**14-Maruza.**

**Qаttiq jism fizikаsi elementlаri. Аtom yadrosining tuzilishi vа xossаlаri.**

**Reja:**

### 1 Kristallarning tuzilishi

### 2 Kristallardagi nuqsonlar

### 3. Fononlar. Kristallarning issiqlik sig‘imi

### 4. Myossbauyer effekti

### 14.1-§ Kristallarning tuzilishi

Qattiq jismlarda zarralar (molekulalar, atomlar, ionlar) geometrik jihatdan qat’iy tartibda, ***kristall panjaralar*** hosil qilib joylashgan bo‘ladi. Zarralar o‘zlarining muvozanat vaziyati yaqinida tebranma harakat qiladilar. Zarralar qattiq jismda bir joyidan ikkinchi joyga o‘tishi mumkin, lekin bunday hol juda kam uchraydi. Shuning uchun qattiq jismlarda ham diffuziya bo‘ladi, lekin bu duffuziya gaz va suyuqliklardagiga qaraganda juda sekin o‘tadi.



**14.1-rasm**

Moddalarning qattiq, suyuq va gazsimon holatlari orasidagi farqning fizik mohiyatini molekulalarning o‘zaro ta’sir potensial egri chizig‘i yordamida yana ham aniqroq tushuntirish mumkin.

Molekulalarning hosil bo‘lish mexanizmlari muhokama etilganda, bog‘lanish tabiatidan qat’iy nazar, molekula hosil qilayotgan atomlarga ikkita kuch ta’sir etishi qayd etilgan edi: katta masofalardayoq sezilarli bo‘lgan tortishish kuchlari va kichik masofalarda paydo bo‘ladigan va masofaning kamayishi bilan keskin ortib ketadigan itarishish kuchlari 14.1 – rasmda ordinatalar o‘qi bo‘ylab molekulalar o‘zaro ta’sir potensial energiyasi *Wn* abssissa o‘qi bo‘ylab molekulalar orasidagi masofa r qo‘yilgan. Molekulalar issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi *Wk* qiymatlarini solishtirish qulayroq bo‘lishi uchun *V* potensial chuqurning tubi sathidan boshlab qo‘yamiz. Agar molekulalar issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi potensial o‘raning chuqurligidan ancha kam (*Wk « Wn (r0)*) bo‘lsa, u holda molekulalar potensial o‘raning pastki qismida qolgani holda kichik tebranishlar qila oladi xolos. Bu hol moddaning qattiq holatiga to‘g‘ri keladi.

Agar molekulalar issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi potensial o‘raning chuqurligidan bir oz kam bo‘lsa (*Wk << Wp* (*r0*)), u holda molekulalar ancha katta tebranma harakatda bo‘ladi, biroq bari bir potensial o‘rada qoladi. Bu hol moddaning suyuq holatiga to‘g‘ri keladi.

Agar molekulalar issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasi potensial o‘ra chuqurligidan ancha katta bo‘lsa (*Wk >>Wn* (*r0*)), u holda molekulalar bu o‘radan chiqib ketadi, o‘zaro bog‘lanishni yo‘qotib, erkin harakatlanadi. Bu hol moddaning gazsimon holatiga to‘g‘ri keladi (14.1-rasm)

Qattiq jism molekulalari suyuqlik moleklalariga qaraganda o‘zaro mustahkamroq bog‘langani uchun qattiq jism suyuqlikdan farq qilib, o‘zining hajminigina emas, balki shaklini ham saqlaydi. Endi qattiq jism kristall tuzilishini batafsilroq ko‘raylik.

14.2 – rasm**.**

а

а

Atomlar orasidagi masofa *r0* bo‘lganda tortishish va itarishish kuchlari tenglashadi, ya’ni ularning teng ta’sir etuvchisi nolga, sistemaning potensial energiyasi minimal qiymatga ega bo‘ladi, natijada sistema mustahkam muvozonat holatga erishadi. Bu xulosani ko‘p sonli atomlar sistemasiga ham umumlashtirsak, undagi atomlar bir-biridan bir xil masofada joylashib mustahkam tuzulishga ega bo‘lgan kristall jismni hosil qiladi. Kristallning ko‘zga tashlanadigan tashqi belgisi uning to‘g‘ri geometrik shaklda bo‘lishidir. Masalan, osh tuzining eng kichik kristali kub shaklda, muzning kristali 6 yoqli prizma shaklida, olmos kristali oktayedr (sakkiz qirrali) va hokazo shaklda bo‘ladi. Har bir kristall moddani chegaralovchi sirtlari (yoqlari) orasidagi burchak qat’iy aniq qiymatga ega bo‘ladi (osh tuzida 90°, muzda 120° va hokazo). Kristallar payvand tekisliklari deb atalgan ma’lum tekisliklar bo‘ylab oson parchalanib ketadi. Bunda huddi boshlang‘ich shakldagi, ammo kichik o‘lchamli kristallchalar hosil bo‘ladi. Masalan, osh tuzini va novvot qandini maydalaganda kichik kubchalar va to‘g‘ri burchakli parallelepipedlar hosil bo‘ladi. Bu degan so‘z, kristall jismlarda zarralar (molekulalar, atomlar yoki ionlar) bir-biriga nisbatan ***fazoviy yoki kristall panjara*** hosil qilgan holda qat’iy simmetrik joylashgan demakdir; zarralar joylashgan o‘rinlar ***panjaraning tugunlari*** deyiladi.

Eng sodda fazoviy panjara osh tuzi (*NaCl*) ning kristall panjarasi bo‘la oladi (14.2-rasm). Uning a qirrali elementar yacheykasi (rasmda, u qora chiziqlar bilan ajratilgan) natriyning musbat ionlari va xlorning manfiy ionlarlardan hosil bo‘lgan, bu ionlar kubning uchlarida joylashgan.

Fazoviy panjaralarning shakli turli-tuman bo‘lishi mumkin; panjarani hosil qilgan elementar yacheykalar bir-biriga zich, hech qanday oraliqsiz joylashishi kerak.

1890 yilda E.S. Fyodorov kristall panjaraning barcha shakllarini nazariy hisoblab chiqdi va tabiatda faqat 230 xil kristall panjaralar bo‘lishi mumkin ekanligini aniqladi, bu kristall panjaralar 32 xil simmetrik sinfni hosil qilar ekan. Kristallarni rentgen nurlari yordamida tekshirilishi kristallar simmetrik joylashib kristall panjaralar hosil qilgan zarralar (atomlar, molekulalar yoki ionlar)dan iborat ekanligi tasdiqlandi. Shuningdek, rentgen struktura analizi yordamida tabiatdagi kristall panjaralarining haqiqatdan ham 230 turdagi ko‘rinishi bor ekanligi aniqlandi.

***Anizatropiya kristallning ajoyib xususiyatidir; turli yo‘nalishlarda kristallning fizik xossalari turlicha bo‘ladi.*** Masalan, hamma kristallarga mustahkamlik anizatropiyasi xosdir; kristallarning ko‘pchiligi issiqlik o‘tkazuvchanlik, elektr o‘tkazuvchanlik, yorug‘lik nurini sindirish va boshqa jihatdan anizatropdir. Fazoviy panjaralarda uzunliklari bir xil, lekin yo‘nalishlari turlicha bo‘lgan kesmalarda zarralar sonining turlicha bo‘lishi kristallar anizatropiyasining asosiy sababchisidir. Kristall panjara zarralarining turli yo‘nalishlarda turlicha zichlikda bo‘lishi kristallning bu yo‘nalishlar bo‘ylab boshqa ko‘p xossalarining ham turlicha bo‘lishiga sabab bo‘ladi.

Kristallar ikki guruhga: ***monokristall*** jismlar va ***polikristall*** jismlarga bo‘linadi. Barcha zarralar bir umumiy fazoviy panjaraga joylashadigan jism monokristalldir. Monokristall anizatrop bo‘ladi. Ko‘pchilik minerallar monokristall bo‘ladi. Polikristall bir-biriga nisbatan tartibsiz joylashgan ko‘plab mayda monokristallchalardan tuzilgan jismdir. Shuning uchun polikristallar izotrop, ya’ni barcha yo‘nalishlar bo‘yicha bir xil fizik xossalarga ega bo‘ladi. Ko‘pchilik metallar polikristall jismlarga misol bo‘la oladi, biroq metallni monokristall ko‘rinishda ham hosil qilish mumkin.

Kristall panjaraning qanday zarralardan tuzilganligiga qarab panjaralar to‘rtta asosiy guruhga bo‘lingan: ***ion, atom, molekulyar va metall panjarali kristallar.***

**1). Ion panjarali** kristallar turli ishorali zaryadlangan ionlardan tuzilgan bo‘lib, panjarada ionlarni elektr kuchlari tutib turadi. Ko‘pchilik kristallar ion panjaralidir (masalan, *Na Cl*).

**2). Atom panjarali** kristallar panjara tugunchalarida kimyoviy (kovalent) bog‘lanishlar bilan tutib turiladigan neytral atomlardan tuzilgan: qo‘shni atomlarda tashqi (valent) elektronlar umumiy bo‘ladi. Masalan, grafit, olmos kristallari atom panjaralidir.

**3).Molekulyar panjarali** kristallar – qutbiy (dipol) molekulalardan tuzilgan bo‘lib, bu molekulalar ham tugunlarda elektr kuchlari bilan tutib turiladi. Biroq qutbiy molekulalarga bu kuchlar ionlarga ta’sir qilgandan kamroq kuch bilan ta’sir qiladi. Shuning uchun molekulyar panjarali moddalar oson deformatsiyalanadi. Ko‘pchilik organik birikmalar (sellyuloza, rezina, parafin va boshqalar) molekulyar kristall panjaradan tuzilgan bo‘ladi.

**4). Metall panjarali** kristallar – erkin elektronlar bilan o‘ralgan metallning musbat ionlaridan tuzilgan. Metall panjaraning ionlarini ana shu elektronlar bog‘lab turadi. Hozirgi zamon fizikasi kristall qattiq jismlardan tashqari ***amorf jismlarni*** ham o‘rganadi. Amorf jismlar polikristallarga o‘xshab ***izotropdir.*** Amorf jismlarga misol qilib, qora mo‘m, shisha, smola, kanifol va shunga o‘xshashlarni olish mumkin.

Keyingi vaqtlarda texnikada ***organik amorf*** moddalar, ya’ni ***polimerlar*** keng tarqaldi.

Polimerlarning tipik vakili plastmassalardir. Yuksak elastiklik va mustahkamlik polimerlarning juda muhim xossasi hisoblanadi.

### 14.2 . Kristallardagi nuqsonlar

Agar kristall panjarada atomlar barcha kristall yo‘nalishlarida bexato davriy ravishda joylashgan bo‘lsa, bunday kristall ***ideal kristall*** deyiladi. Real kristallarda turli sabablarga ko‘ra nuqsonlar uchrab turishi yuqorida qayd etilgan usullar bilan isbotlangan.

Kristall panjaraning nuqsonlari ularning mexanik, issiqlik, elektr va boshqa fizik – kimyoviy xossalariga katta ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun nuqsonlarning asosiy turlari va hosil bo‘lish sir-asrorlari bilan qisqacha tanishib o‘taylik.

Kristall ichidagi to‘planish joyiga qarab nuqsonlar: nuqtaviy, chiziqli va hajmiy nuqsonlarga bo‘linadi.

Issiqlik harakati tufayli kristall panjara tugunlaridagi atomlar o‘z joylarini tark yetib (14.3-rasm) tugunlar orasiga o‘tib olsa, bunday nuqsonni nuqtaviy yoki Frenkel nuqsonlari deyiladi.



**14.3-rasm**



**14.4-rasm**

Atomi ketib qolgan joyni «vakant» joy deb ataladi. «Vakant», ya’ni bo‘sh joylar qo‘shni tugundagi atomlar tomonidan egallanishi va natijada atomlarning (tugunlarning) kristall bo‘ylab estafetali harakati sodir bo‘lishi mumkin. Nuqtaviy nuqsonlar sirt qatlamlardagi atomlarning birortasini butunlay bug‘lanib ketishi yoki bug‘langan atom kristall sirtida yangi qatlam tugunini hosil qilishi tufayli ham sodir bo‘lishi mumkin (14.4-rasm). ***Bunday nuqsonlarni Shottki nuqsonlari deyiladi***. O‘z joyini yo‘qotgan atomlar «vakant» joylarga yaqinlashganda ularda ushlanib qolishi natijasida «Vakant» joyni to‘ldirishi mumkin. Bu hodisani nuqsonlarning ***rekombinatsiyasi*** deyiladi. Nuqsonlarning hosil bo‘lishidan rekombinatsiyalanishgacha o‘tgan vaqtni nuqsonlarning ***yashash vaqti*** deyiladi. Nuqtaviy nuqsonlar kristall panjaraga begona element atomlari kirib qolganda ham hosil bo‘ladi. Bunda begona atom tugunlarining biriga yoki ularning oralig‘iga joylashishi mumkin. Natijada kristallning shu joyi deformatsiyalanadi (14.5-rasm). ***Chegaraviy yoki vintli deb atalgan dislokatsiyalarni chiziqli nuqsonlar*** deyiladi. Ular kristallarda tashqi kuchlar ta’sirida noelastik siljish deformatsiyasi sodir bo‘lganda kuzatiladi. Tashqi muhit bilan ta’sirlashish natijasida kristall sirtga begona element atomlarining o‘tirib qolishi hamda shu tufayli sirtda oksid qatlamlarini hosil bo‘lishi sirt nuqsonlariga kiradi. Shuningdek, kristall panjaraning ayrim joylarida fazoviy yo‘nalishlarning o‘zgarib qolishi tufayli ichki nuqsonlar paydo bo‘ladi.

Kristall ichida to‘planib qolgan nuqtaviy nuqsonlar, darz ketgan joylar, bo‘shliqlar, stexiometriyaning buzilishi (qattiq eritmalarda) hajmiy nuqsonlarni tashkil yetadi.



### 14.3. Fononlar. Kristallarning

### issiqlik sig‘imi

Zarralarning kristall panjara tugunlarida joylashishi, ularning o‘zaro potensial energiyasining minimum bo‘lishiga mos keladi. Zarralar muvozanat vaziyatidan har qanday yo‘nalishida siljiganda zarrani boshlang‘ich vaziyatiga qaytarishga intiluvchi kuch paydo bo‘ladi, buning natijasida zarra tebranma harakatga keladi. Ixtiyoriy yo‘nalishda sodir bo‘layotgan tebranishni uchta koordinata o‘qlari yo‘nalishida bo‘layotgan tebranishlarning qo‘shilishi deb tasavvur qilish mumkin. Shunday qilib, kristalldagi har bir zarraning uchta tebranma erkinlik darajasi bor, deb hisoblash mumkin. Dyulong va *Pti* qonunining ta’kidlashicha, kristall holatdagi barcha oddiy kimyoviy jismlarning panjaraviy molyar issiqlik sig‘imi 3R ga teng. Amalda bu qonun yetarlicha yuqori haroratlar uchun bajariladi. Past haroratlarda esa kristallarning issiqlik sig‘imi kamayadi, harorat *OK* ga yaqinlashganda issiqlik sig‘imi ham nolga yaqinlashadi.

Issiliqlik sig‘imining kvant nazariyasi Eynshteyn tomonidan yaratildi. Debay esa uni takomillashtirdi. Eynshteyn N ta atomdan tashkil topgan kristall panjarani bir-biri bilan bog‘liq bo‘lmagan 3N garmonik ossillyatorga o‘xshatdi. Bu ossillyatorlarning barchasi birday ω chastota bilan tebranishi va energiyasi kvantlangan qiymatlarga egaligini e’tiborga olib Eynshteyn kristall panjaraning issiqlik sig‘imi uchun quyidagi formulani hosil qildi:

 (14.1)

Bu ifodani yuqori va past haroratlar uchun muhokama qilaylik.

1. Yuqori haroratlarda (ya’ni *KT>>ω* bo‘lganda) (14.1) ifodaning maxrajidagi va sur’atdagi deb hisoblasak, issiqlik sig‘imi formulasi quyidagi ko‘rinishga keladi:

 (14.2)

Bu munosabat Dyulong va Pti qonunining o‘zginasidir.

2. Past haroratlarda (ya’ni *kT<<ω* bo‘lganda) (14.1) ifoda maxrajidagi 1 ni e’tiborga olmasak:

 (14.3)

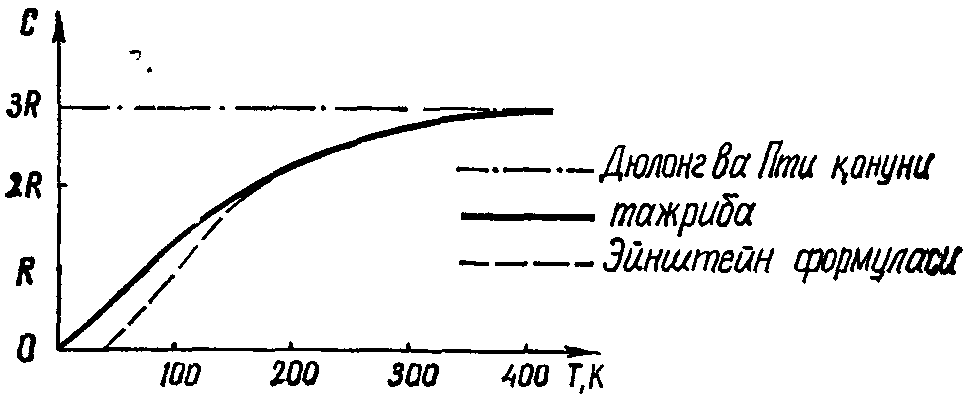
ifodani hosil qilamiz. 14.6 – rasmda alyuminiy uchun issiqlik sig‘imining tajribadan olingan va nazariy qiymatlari asosida chizilgan grafiklari tasvirlangan. Grafikdan ko‘rinadiki, Eynshteyn nazariyasi past haroratlarda issiqlik sig‘imining o‘zgarishini sifat jihatdan tushuntiradi.

Dyuling va Pti qonuni

tajriba

Eynshteyn formulasi

Yuqorida ko‘rdikki, kristall jismlarning atomlari o‘zaro mustahkam bog‘langan holda fazoviy aniq qonuniyatlar bo‘yicha joylashib kristall panjarani hosil qiladi. Undagi biron atom muvozanat holatdan chiqarilsa, uning ta’siri qolgan barcha atomlarga ham uzatiladi, ya’ni panjaradagi biron atomning tebranishi barcha yo‘nalishlar bo‘yicha tarqaladi. Shuning uchun kristallning alohida atomining harakatini kuzatish o‘rniga ularning birgalikdagi kollektiv harakatini kuzatish qulay. Atomlarning birgalikda tebranma harakati kristall bo‘ylab tarqalayotgan elastik to‘lqinlarni hosil qiladi. Bu to‘lqinlarning kristall chegarasidan qaytishi va interferensiyalanishi esa turg‘un to‘lqinlarni hosil qiladi. Ularning soni kristallning erkin darajasi 3*N* ga teng. Bu to‘lqinlar kristallda tarqala oladigan tovush to‘lqinlaridan iboratdir. Kristall panjaradagi atomlar – kvant ossillyatorlardan birortasini ω1 chastota bilan tebranishi tufayli kristall bo‘ylab tarqalayotgan tovush to‘lqinlarini *ω1* energiyali «zarra»lar oqimining vujudga kelishidir, deb tavsif etish mumkin. «Zarra» so‘zini qo‘shtirnoq ichida yozish o‘rniga ***kvazizarra*** degan so‘zdan foydalaniladi. Bu so‘z zarrachaga o‘xshash degan ma’noni anglatadi. Tovush to‘lqiniga mos keluvchi kvazizarraga alohida ***fonon*** degan nom berilgan.



**14.6 - rasm.**

Demak, kvant mexanikasi nuqtai nazaridan fonon *E=ω* energiyaga va  impulsga ega bo‘ladi. Fononning ko‘p xossalari zarraga o‘xshaydi, lekin oddiy zarralar (elektron, proton, foton,…)dan farq qilib, fonon vakuumda vujudga kelmaydi. Fononning fotonga o‘xshashlik xususiyatlari mavjud. Masalan, elektromagnit nurlanishni juda kichik teshikka ega bo‘lgan berk kovak idish (absolyut qora jism timsolidagi kovak idish) to‘ldirilgan foton gaz deb tasavvur qilingan edi. Kristtal panjara tebranishlarini esa kristall bo‘lagininng sirtlari bilan chegaralangan hajmni to‘ldirgan fonon gazi tarzida tasavvur etish mumkin. Fotonlar va fononlar uchun (21.6) dagi *μ=0*. Shuning uchun Boze-Eynshteyn taqsimoti quyidagi ko‘rinishga keladi:

 (14.4)

Boze-Eynshteyn statistikasini fonon gaziga qo‘llash tufayli Debay kristall panjaraning issiqlik sig‘imini past haroratlar sohasida tajribaga miqdoriy mos holda tushuntirishga erishdi.

### 14.4. Myossbauyer effekti

1904 yilda Vud natriy (Na) bug‘lariga sariq to‘lqin uzunligidagi nur tushirganda bu bug‘lar huddi shunday to‘lqin uzunligidagi nurlar chiqarib shu’lalana boshlashini aniqladi. Keyinchalik simob (*N*g) va boshqa elementlarda ham shunday hodisalar kuzatildi. Bu hodisani ***rezonans nurlanish*** va ***rezonans yutilish*** deb atala boshlandi.

Bunday atomlar asosiy holatdan eng yaqin uyg‘ongan holatga o‘tganda *ω* chastotaga ega bo‘lgan fotonlari *ΔE=ω*  energiyali nurni intensiv yutadi, so‘ngra asosiy holatga qaytishda shunday *ω* chastotali nurlarni chiqaradi (14.7 rasm).



**14.7-rasm**

Fluoressensiyalanuvchi moddadan o‘tgan yorug‘lik yutilishi tufayli susayadi. Shu sabbali rezonans Fluoressensiyani ko‘pincha yorug‘likning rezonans yutilishi deb ataladi.

Atom yadrolari atomlarning o‘zi kabi diskret energiya sathlariga ega. Yadro sathlari orasidagi o‘tishlarni *γ*-nurlar hosil qiladi. Atomlarga ko‘rinadigan nurlar tushganda hosil bo‘ladigan rezonans Fluoressensiyaga o‘xshash, yadrolarga *γ*-nurlari tushganda ham Fluoressensiya sodir bo‘ladi deb o‘ylash mumkin. Lekin, *γ*-nurlarda rezonans Fluoressensiya hodisasini kuzatishga uzoq vaqt muvaffaq bo‘linmadi.

Noaniqlik munosabatlariga asosan barcha uyg‘ongan energetik yadro sathlari quyidagi energiya qiymatlariga ega bo‘ladi:

. (14.5)

bu yerda Δ*t* – yadroni uyg‘ongan holatda yashash vaqti:  da bu asosiy holatga mos keladi. Yadro uyg‘ongan holatdan asosiy holatga o‘tish uchun ketgan vaqtda u *γ* - nurlarini chiqaradi (monoxromatik bo‘lmagan). Yadrolar tomonidan *γ* - nurlarining rezonans yutilishi deb shunday *γ* - nurlar yutilishiga aytiladiki, bu nurlarning *ω* chastotasi, asosiy holat bilan uyg‘ongan holatlardan biri orasidagi energiya ω ga teng bo‘ladi.

Yadro E2 uyg‘ongan holatdan asosiy holatga o‘tganda (*E1*) *γ* nurlar.

 (14.6)

bu yerda *Wya*– yadro olgan tepkili energiya. Aksincha, yutilishida esa

. (14.7)

Yutilish va nurlanish chiziqlarida chastotalar bir-biriga nisbatan

 (14.8)

ga siljigan bo‘ladi.

Energiya  kvant nurlanish va yutilishda yadroga beradigan umumiy tepki energiyasidir.

Yadroga berilgan *Wya* tepki energiya foton impulsi Pf bo‘yicha aniqlanadi, bunda yutilish va nurlanish vaqtida yadro tepki impulsini *Pf=Pya* ni olamiz:

. (14.9)

Shu sababdan alohida yadro uchun rezonans yutilish hodisasi kuzatilmaydi.

Kristall panjaradagi yadrolarda *γ* - nurlarini yutilishi yoki nurlanishida yadroga beradigan tepki energiya keskin kamayadi, chunki bu holda yadro olgan impuls va tepkili energiya bitta yadroga emas, butun kristall panjaraga beriladi. Kristallning massasi yadro massasidan katta, yutilishda va nurlanishda yo‘qoluvchi energiya *Wya* juda kichik bo‘ladi. Bunday holda *γ* - fotonlarning rezonans yutilishi va nurlanishi kuzatiladi, bu rezonans ma’lum chastota *ω* ga mos keladi. Buning kengligi tabiiy kenglikka mosdir.

*γ* - nurlarini (tepkili) energiya yo‘qotmasdan rezonans nurlanishiga (yutilishiga) ***Myossbauer effekti*** deyiladi.

1958 yilda Germaniyalik yosh fizik R.Myossbauer bayon etilgan muammoni hal qilish yo‘lini ishlab chiqdi. *γ* - nurlanish chiqarayotgan yadroning «tepki»sini kamaytirish uchun nihoyat past haroratlardan foydalandi. Manba va nishon 88K haroratgacha sovutildi. Bunday past haroratlarda kristalldagi yadrolarning issiqlik tebranishlari shu qadar kamayib ketadiki, kristall parchasi faqat mustahkam yagona sistemadek harakatlanishi mumkin, xolos. Bunday kristall tarkibida biror yadro *γ* - nurlanish chiqarganda «tepki»ni shu yadroning o‘zi emas, balki yaxlit kristall parchasi oladi.

Natijada nishonga tushayotgan *γ* - nurlanish energiyasi yadroni uyg‘otishga yetarli bo‘ladi. Shuning uchun Myossbauer amalga oshirgan tajribalarda *γ* - nurlanishning rezonans yutilishi kuzatiladi.

**Savollar**

1. Kristall jismlar qanday tuzilishga ega va ularni necha turi mavjudligini ayting?
2. Kristall panjaraning qanday zarralardan tuzilganligiga qarab panjaralar nechta asosiy guruhga bo‘lingan, ular qaysilar?
3. Kristallarda qanday nuqsonlar uchraydi?
4. Past va yuqori temperaturalarda kristallarning issiqlik sig‘imi qanday bo‘ladi?
5. Fonon deganda nimani tushunasiz? Fononning fotonga o‘xshashlik xususiyatlarini gapiring.
6. Fonon gaziga Boze-Eynshteyn statistikasini qo‘llash tufayli Debay kristall panjaraning issiqlik sig‘imi uchun nimaga erishdi?