nozok D strukturalar taʼsiri (ΔE kritik maydon va λ tipli spin orbital taʼsiri va boshqalar)	Cr^{3+} va Al_2O_3	5723,5	$D[3S_z^2 - S(S-1)]$	Nol maydondagi EPR
2	Kristallar eQq maydonda yadro spinining kvadrupol taʼsiri	I^{127}, SbI_4 yadro spini otishlar $V_{(1/2 \leftrightarrow 3/2)}$ $V_{(3/2 \rightarrow 5/2)}$	204,5 409,0	$eQq[3I_z^2] - I(I-1)$	YAQR 80 va undagi kop izotoplar $I \rangle \frac{1}{2}$
3	Ferromagnetikd a effektiv maydon bilan taʼsir. Bu anizotropiya magnit momenti	Tashqi maydon yoʻq vaqtida spin elektron rezonans	10 000 gacha	$\gamma \left(\frac{2 K_1 }{M_0} + NM \right)$	FMR uchun $\frac{\gamma}{2\pi} \frac{2 K_1 }{M_0} \langle \nu \rangle \frac{\gamma}{2\pi} \times$ $\left(\frac{2 K_1 }{M_0} \right) + 4\pi M_0$
4	Spin – spin oʻzro taʼsir	Vodorod atomida elektronlar (Fermi)	1420	$AIS = A(I_x S_x + I_y S_y + I_z S_z)$	Fermi oʻrtacha oʻta nozik taʼsir
5	Kosmik obektlarning magnit maydoni bilan taʼsiri	a) yer b) yupiter maydonida erkin radikallar	1,4 11,2 – 39,2	$\frac{\gamma}{2\pi} H_0 S$	Kosmik jsmlar maydonida magnit razonans

6	Asboblarning magnit maydoni bilan ta'siri	a) Kimyo uchun yadroviy magnit rezonans spektrometri b) MR - ^1H tomografiya odam uchun	300 – 600 10	$\frac{\gamma}{2\pi} H_0 I$	Suniy hosil qilingan magnit maydonida magnit rezonans
---	---	---	---------------------	-----------------------------	---

Agar bir izotopli yadro sistemasini qarasak va ular maydon bilan ta'sirlashganda koeffisient γ barcha yadro uchun bir xil quydagicha tenglama bilan ifodalanadi.

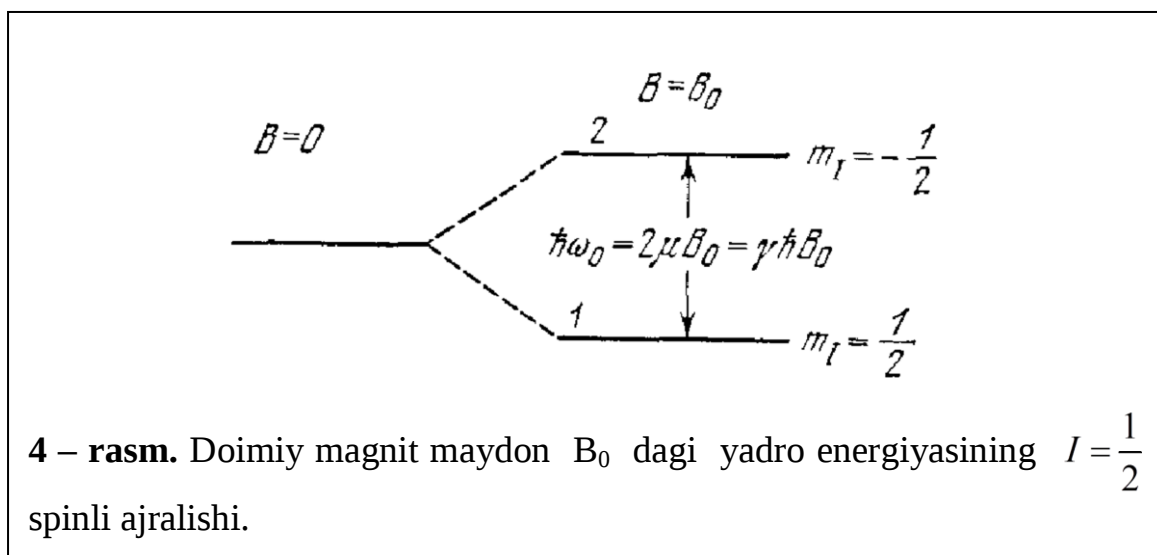
$$\frac{dM}{dt} = \gamma M \times B_a \quad (1.2.10)$$

O'zgarmas magnit maydonga (B_a) yadroni sistemaga joylashtiramiz, z o'qi bo'ylab yo'nalgan ya'ni $B_a = B_0 \hat{z}$ magnit komponenti (M) uchun xona temperaturasida (T) issiqlik muvozanati uchun quydagi tenglamani yozamiz:

$$M_x = 0, M_y = 0, M_z = M_0 = \chi_0 B_0 = CB_0 / T \quad (1.2.11)$$

Bu yerda $C = N\mu^2 / 3k_B$ Kyuri doimiysi. Magnitlangan sistema sipini $I = \frac{1}{2}$,

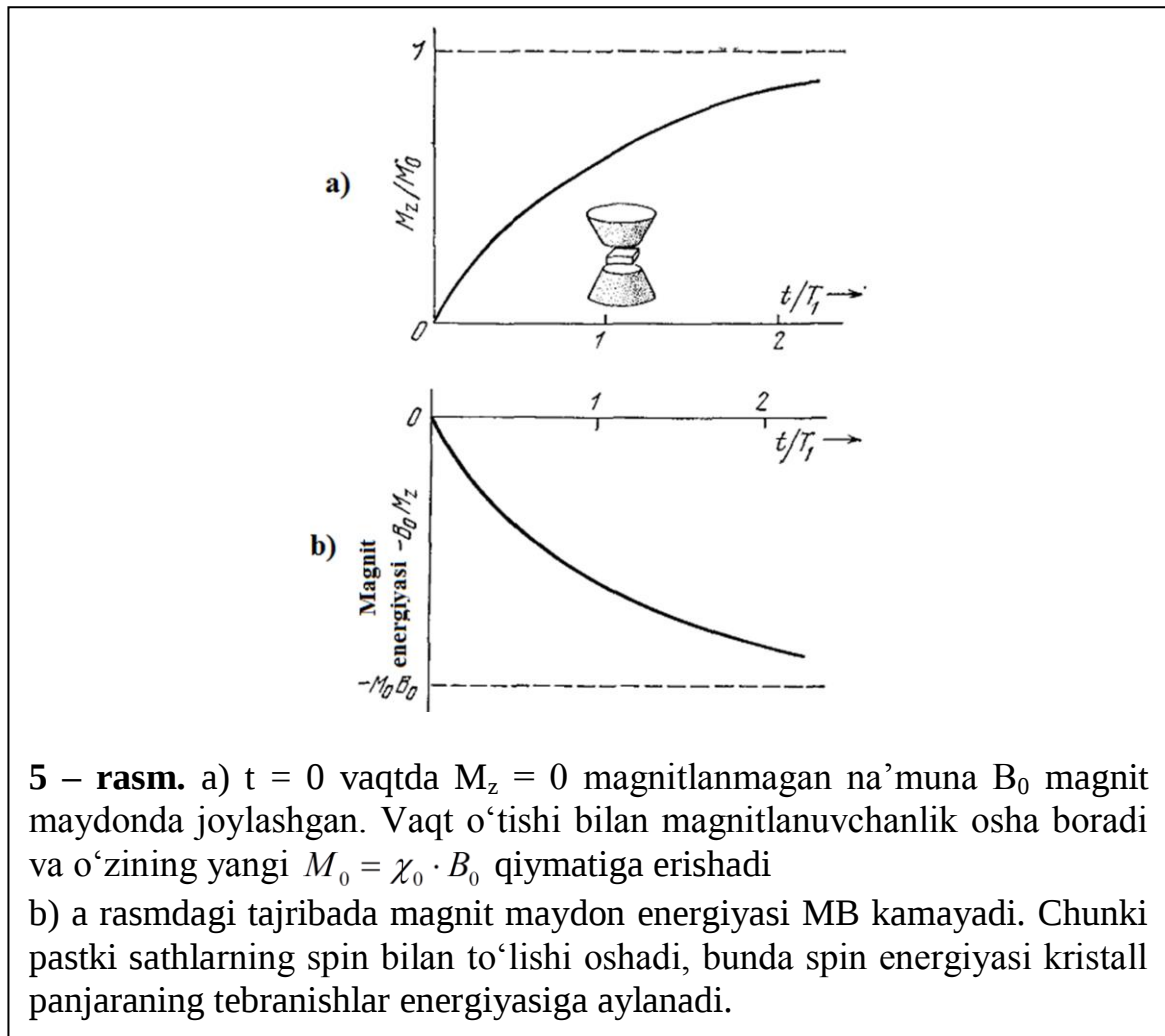
nisbat bilan 1va 2 sathlarda yadro soni quyi va yuqori taqiqlangan sathada aniqlanadi (4-rasm).



Binobarin, $M_z = (N_1 - N_2)\mu$ bu yerda N_1 va N_2 hajm birligiga nisbat. Boltsman taqsimotiga nisbatan:

$$(N_2 / N_1)_0 = \exp(-2\mu B_0 / k_B T) \quad (1.2.12)$$

1 va 2 holat energiya farqi $2\mu B_0$ martaga teng. (5 – rasm) a – maydonga ulanganda magnitlanishni o‘zgarishi.



Agar M_z kattalik nomuvozanat holatiga oid bo'lsa, unda u muvozanat qiymati uchun intiladi “tezlik” bilan, muvozanatli qiymatga M_0 proporsional M_z :

$$\frac{dM_z}{dt} = \frac{M_0 - M_z}{T_1} \quad (1.2.13)$$

Bu tenglamaga T_1 kattalik kiritilgan odatda bo'ylama relaksatsiya vaqti yoki relaksatsiya spin – panjara vaqti deyiladi.

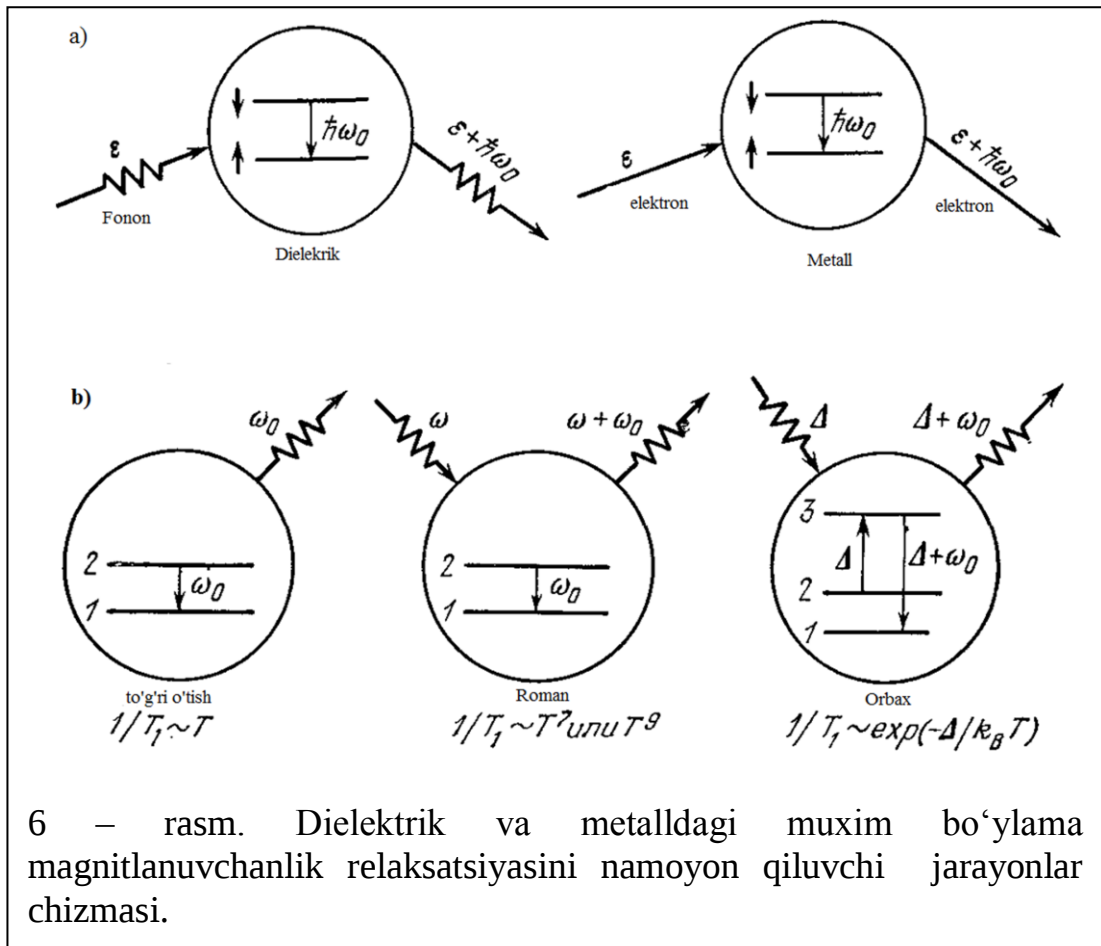
Agar dastlab $t = 0$ vaqt momentiga magnitlanmagan ko'rinishdagi magnit

maydon $\hat{B}_z$ ga kiritsak , u holda magnitlanish dastlabki 0 qiymatiga qaraganda oshadi.

(1.2.13) tenglamani integrallaymiz:

$$\int_0^{M_z} \frac{dM_z}{M_0 - M_z} = \frac{1}{T_1} \int_0^T dt \quad (1.2.14)$$

Olingan bog‘lanishni grafigi (5a – rasm)



Magnit energiyasi – MB_a yangi muvozanat qiymati M_z yaqinlashganda kamayadi. (5b – rasm). 6 – rasmda tipik sxemasi keltirilgan.

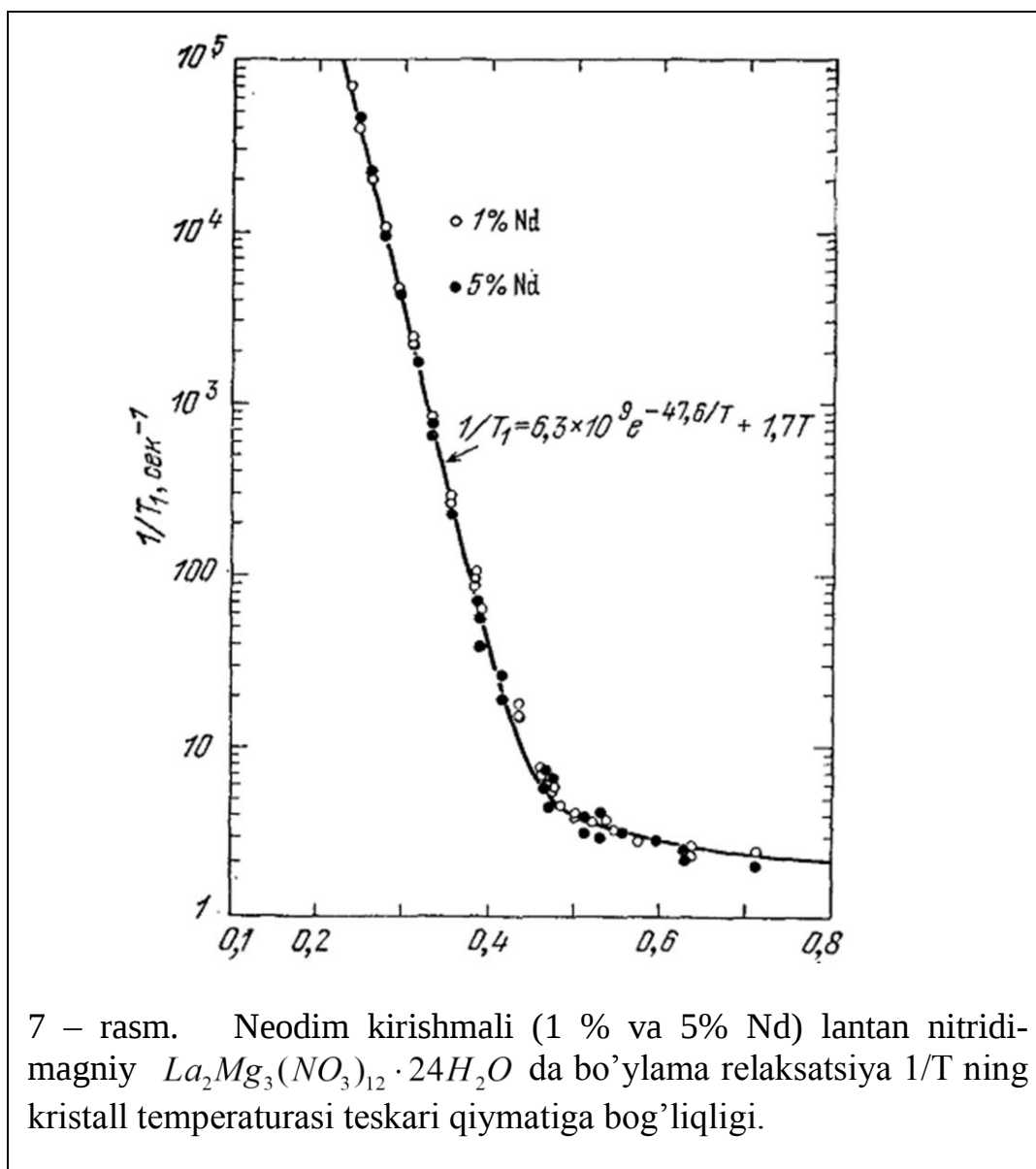
Magnitlanish o‘qining muvozanat qiymatiga yaqinlashayapti. Spin panjara jarayoni paramagnit ionlari bilan ta’sirlashadi, kristali tashkil topgan ichki kristall, elektr maydonga fonon modullanadi.

Relaksatsiya quyidagi 3 jarayondan iborat (6b – rasm)

1) to‘g‘ri; 2) fanon sochilishi; 3) yordamchi 3 – sathga sochilishi.

Ular yuqorida aytilgan 3 jarayonni qo‘llab argumentlarini ko‘rib chiqishgan, va

ozlarining foydali adabiyot ro'yhatini paramagnit paralaktsiyasi uchun berishga (7 - rasm).



E'tiboringizga (1.2.13) ni keltiramiz, harakat tenglamasi (1.2.10) dan z komponent magnitlanish uchun quyidagini yozoshimiz mumkin:

$$\frac{dM_z}{dt} = \gamma(M \times B_a) + \frac{M_0 - M_z}{T_1} \quad (1.2.15a)$$

Bu yerda $(M_0 - M_z)$ – tenglamaning magnit maydonga bog'liq bo'lmagan ta'sirlashishi natijasida hosil bo'lgan qo'shimcha had.

Bundan tashqari magnit maydon atrofidagi jarayon magnitlanish vektori M

relaksatsiyalanadi muvozanat qiymatiga yaqinlashgan holda.

Agar doimiy magnit maydonga $B_0 \hat{z}$ momenti M_x nolga teng bo'lmasa. Ko'ndalang komponent nolga tushgunga qadar, ya'ni M_x va M_y boshlang'ich payti nolga teng emasligi ma'lum, tenglamaning shart talabi ularning issiqlik muvozanat xolatidir. Ko'ndalang relaksatsiyani xisobga olsak, harakat tenglamasi M_x va M_y qo'shimcha had kiritishimiz kerak.

$$\frac{dM_x}{dt} = \gamma (M \times B_a)_x - \frac{M_x}{T_2} \quad (1.2.15b)$$

$$\frac{dM_y}{dt} = \gamma (M \times B_a)_y - \frac{M_y}{T_2} \quad (1.2.15d)$$

Bu yerda T_2 – ko'ndalang relaksatsiyaning vaqti. MB_a - magnit energiyasi, M_x va M_y komponenti qiymatini o'zgartirganda magnit energiyasi, $M \cdot B_0$ o'zgarmaydi. Modomiki relaksatsiya M_x va M_y jarayoni spinlar sistemasining energiya oqishiga bog'liq emas, aniqlik T_2 , katta bo'lmasligi mumkin T_1 ga qaraganda. Ba'zi hollarda relaksatsiya vaqtlari T_1 va T_2 deyarli bir xil, lekin $T_1 \gg T_2$ xollari xam bo'ladi. Bu sistemani asosiy shartlariga va aniq xususiyatlariga bog'liq. Ko'ndalang relaksatsiya vaqti T_2 individual moment jarayoniga vaqt o'lchovi bo'lib xizmat qiladi.

M_x va M_y komponentlar bir – biriga nisbatan faza bo'yicha farq qiladi. Modomiki lokal magnit maydon xar xil magnit spinga ta'sir qiluvchi, komponentdir. Agar barcha boshlang'ich spinlar fazada bo'lsa, biroz vaqt mobaynida fazaning taqsimoti xaotik bo'lib qoladi, kattaliklar M_x va M_y nolga intiladi.

Shuning uchun T_2 kattalikni vaqtni defazirovkasi deb atashimiz mumkin. (1.2.15) tenglamalar Blox tenglamalari deyiladi. Bu tenglama x, y, z o'qlariga nisbatan simmetrik emas, modomiki biz avval boshidan va o'zgaras tashqi maydon uchun tanladik, spin sistmaga ta'sir qiluvchi, z o'qi bo'ylab yo'nalgan. Magnit rezonansi tajribalarga o'zgaruvchan maydonda odamda X o'qiga

qo'yiladi. Bunga kichik bo'lgan hodisa, magnitlanishi o'zgarisiga bog'liq, o'zgarmas magnit maydonda va o'zgaruvchan elektromagnit maydonda. Blox tenglamasi nixoyatda tabiiy ko'rinishga ega, lekin ular aniq emas, modomiki barcha spin jarayonlarga ta'sir ko'rsatmaydi.

Erkin spin jarayonlar sistemasiga o'zgarmas magnit maydonga $B_a = B_0 z$ chastatani aniqlaymiz, $M_z = M_0$. Bu holatda Blox tenglamasining ko'rinishi:

$$\frac{dM_x}{dt} = \gamma B_0 M_y - \frac{M_x}{T_2}, \quad \frac{dM_y}{dt} = -\gamma B_0 M_x - \frac{M_y}{T_2}, \quad \frac{dM_z}{dt} = 0 \quad (1.2.16)$$

Sonuvchi tebranish uchun yechim izlaymiz va shuning quyidagi formula ko'rinishida olishimiz mumkin:

$$M_x = m \cdot \cos \omega t \cdot e^{-\frac{t}{T'}}, \quad M_y = -m \sin \omega t \cdot e^{-\frac{t}{T'}} \quad (1.2.17)$$

(1.2.17) ni (1.2.16) ga qo'yamiz:

$$-\omega \sin \omega t - \frac{1}{T'} \cos \omega t = -\gamma B_0 \sin \omega t - \frac{1}{T_2} \cos \omega t \quad (1.2.18)$$

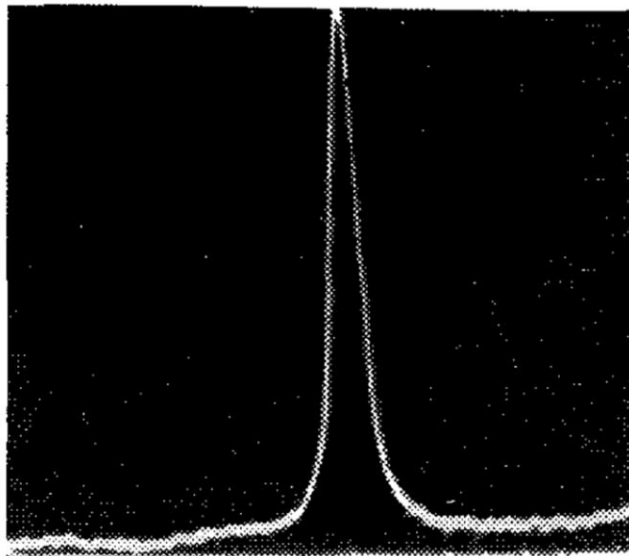
va erkin pretsessiya quyidagi munosabat bilan xarakterlanadi.

$$\omega_0 = \gamma B_0, \quad T' = T_2 \quad (1.2.19)$$

Bunday harakat so'nuvchi garmonik tebranishi xarakati kabidir.

Bu analogiyadan kelib chiqadiki, spinli sistema o'rniga o'zgaruvchan tashqi maydonga energiya yutilishi rezonansi bo'ladi.

Uning chastatasi $\omega_0 = \gamma B_0$ chastataga yaqin bo'ladi, interval chastatasining eni (qalinligi) $\Delta\omega$, sistemani ichki o'zgaruvchan tashqi maydonda legirlanadi va malumki, bu qiymatlar T_2 ga bog'liq bo'ladi, asosan $\Delta\omega \approx \frac{1}{T_2}$ (8 – rasm ko'rsatilgan).



8 – rasm. Suvda protonlar uchun eksperimental rezonans chiziqlari (E.L.Hahn).

Eksperimental egri rezonans yutilishi suv protonlari sistemasida ko‘rsatilgan. Blox tenglamasi bizga yutilish quvvatini aniqlash imkonini beradi. Magnit maydonda xy tekislikda aylanayotgan holatda ko‘rib chiqamiz

$$B_x = B_1 \cdot \cos \omega t \quad , \quad B_y = -B_1 \cdot \sin \omega t \quad (1.2.20)$$

qulay yo‘l bilan bajarganda quvvat yutilishi quyidagicha bo‘ladi.

$$P(\omega) = \frac{\omega \gamma M_z T_2}{1 + (\omega_0 - \omega)^2 T_2^2} B_1^2 \quad (1.2.21)$$

E’tibor beramiz rezonans liniyaning yarim shari, yutilish rezonansi maksimal bo‘ladi:

$$(\Delta\omega)_{1/2} = \frac{1}{T_2} \quad (1.2.22)$$

O‘zgaruvchan maydonda statsionar holatda energiya, qattiq jism yadrosi yutilish sistemasi, odatda kristall panjarani tebranish energiyasi xammasi o‘tadi.

Ampurning “molekulyar toklar” tushunchasi Bor nazaryasidagi elektronning o‘z orbitasidagi harakati ko‘rinishida o‘z aksini topdi. 1920 – yilda V.Pauli fanga bor magnitoni tushunchasini kiritdi. Elementar magnit momenti qiymati (elektron uchun vadorod atomi pastki orbitasidagi)

$$\mu_B = \gamma_e \cdot \hbar = 9 \cdot 10^{-20} \text{ erg} \cdot \text{Gs}^{-1} \quad (1.2.23)$$

Bunda γ_e (2.1) formula bilan aniqlanadi keyinchalik bu yadro magnitoni tushunchasini kiritishga olib keldi

$$\mu_n = \frac{e \cdot \hbar}{2 \cdot m_p \cdot c} \quad (1.2.24)$$

bunda $m_p = 1836 \cdot m_e$ - proton massasi. Proton magnit momenti $2,67 \cdot \mu_p$ ga teng.

A. Lande (1888 – 1975) ishlarida turli magnit momentlarning o‘zaro ta’siri masalalari o‘rganildi [13]. Agar momentlar bir – biri bilan aloqasi kuchsiz bo‘lsa ular tashqi maydon bilan alohida – alohida ta’sirlashadi.

Agar momentlar ta’siri kuchli bo‘lsa ular tashqi maydon bilan yagona effektiv magnit moment kabi ta’sirlashadi.

Bu yagona umumiy magnit moment ***g – Londe faktori*** bilan xarakterlanadi. *g* – faktor kiritilsa elektron uchun

$$\gamma = G \cdot \frac{e}{2 \cdot m_e \cdot c} = G \cdot \frac{\mu_B}{\hbar} \quad (1.2.25)$$

Larmor chastatasi esa

$$\omega = \frac{G \cdot \mu_B \cdot H}{\hbar} \quad (1.2.26)$$

kabi aniqlanadi.

Elektron orbital momenti uchun $G = 1$, spin orbital ta’sirda elektron spin uchun $G = 2$.

1922 yilda O. Shtern va V. Gerlaxlar turli magnit mamentga ega atomlarni magnit maydonida ikkita aloxida dastalarga ajratish imkoniga ega bo‘ldilar [14].

Bu xodisada elektron spini $\frac{1}{2}$ ekanligini ko‘rsatishga dastlabki qadam bo‘ldi.

Bu xodisa yana magnit rezonansi hodisasasi kuzatilishi mumkinligini ko‘rsatdi. Buni dastlab A. Eynshteyn va P. Erenfeet ta’kidlab o‘tdilar. Elektron va atomlar spini nazariyasi rivojida S.Gaudsmid, G.Ulenbek, V. paulilarning

xizmati katta bo'ldi.

Spinning narelyativistik nazariyasi V.Pauli va Dirak tomonidan ishlab chiqildi.

Elektron paramagnit rezonans (EPR) xodisasi ochilishida E.K. Zavoskiyning xizmatlari katta. Bu olim S.A.Altshuller va B.M.Kozirev bilan hamkorlikda 1941 – yilda EPR xodisasi bo'yicha dastlabki tajribalarga erisha boshlaganlar. YAMR ni kuzatishda asosiy muammo magnit maydon kuchlanganligining qiymatini doimiy ushlab turish xisoblangan. E. Zavoiskiy EPR xodisasini kuzatishda 3d – gurux metallarining tuzlari eritmalaridan foydalandi ($SuSO_4 \times 5H_2O$, $CuCl_2 \times H_2O$, $MnSO_4 \times 5H_2O$) va ularning suvdagi eritmaları. Bazi polimunalarda EPR chiziqlar juda nozik bo'lib, maydon chastatasi o'zgarishi bilan ularning siljishi sodir bo'lar edi. Ko'pincha olimlar xizmatlari natijasida E. Zavoiskiy turli jihatlarida va sharoitlarda EPR ni kuzatish imkoniga ega bo'ldi. 1945 – yilda E. Zavoiskiy “Tuzlar eritmalar va metallarda ko'ndalang va bo'ylama maydon mavjud holda paramagnit absorbsiya” mavzusida doktorlik ishini ximoya qildi. Bu ishlardan ikki yillar o'tib AQSH ning ikkita labarotoriyasida YAMR ni kuzatishga kirishildi. Bu labaratoriyalarda E. Pyorsell , X Torri va P. Paund kabi olimlar parafin namunalarida $((CH_4)_n)$ YAMR kuzatish bo'yicha izlanish olib bordi.

Namuna radiochastatali sxemaga, rezonatorga joylashtirildi va rezonans yuz berganda muvozanatning buzilishi kuzatilib turildi. Bunda YAMR hodisasi birinchi bo'lib kuzatildi. YAMR hodisasining ochilishiga olib kelgan

izlanishlar shartli sxemasini 10 – rasmda ko‘rish mumkin.

1950 – yillarda sobiq ittifoq olimlarining ishlari “magnit” lashtirib tashlanganligi sababli YAMR bo‘yicha nobel mukofoti Pyorsela va Bloxga nasib etdi. YAMR ochilishi bu hodisa mendeleyev davriy sistemasidagi 83 ta izotopda kuzatildi. YAMR hodisasi kimyo sohasidagi olimlarni ham qiziqtirib qo‘ydi. YAMR ga asoslangan dastlabki spektrometrlar ishlab chiqarila boshlandi.

Ishqoriy metallarda birikmalarida dastlab aniqlangan EPR boshqa tabiiy sistemalarda xam kuzatildi. 1949 – yilda radiatsion nurlantirilgan kristallarda xam bu effekt kuzatilgan bo‘lsa 1950 – yilda kuzatilmagan valentli molekulalarda ham bu hodisa kuzatildi.

1949 – 1950 – yillarda tashqi magnit mavjud bo‘lmagan xolda yadro spinlari rezonansi - sof kvadrupol yadro rezonansi ochilib, u magnit rezonans hodisasining bir turi edi [15].

90 dan ortiq stabil va uzoq yashovchi nuqlidlar - elektr kvadrupol momentga ega va ularning spini I elektr kvadrupol ta’siriga ega.

Tashqi maydon bo‘lmaganda YAQR bunday nuqlidlar $2I + 1$ ta chiziqqa ega bo‘ladilar. YAQR xodisasi dastlab ^{37}Cl , ^{35}Cl va keyinchalik ^{81}Br , ^{79}Br , ^{127}I larda kuzatildi.

Umuman aytganda magnit rezonansini o‘rganishni uchta aloxida bo‘limlarga bo‘lish mumkin:

- Nazariy g‘oyalarning paydo bo‘lishi
- Eksperimental metodlar
- Magnit rezonansning amaliyotda qollanilishi

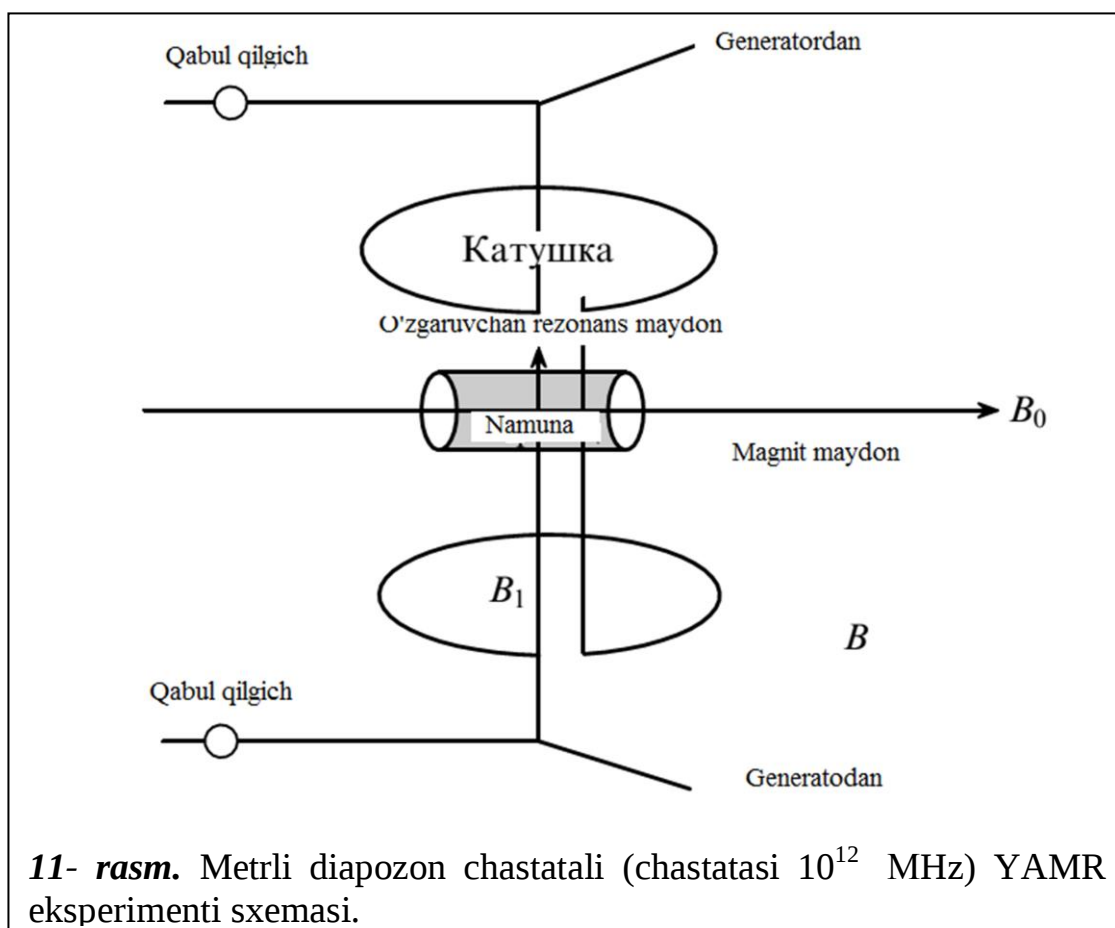
1948 – 1978 – yillar oralig‘ida magnit rezonansning nazariy asosi xisoblangan yadro spinli sistemalar spektri nazariyasi shakllandi. Bu spinlarda spinning dipol momentlari bilan o‘zaro ta’siri masalasi o‘rganildi. Keyingi yillarda yadro spinlarining elektron qobig‘i elektronlari tomonidan ekranlanish effektlari o‘rganildi. 1960 – yillarda YAMR bo‘yicha tajribalar xisoblash metodlarining rivojlanishiga olib keldi.

“Ab – initio” metodlar asosidagi kvant mexanikaviy xisob kitoblar YAMR rivojiga xam sezilarli ta’sir ko’rsatdi.

1.3 Magnit rezonans hodisasining eksperimental metodlari.

Magnit rezonansning eksperimental o’rganilishi tajriba texnikasining rivoji bilan bog’liq bo’lgan.

Generatorning relaksatsiya asoslangan kuzatish metodi unchalik yaxshi natija bermadi, chunki spinning tebranish sistemalari bilan generator ta’siri spektral chiziqlar kengayishiga olib keluvchi ajratib yuborish qobiliyatini pasaytirib yuborar edi. Magnit maydoni modulyatsiyasiga asoslangan metodlar ancha sezgir ekani aniqlandi. Natijajada uyg’otuvchi maydonni impulsi tezda bitta g’altakli qabul qilgich sxemasi asosida berish usuli eng samarali bo’lib chiqdi. Bu g’altak xam uzatuvchi xam qabul qilgich vazifasini o’taydi. (11 - rasm).



EPR kuzatish qurilmalari (11 – rasm) YAMR ni kuzatish sxemalaridan yuqori chastotalarda ishlaydi va u to‘lqin o‘tkazish rezonator texnikasi asosida ishlaydi. Uning ishlash diapazoni o‘ta yuqori chastotalar (SVI) bo‘lib: 10 – 40 GHz ni tashkil qiladi.

1969 – yilda “Varion” fermasi xodimlari U. Anderson va R. Ernest murakkab keng diapazonli YAMR qo‘zg‘atuvchi qurilmaga patent oldilar. Bu metodika “shovqin” signallarini pasaytirib asosiy magnit rezonansni yaqqol kuzatish imkonini bergan edi.

Signal shovqin nisbatini oshirish uchun – qutblovchi tashqi maydonni kuchaytirish va uning bir jinsliligini taminlash zarur bo‘ladi. “Varion” firmasining dastlabki YAMR spektrometri ajratish kuchi 10^8 teng edi va bu qiymat XX asrga kelib 30 – 40 marta ortib ketdi.

1964 – 1972 – yillarga kelib magnitlar temir o‘zakli g‘altaklar bilan almashtirildi. Maydon kuchayganini va chastataning ortishi YAMR va EPR texnikasi ravnaqida xal qiluvchi rolni o‘ynadi. Qabul qiluvchi dachchikning suyuq geliy bilan sovitilishi shovqin darajasini bir tartibga kamaytirib $\frac{S}{N}$ nisbatni oshirish imkonini berdi. 1960 yillarga kelib magnit rezonansi asosidagi spektrometrlarga talab kuchaydi. Shu vaqtlarda bu soxada raqobat “varion” , “Bruker spectrospin” va TOEL kompaniyalari orasida borayotgan edi.

Endi qattiq jismlardagi YAMR larga to‘xtalib o‘tsak. Dastlab shuni aytish kerakki qattiq jismdagi YAMR spektr chiziqlari suyuqlikdagiga qaraganda ko‘p marta kengroq bo‘ladi.

Bunga sabab qattiq jismlarda spinlar ta’sirlarining anizotropiyasi bo‘lib, suyuqliklarda molekulalar issiqlik harakati tufayli bu xodisa kuzatilmaydi.

Dipol – dipol ta’sirlanish gamiltoniandagi qismi YAMR dagi spektral chiziqlari kengligi va konturini belgilaydi. Agar spin tashuvchilarining xajmiy zichligi sezilarli darajada katta bo‘lsa, chiziqlar shakli va dipol – dipol ta’siriga asoslangan bo‘ladi.

Dipol – dipol ta’sir (DDT) ga asoslangan ikkita spinning sekulyar qismi

quyidagi ko‘rinishga ega

$$\frac{\gamma_s \cdot \gamma_I \cdot \hbar}{r_{SI}^3} \left[S_z I_z + \frac{1}{4} \delta_{SI} (S_+ I_- + S_- I_+) \right] \cdot (3 \cdot \cos^2 \theta - 1) \quad (1.3.1)$$

Bunda:

$$S_I = S_x \pm i \cdot S_y, \delta_{SI} = 1, S = I \text{ va } \delta_{SI} \neq 0$$

bo‘lsa

DDT ning spinlar aro vektor va tashqi maydon yo‘nalishi (z) orasidagi bog‘lanish mavjudligi DDT dagi sekulyar qismini va spektr chizig‘i kengligini boshqarish imkonini beradi.

Kimyoviy sohada qo‘llanilishi uchun ahamiyatli ta’sir bu kimyoviy siljish xisoblanadi. Bundan foydalanib qattiq jismlarning molekulyar tuzilishini tadqiq qilish mumkin.

Kimyoviy siljish xam anizotrop xisoblanadi. Lekin bunda ekranlash tenzori izi (Sp) nolga teng emas $Sp(0) \neq 0$ va u burash bilan nolga keltirib bo‘lmaydi va qandaydi $\frac{1}{3} Sp(0)$ qiymatga intiladi.

Bu usullarni qo‘llab (YAMR) kimyo fani uchun juda ahamiyatli bo‘lgan organik va noorganik polimerlar va sliktlarning molekulyar tuzilishi mukammal darajada o‘rganilgan.

Ikkilangan rezonanslar metodi – degan metod ham keng qo‘llaniladi. Elektron – elektron, elektro – yadro, yadro – yadro kabi juftlik (ikkilangan) rezonans xisoblanadi. Bu rezonans turli tipdagi spinlarning o‘zaro ta’siri hisobga yuzaga keladi. Bu metod dastlab gazlarda kuzatilgan edi.

Ikkilangan rezonans usulidan monorezonans metodlarda kuzatilmaydigan (sezgirlik yetarli emas) xollarda qo‘llanilishi mumkin. Bu metodlar ichida ikkilangan elektron – yadro metodi eng keng qo‘llanilmoqda.

II BOB. MAGNIT REZONANS HODISASINING QO‘LLANILISHI.

2.1 Magnit rezonans hodisasining amaliy masalalarni yechishda qo‘llanilishi.

Magnit rezonans hodisasining amalyotda qo‘llanilishi ahamiyatli jihati hammaga ayon. Bu magnit rezonans hodisasining fizik asoslari bo‘yicha izlanishlar natijalari e‘lon qilinadigan maxsus jurnallar mavjud. Bular jumlasiga:

- Tournoe of magnetic Resonance,
- Applied magnetic Resonance,
- Magnetic Resonance in Chemistry

Kabi bir qancha boshqa jurnallar kiradi.

Dastlab magnit rezonans fizikasining bazi muommolariga to‘xtalib o‘tamiz. Soni chekli lekin ancha katta bo‘lgan ($N_s = 10 - 100$) spinlardan tashkil topgan sistemalarni o‘rganishda dinamikva statik tamonlar orasidagi chegarani xisoblashda kvant xisob kitoblar masalasi muommalidir [16]. Izlanuvchilarni yana ta’sirlashuvchi spinlar sistemasi bilan ferromagnit domenlar orasidagi o‘xshashlik va farqli tamonlar masalasi ham qiziqtirib kelmqoda. Ko‘p sipinli sistemalardagi kollektiv uyg‘ongan magnit rezonansning termdinomika va magnit maydonga bog‘lanishi maslasi ham keng o‘rganilmoqda [17].

Kichik o‘lchamli spin sistemalar masalasi chiziqli bir o‘lchamli spinlar zanjiri qiziqish uyg‘otadi. Chunki bunday tuzilishlarni o‘rganish elektron struktura tuzilishi va ular asosida moddaning o‘tkazuvchanligi magnit fazoviy o‘tishlarni o‘rgnish imkononi beradi.

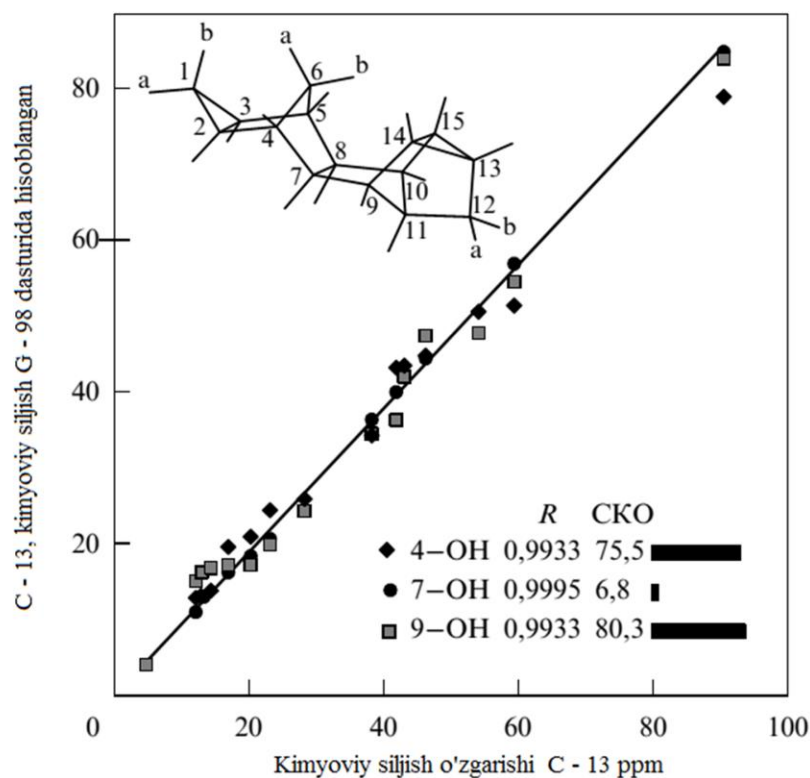
Spin – gamiltonlarining turli parometrlarini interpretatsiya qilishining metodlari takomillasha borishi kimyo soxasidagi yangi istiqbollarni ochib beradi. Misol sifatida YAMR yordamida kimyoviy modda molekulalarining tuzilishi strkturasini yuqori aniqlik bilan aniqlash mumkinligini keltirish mumkin.

Yetakchi firmalar tamonidan ishlab chiqarilgan 7 Tl gacha nurlanishli magnit maydonga ega asboblarni sutkada bir nech yuzlagan spektrlar olish

imkonini bermoqda. Bunda o'rganilayotgan molekulaning oldindan bashorat qilingan sturukturasi tasdiqlanadi yoki inkor qilinadi. Boshqa metodlar bilan aniqlab bo'lmaydigan moddadagi kichik miqdordagi kirishmalar aniqlanadi. YAMR spektrlari sturukturada biror frogmentning mavjudligini ko'rsatib beradi. Bu frogment atrofining tuzilishini ko'rsatib beradi. Rezonanslatuvchi yadrolar mavjud bo'lmagan moddalarda ularga tashqi maydon ta'sir etishi natijasida YAMR spektri hosil qilinadi.

Molekulyar sturukturalarni o'rganishda YAMR asosida kvant kimoviy xisob kitoblarni amalga oshirish metodlari katta ahamyat kasb etmoqda. Bu "ab-initio" metodlar tijorat maxsuloti ko'rinishiga ega bo'lishiga olib keldi. Murakkab organik sturukturalarni YAMR asosida o'rganish ancha yengillashdi. ^{13}C va ^1H ning YAMR lari spektri asosida ko'plab organik birikmalar tuzilishini eksprement bilan nazariyani taqqoslab o'rganish imkoni paydo bo'ldi.

12 – rasm 15 ta S atomi va uning bittasiga OH guruhi ulangan brikma sxemasi keltirilgan [18]. Shuningdek bunga G 98 dasturi asosida "ab-initio" hisoblashlarning o'rtacha kvadratik og'ishi keltirilgan. 7 – uglerodiga OH brikmasi SKO boshqalariga qaraganda bir tartibaga yuqori turibdi.



12- rasm. Murakkab organik molekullarning tuzilishini aniqlash uchun XC uglerod –13 ni “ab-initio” dasturi asosida olingan eksperimental natijalar.

YAMR metodlari amaliy qo‘llanilishidagi yana biri bu etill olkogolining tabiiy va texnik manbalarini aniqlashda qo‘llanilishidir. Bunda turli xil maxsulotlar (lavlagi, uzum va boshqalar) da deyteri miqdorini o‘lchagan holda bu maxsulot qanday joyda (qayerda) o‘stirilganligini ham aniqlash mumkin.

Murakkab organik birikmalarning H/D – partiredi bu birkmalarning tabiyada biosintezi mexanizimini ham aniqlashga imkon beradi. Bunga YAMR eksperimental texnikasining rivoj natijasida erishildi. ^2H ning tabiiy birkmalaridagi vodorod tarkibidagi miqdori 0,012 % dan oshmaydi. ^2H dagi YAMR signali intensivligi ^1H nikiga qaraganda nibatan $9.65 \cdot 10^{-3}$ teng.

YAMR ning yana bir qo‘llanilishi bu metabolidlardan olingan spektr asosida (chaqaloqlarda) nasldan – naslga o‘tuvchi va (kattalarda) taqsikoz kasalliklarini aniqlashga imkon beradi. “Vgiket” firmasi ishlab chiqqan EPR metodikasi

arxeologik qoldiqlardagi radiatsion effektlarni aniqlash hisobiga uning yoshini aniqlash imkonini beradi. Bunda u tish emalidagi kosmik nurlarning integral dozasini EPR signali intensivligiga proporsionlligidan foydalaniladi.

Yuqori temperaturali o'ta – o'tkazuvchanlikli (YUTO'O') o'rganishda ham magnit rezonans metodlaridan foydalaniladi (EPR, YAMR, YAQR va boshqalar).

Aralash oksidlardagi YUTO'O' hodisasi tabiati haligacha to'la o'rganilmagan. Magnit rezonans metodlari fotokimyoviy jarayonlarning o'rganishda ham keng qo'llaniladi. Bu spin kimyosidagi eng muxim yo'nalishlardan biridir.

2.2. Tibbiyotda magnit rezonans makroskopiya.

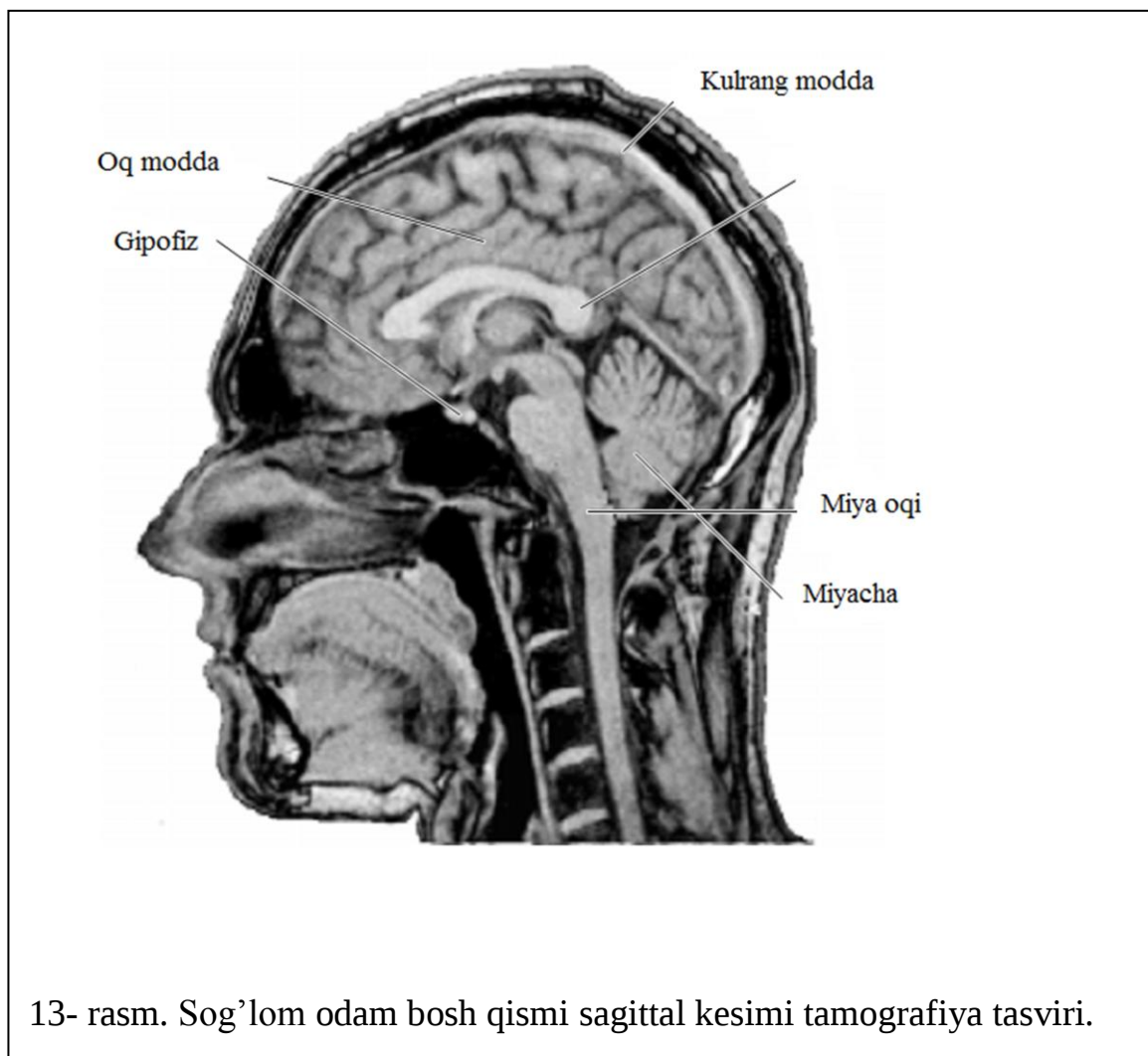
1970 – yillarda magnit rezonans interoskopiya (MRI) metodlari tibbiyot amaliyotida qo'llanila boshlandi [5,6]. Hozirda dunyoda bir necha minglagan magnit rezonans interoskopiylari (MRT) lar ishlatilib turibdi. Ular tasvir aniqligini yaxshilash uchun xizmat qiladi. Hozirgi tomografiyalarda kuchli qutublovchi maydonlardan foydalanilmoqda. Hususan 0.5 Tl va 4 Tl xatto 7 Tl maydonli qurilmalar sezgirligini oshirib ekspozitsiya vaqti kamaytirildi. Bunday MRT qurilmalari inson solomatligiga ziyon yetkazmagan holda ularni kuzatish imkonini beradi. Bunda organizm haqida batafsil ma'lumot olinadi. Bunda foydali signalni kuchaytirib foydasiz signallarni susaytiruvchi (maydon chostatasini boshqarib) sxemalar keng qo'llaniladi.

Bu metod yumshoq to'qimalar potologiyasini aniqlashda hech narsa bilan almashtirilib bo'lmaydigan metodga aylanib ulgiran. Odatiy tomografiyalar inson miyasidagi 15 ta solgitol kesim bo'yicha ma'lumot to'playdi (har bir kesim qalinligi 5mm). Har bir kesimda 256x256 birlik hajimli ma'lumot (piksel yoki vaksel) mavjud bo'ladi. Har bir YAMR ^1H signali taxminan 20 ma'lumot birligini beradi (bit). Bu faqat inson uchun muxim bazaning hajmi haqidagi ma'lumotdir. Har bit ma'lumotda har bir to'qima va hujayra haqidagi ma'lumot, undagi genetik

jarayonlar haqida ma'lumot mavjud bo'ladi.

Bu signal intensivligi miyya moddalari harakat dinamikasiga, krotoklar

Atrofdagi muxit va tashqi maydon parometrlariga bog'liq bo'ladi. 13-rasmda sog'lom odam miyasining tomografiyasi keltirilgan.



Vrachlarga qulay bo'lishi uchun signal intensivligi rasmlar orqali berilishi mumkin. Shunday qilib yuqorida berilgan tomogramma paketi 40 bit ma'lumotni o'zida saqlaydi.

Bunga YAMR spektrida signal shovqini nisbatini yuqori natijasiga erishilgani sababli imkon paydo bo'ladi. YAMR tomogrofyani foydali xususiyati bu o'rganilayotgan obektni turli sohlardan olingan ma'lumotlarini farqlay olishidir. Agar Blox tenglamalariga e'tibor berilsa har bir i- voksel signal intensivligi:

a) shu hajmdagi spinlar soni p_i ga,

b) relaksatsiya tezligiga ta'sir etuvchi paramagnit reagent ta'siriga, va boshqa ta'sirlarga bog'liq bo'ladi. Bu tajribali vrachga organizmlardagi strukturaviy o'zgarishlarni aniqlashga imkon beradi. Bu natijlarga biologik va ilmiy tibbiyotning rivoji va shu jumladan magnit rezonans metodlari sezgirlikni oshirish hisobiga erishildi.

2.3. Magnit rezonansning zamonaviy tibbiyot meditsinasida qo'llanilishi.

Magnit rezonans metodlari bi – kimyoning eng muhim va murakkab muommolardan biri – oqsil molekulalari (iroteinlar) ning tuzilishi va dinomikasini bsqichma – bosqich yechishda muxim rol o'ynaydi. Prtoenlardagi yadroviy magnit rezonans ularning suvdagi eritmasida o'rganiladi. Unda 300 ml va 600 ml eritmada protoenlar konsentratsiyasi 0,1 – 3 milli molni tashkil etadi. Namuna tabiiy yoki biror biologik tizimdan gen injeneriyasi usuli bilan ajratib yasalgan bo'lishi ham mumkin. Tabbiy manbalarni o'rganishda asosan ^1H YAMR dan foydalaniladi. Lekin proteonlar haqida tuzilishi haqida tabiiy ^{13}C va ^{15}N dan olingan YAMR spektrlari protoenlar holida to'laroq ma'lumot beradi. Ular miqdori ko'p bo'lgan RDNK lardan olingan ^{13}C va ^{15}N li protoenlar ustidagi tajribalar keyingi yillarda keng qo'llanilmoqda. Bunday protoenlar zamburuqlar va baqteriyalarda maxsus o'stiriladi. Bunday izotoblar bilan boyitilgan birikmalar ancha qimmat bo'lib, ularni olish minimal sharoit bo'lgan muhitlardan foydalaniladi ^{13}C uchun bunday muhit sifatida glyukoza $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, glitsirin $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ yoki metonol CH_3OH ishlatilsa, ^{15}N – uchun NH_4Cl yoki sulfatamoni- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ishlatiladi. Genlar modifikatsiyalangan organizmlar baqteriyalar va zamburug'lar ham qo'llaniladi. Bunday organizmlar o'zidan protoenlar ishlab chiqaradi. Bu protoenlar yuqori darajada rivojlangan organzmlarnikiga o'xshash bo'lib, lekin zarur ^{13}C yoki ^{15}N bilan boyitilgan bo'ladi.

Bioparimerlar YAMR metodikasida bioxilliklar uchun juda katta qulayliklar

yaratilgan. Bunda ma'lumot nafaqat ikki o'lchamli (2D) balki 3 yoki 4 o'lchamli (3D,4D) shakilda ham berish imkoni mavjud. Bu yo'nalishdagi to'la bayoni [19] ishda batafsil keltirilgan.

YAMR metodlarini qo'llab 20–30 xalqadan iborat aminokislotalar zanjirini olishga erishildi. 1980 – yilda 73 ta venodan iborat aminokislota (ubuqutil) sintezlandi. Oxirgi yillarda 723 ta zvenodan iborat aminokislota tuzilshi rasshifrovka qilishga erishildi. Keyingi yillarda bikomyoda yadrolarning dinmik qutublanishi keng qo'llanilmoqda. 1,2 K teperaturagacha sovutilgan va muzlatilgan erkin radikallar eritmalarida elektron paromagnit rezonansidan foydalaniladi. Bunda ^{13}C va ^{15}N yadrolari 25-40% atrofida qutiblangan bo'ladi. Namuna keyin qaynoq suvda eritilib mexanik aralshtirilib YAMR spektrometrga joylashtiriladi 6 – 8 sekund davomida yadroviy signallar issiqlik signallaridan 10^4 marta kuchliroq bo'ladi. Magnit rzonansning zamonaviy ko'rinishlaridan biri bu magnit rezonans kuch mikroskopiyasidir (MRFM). Giromagnit effektni mexanik qayt qilishga birinchi bo'lib Eynshteyn- de-Gaaz tajribasida urunib ko'rildi.

Bu metodni ishlash tamoili nozik elastik mikromagnit o'rnatilgan richakning o'rganilayotgan spin sistemasi bilan ta'siri natijasida siljishi hisoblanadi.

Spin sistemasi bo'ylama magnit momenti tashkil etuvchisi davriy o'zgarishi mexanik rezonatorini ν_{mr} chastota bilan tebranishga olib keladi. U esa k –bikirlikli m – massali kontleverga maxkamlangan (14-rasm).

Rezonator xususiy chostatosi Lormor chastotasidan kichik:

$$\nu_{mr} \approx 10^3 - 10^4 \text{ Hz} \ll \nu_L = 10^8 \text{ Hz} \text{ (YAMR uchun)}$$

MRKM metodining induksion magnit reznans metodidan farqli MRKM spin magnit momentning bo'ylama tashkil etuvchisining o'zgarishini qayt qiladi. Bu metodda yuqori ajratish qobilyati mikromgnitning ($\nabla B = 10^6 \text{ Tlm}^{-1}$) magnit maydonidagi nobirjinslilik hisobiga erishildi. Yuqori sezgirlik esa rezanotor asilligi yuqoriligi ($Q_{mech} \geq 10^5$) hisobiga erishiladi bunda rezanotor tebranishi lazer

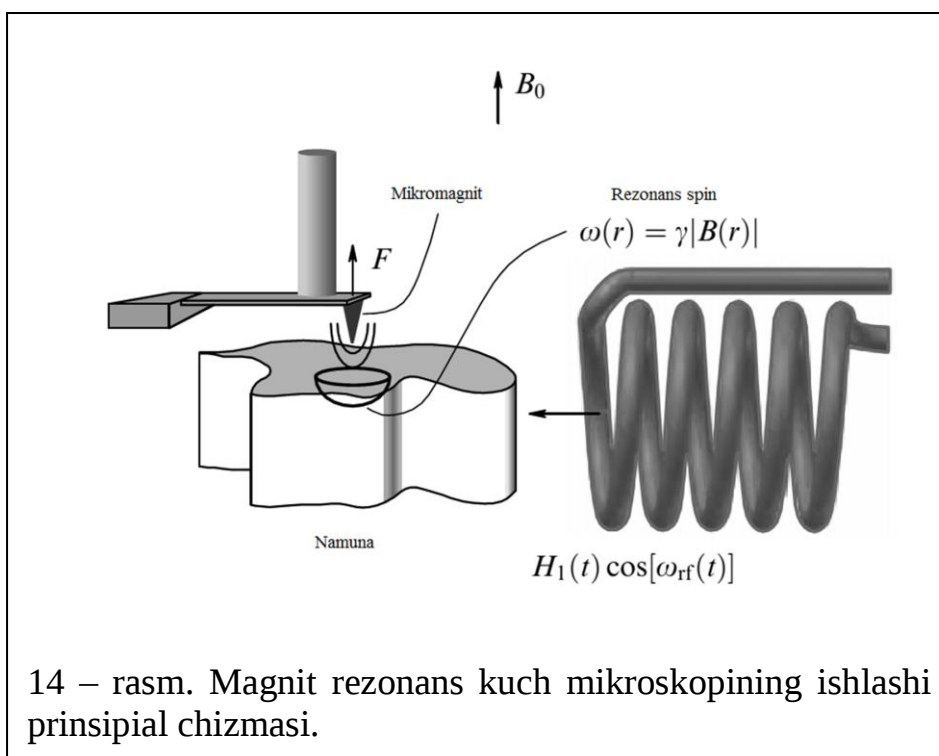
interferometriyasi metodini qo‘llash bilan qayt qilinadi.

Rezonatorning namuna sirti bo‘ylab siljishi magnit rezonans interoskop vazifasini bajarsa, skanerlash va uyg‘onish chostatasini o‘zgartirish – magnit rezonans spektroskop vazifasini bajaradi.

MRKM metodining keyingi rivoji natijasida aloxida yakkalangan spinni qayd qilish imkonini berishi mumkin.

Bu natijaga xozirda erishish arafasida turubdi.

Shu nuqtai nazardan magnit rezonansni qayt qiluvchi uchta metod asosida ishlovchi qurilmalar sezgirliklarini taqqoslash mumkin: induksion, CKBID va MRKM metodlari. Umumiy holda signal shovqin nisbat quydagicha aniqlanadi.



$$\frac{S}{N} = N_s \frac{h\gamma H \langle I^2 \rangle}{\sqrt{9\nu}} I_{arr}$$

Bunda I-spin N_s -spinlar soni H –magnit maydon I_{arr} – mos metodning aporat funksiyasi. Bu funksiyalar turli metodlar uchun quydagicha:

MRKM uchun

$$I_{arr} = |\nabla B| \sqrt{\frac{Q_{mex}}{4k_B T \sqrt{km}}}$$

CKBID metodi uchun

$$I_{arr} = \sqrt{\frac{\eta V_s}{\mu_0 \varepsilon_{SQ}^e}} \text{ bu yerda } \varepsilon_{SQ}^e \sim 10^{-3}$$

Induksin metod uchun

$$I_{arr} = \sqrt{\frac{\mu_0 Q_{EM} \omega_0 \eta V_s}{2k_B T}} = \sqrt{\frac{\mu_0 Q_{EM} \gamma H \eta V}{2k_B T}}$$

η - datchik ishchi holati to'ldirilish faqtori.

Bular ichida MRKM metodining sezgirligi juda yuqori bo'lishini aytish mumkin.

Xulosa

Biz ushbu malakaviy ishida magnit rezonans hodisasining fizik asoslari, bu hodisaning ochilishi va rivojlanshini qarab chiqdik. Shuningdek biz magnit rezonans metodlarining turlari va ularning imkoniyatlari bilan tanishdik bunda spin effektlari asosidagi hodisalar fizikasi sohasidagi fundamental izlanishlar keltirilib o'tildi. Magnit rezonans metodi spin sistemalarining fizik tadqiqod metodlari va ularning turli xil amaliy izlanishlarda qo'llash masalalariga to'xtalib o'tildi. Shuni aytish kerakki magnit rezonans metodlarining rivoji bugungi kunda ham davom etmoqda. Qutublovchi magnit maydan kuchlanganligini oshirish, metod sezgirligini oshorishning yo'li xisoblanadi. O'ta o'tkazgichlar asosidagi slenoidlardagi maydon 25 Tl (YAMR) va EPR da esa 30-40 Tl gacha yetgan. Tibbiyotada YAMR – interoskopiya bemorning xafsizligini o'ylagan holda ehtiyotkorlik bilan qo'llaniladi. Elektromagnit nurlanish kristallga tushib, uning ichiga kira borganda barcha takroriyliklarda nurlanishning yutilishi yuz beradi, ammo muayyan takroriyliklarda yutilish juda kuchli bo'ladi, ya'ni yutilishning keskin cho'qqisi vujudga keladi. Bu hodisa rezonans hodisasi deyiladi. Agar rezonans nurlanishining atomlar yadrolari spin magnit momentlari bilan o'zaro ta'siri oqibatida yuz bersa, uni *yadroviy magnit rezonans* deyiladi. Shuningdek kristall panjarasidagi kirishma atomlarining elektronlari spini bilan nurlanish o'zaro ta'sirlashganda yuz beradigan rezonansni *elektron – paramagnit rezonans* yoki *elektron – spin rezonans* deyiladi.

Agar elektromagnit nurlanish energiyasi erkin elektronlar (yoki kovaklar) yutayotgan bo'lsa, bundagi rezonans *tsiklotron* yoki *diamagnit rezonans* deb ataladi.

Sanab o'tilgan rezonanslardan yana boshqa murakkab o'zaro ta'sirdan kelib chiqadigan rezonanslar ham bor. Ayrim rezonans hodisalari ustida to'xtalamiz.

Mokroskopik obektlarning strukturasi esa magnit tomografiyasi (magnit rezonans introskopiya – MRI) – MPT metodi bilan aniqlanadi. Zamonaviy meditsinada MRT metodini boshqa metodlar bilan almashatirib bo'lmaydi. Bu hodisaga asoslangan metodlardan yana biri bu magnit rezonans kuch atom

mokroskopiya

Bunda magnit maydon kuchlanganligini katta bo'lishi tavsiya etilmaydi. Kuchli maydonlarda diamagnit va paramagnitlarga molekulalar arientatsiyasi o'zgarib ketishini ham hisobga olish kerak bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Islom Karimov “Yuksak ma’naviyat – yengilmas kuch” T.; “Ma’naviyat” 2008.
2. Парселл . Э “Электричество и магнетизм” , Берклевский курс физики, Т.2
3. Тамм И. Е “Основны теории электричества” М: Мир Рубл., 1979
4. А.В Кессених “Открытие исследования и применения магнитного резонанса” УФН Т.179.N7. 2009 г.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц “Электродинамика сплошных сред” М.: 1959 г.
6. Хеберлен У, Меринг М «ЯМР високого разрешения в твёрдых телах» М.: Мир, 1980 .
7. Г. Копфепман «Ядерные моменты » М.: ИЛ, 1960.
8. Зоммерфелд.А «Электродинамика» М.: ИЛ, 1958.
9. Larmor. J “ The influence of a magnetic field on radiation freq uency” Proc. R. Soc. London 60 514 (1896).
10. Bloch. F “Nuclear induction” Phys. Rev. 70 460 (1946).
11. Bloch F , SiegertA "Magnetic resonance for nonrotating fields" Phys.Rev.57522(1940) .
12. Abragam. A, Bleaney B Elektron Paramagnetic Resonance of Transition (Oxford: Clarendon Press, 1970) .
13. Das. T. P, Hahn. E. L Nuclear Quadrupole Resonance Spectroscopy (Solid State Physics, Suppl. 1) (NewYork:AcademicPress,1958) .
14. Lande A "Nuclear magnetic moments and their origin" Phys. Rev. 46 477 (1934).
- 15.Gerlach W, Stern O "Der experimentelle Nachweis des magnetischen Moments des Silberatoms" Z.Phys. **8** 110(1922).
16. Brix P, Dehmelt H-G “Di photographische Wirkung mittelschneller Protonen. II. Mitteilung. Messungen an Ilford – Q – Platten” Z. Phys 126728

(1949); Dehmelt H-G, Kruger H “Kernquadrupolfrequenzen in festem Dichloräthylen” *Naturwissenschaften* 37 (5) 111 (1950);

17. Hughes C E “Spin counting” *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 45 301 (2004).

18. Glazkov V N et al. “Field-controlled phase the impurity-induced magnetic ordering in the spin-Peierls magnet CuGeO_3 ”, *cond-mat/* 0404715.

19. Fermi E “Über die magnetischen Momente der Atomkerne” *Z. Phys.* 60320 (1930).

20. Kay L E “NMR studies of protein structure and dynamics” *J. Magn. Reson.* 173193 (2005).

21. Hurd R E “Gradient-enhanced spectroscopy” *J. Magn. Reson.* 87422 (1990).

22. Tolman J R, Flanagan J M, Kennedy M A, Prestegard J H “Nuclear magnetic dipole interactions in α -oriented proteins: information for structure determination in solution” *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 929279 (1995).

23. Berthier C, Julien M H, Horvatic M, Berthier Y “NMR studies of the normal state of high temperature superconductors” *J. Phys. I France* 62205 (1996).

24. Brinkmann D, Mali M “NMR-NQR studies of high-temperature superconductors”, in *NMR: Basic Principles and Progress* Vol. 31 (Eds P Diehl et al.) (Berlin: Springer-Verlag, 1994) p. 171.

25. Noginova N et al. “Magnetic resonance in nanoparticles: between ferro- and paramagnetism” *J. Phys. Condens. Matter* 19(24) 246208 (2007).

26. Carver T R, Slichter C P “Polarization of nuclear spins in metals” *Phys. Rev.* 92212 (1953).