

D.R. DJURAYEV, A.A. TURAYEV,  
SH.SH. FAYZIYEV, B.A. HIKMATOV

# FIZIKANING ZAMONAVIY TADQIQOT USULARI

BUXORO-2022

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLYIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI  
BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI**

**D.R. DJURAYEV, A.A. TURAYEV,  
SH.SH. FAYZIYEV, B.A. HIKMATOV**

**FIZIKANING ZAMONAVIY TADQIQOT  
USULLARI**

**O'quv qo'llanma oliy o'quv yurtlarining 70530901 – Fizika  
(yo'nalishlar bo'yicha) magistratura mutaxassisligi  
talabalari uchun mo'ljallangan**

**Buxoro – 2022**

**КБК 22.3ya73**

**UO'K 53(075.8)**

**F 58**

D.R. Djurayev, A.A. Turayev, Sh.Sh. Fayziyev, B.A.Hikmatov.  
Fizikaning zamonaviy tadqiqot usullari. 247 b.

### **ANNOTATSIYA**

Ushbu o'quv qo'llanma Oliy o'quv yurtlarining 70530901 – Fizika (yo'nalishlar bo'yicha) magistratura mutaxassisligi talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, fizikaning zamonaviy taqqiqot usullari turlari, tavsiflari, tasniflari va ularni turli tadqiqot obyektlari va jarayonlarni o'rganishda amaliy qo'llash prinsiplari va metodikalari bo'yicha bilim, malaka va ko'nikmalarni shakllantirishdan iborat.

### **АННОТАЦИЯ**

Учебник предназначен для студентов специальности 70530901 – Физика (по отраслям) высших учебных заведений, виды, описания, классификации современных методов исследования в физике и их применение к различным объектам исследования и процессам. Формирование знаний, умений и навыков по принципы и методы практического применения в обучении.

### **ANNOTATION**

This manual is intended for students of the specialty 5A140201 - Physics (by branches) of higher educational institutions, types, descriptions, classifications of modern research methods in physics and their application to various objects of research and processes. Formation of knowledge, skills and abilities on the principles and methods of practical application in learning.

### **TAQRIZCHILAR**

Buxoro muxandislik texnologiya instituti  
“Fizika” kafedrası professori, f.-m.f.d., (DSc)

**M.R.Jumayev**

Buxoro davlat universiteti  
“Fizika” kafedrası dotsenti, f.-m.f.n.

**Q.S.Saidov**

**ISBN 978-9943-8615-6-5**

## MUNDARIJA

<b>KIRISH</b>	.....	<b>5</b>
<b>I BOB</b>	<b>Fizikaviy tadqiqot usullari turlari va tasniflari.....</b>	<b>7</b>
1.1	Klassik va zamonaviy tadqiqot usullarida fizik o'lchash prinsiplarining qo'llanishi.....	7
1.2	Analizning fizik-kimyoviy usullari.....	11
1.3	Optik analiz usullari.....	12
1.4	Tadqiqot obyektlari va usullari tasniflari.....	14
<b>II BOB.</b>	<b>Atom va molekular identifikatsiyasi.....</b>	<b>19</b>
2.1	Yadro magnit rezonans, ultrabinafsha, infraqizil va mass-spektroskopiyalar.....	19
2.2	Yadro magnit rezonans hodisasining mohiyati.....	22
2.3	Ultrabinafsha spektroskopiya.....	31
2.4	Infraqizil spektroskopiya.....	33
2.5	Mass spektroskopiya.....	41
<b>III BOB</b>	<b>Molekulyar birikmalar massalari va shakllari.....</b>	<b>44</b>
3.1	Quyida, organik va yuqori molekulyar birikmalar massalari, konfiguratsiyasi va konformatsiyasi.....	44
3.2	Polimer zanjirining konformatsiyasi. Zanjir bukiluvchanligi...	48
3.3	Xromotografiya va uning turlari. Yuqori effektiv yuqqa qatlamli xromatografiya.....	51
3.4	Polyarizatsion diffuzometr, osmometriya, viskozimetriya. Polimerlarning molekulyar massasi va molekulyar-massaviy taqsimlanishi.....	71
<b>IV BOB</b>	<b>Ustmolekulyar strukturalarni aniqlash.....</b>	<b>78</b>
4.1	Amorf va kristall moddalar.....	78
4.2	Rentgen strukturaviy tahlil.....	87
4.3	Neytronografiya.....	110
<b>V BOB</b>	<b>Mexanik xossalarni aniqlash.....</b>	<b>115</b>
5.1	Mexanik mustahkamlik, deformatsiya, destruksiya, mexanokimyoviy jarayonlar.....	115
5.2	Uzish mashinalari, zarbali qovushoqlik, qovushoq	130

	parchalanish, mexanik anizotropiyani aniqlash usullari.....	
<b>VI BOB</b>	<b>Termik xossalar va usullar.....</b>	<b>135</b>
6.1	Teplofizik jarayonlar va fazaviy o'tishlar.....	135
6.2	Derivatografiya - termik tahlil. Termik suyuqlanish va oquvchanlik.....	140
6.3	Reometriya va termoreogrammlar.....	147
<b>VII BOB</b>	<b>Elektrofizik va magnit xossalar tadqiqotlari.....</b>	<b>149</b>
7.1	O'tkazgichlar va yarimo'tkazgichlar tavsiflarini aniqlash usullari va asboblari.....	149
7.2	Yarimo'tkazgichlarda kirishmalarning o'zaro ta'sirlashuvi.....	161
7.3	Ferro-, para- va diamagnetiklar tavsiflarini aniqlash usullari...	167
<b>VIII BOB</b>	<b>Optik va lazer texnikasi usullari.....</b>	<b>171</b>
8.1	Optik spektraskopiya turlari va usullari. Magnitoptik usullar.	171
8.2	Yorug'likning sochilish usullari.....	178
8.3	Lazer texnikasi tadqiqot usullari. Sensorlar.....	183
<b>IX BOB</b>	<b>Sirt va biofaol funksional xossalarni tadqiqot usullari.....</b>	<b>208</b>
9.1	Potensiometriya, konduktometriya, elektroliz, adsorbsiya.....	208
9.2	Zeta potensial, diffuzometriya, filtratsiya.....	215
9.3	Biostimulyatsiya va degradatsiya.....	218
<b>X BOB</b>	<b>Nanofizika va nanotexnologiya tadqiqot usullari.....</b>	<b>220</b>
10.1	Elektron mikroskopiya, atom kuchaytirgichli mikroskopiya, tunnel mikroskopiya.....	220
10.2	Lazerli nanotexnologiyalar.....	235
	<b>FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI</b>	<b>247</b>

## KIRISH

Bugungi zamonaviy jamiyatda inson faoliyatining eng keng sohalaridan biri-bu ta'lim hisoblanadi. Oxirgi yillarda ta'limning ijtimoiy roli ortib, dunyoning aksariyat davlatlarida ta'limning barcha turlariga bo'lgan munosabat o'zgardi. Ta'lim ijtimoiy va iqtisodiy taraqqiyotning bosh, yetakchi omili sifatida qaralmoqda. Bunday e'tiborning sababi zamonaviy jamiyatning eng muhim qadriyati va asosiy kapitali - bu yangi bilimlarni izlash, egallash va nostandart qarorlar qabul qilishga qodir bo'lgan inson hisoblanadi. Shunday ekan, hozirgi davrda ta'lim shaxs va jamiyatni rivojlantirishda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Mamalakatimizning har tomonlama rivojlanishi ko'p jihatdan oliy ta'lim muassasalari yetishtirib beradigan mutaxassislarning bilimi va saviyasi bilan chambarchas bog'liq, chunki bu kadrlar yosh avlodni o'qitishdan tortib to turli texnologik jarayonlarni boshqarishgacha bo'lgan murakkab va mas'uliyatli vazifalarni bajaradilar.

Oliy ta'lim tizimida magistraturada tahsil olayotgan talabalarga "Fizikaning zamonaviy tadqiqot usullari" fanini o'qitishdan maqsad – fizikaning zamonaviy tadqiqot usullari turlari, tavsiflari, tasniflari va ularni turli tadqiqot obyektlari va jarayonlarni o'rganishda amaliy qo'llash prinsiplari va metodikalari bo'yicha bilim, malaka va ko'nikmalarni shakllantirish.

Fanning vazifasi - zamonaviy tadqiqot usullari, ular qo'llanadigan obyektlar va jarayonlar haqida tizimli bilim berish, obyektlarning tuzilishi, xossalarini, fizik jarayonlarni o'rganishda tadqiqot usuli yoki usullarini kompleks qo'llash, o'lchash va kuzatish natijalarini tahliliy qayta ishlash va taqdimot qilish asoslarini o'rgatishdan iborat. Hozirgi ilm-fanda moddaning tuzilishi va uning xossalarini aniqlashda, ularda kechadigan fizik va kimyoviy jarayonlarni o'rganishda asosan zamonaviy fizikaviy tadqiqot usullaridan foydalaniladi.

Fanning maqsad va vazifalaridan kelib chiqqan holda ushbu o'quv qo'llanmada fizikaviy tadqiqot usullarining turlari va tasniflari, ularning rivojlanish bosqichlari va bugungi kunda ilm-fan va sanoatda foydalanilishi; atom va

molekulalarning tuzilishi hamda ularni o'rganuvchi spektraskopiya turlari; molekulyar birikmalar massalari va shakllari, konformatsiyasi, xromatografiya turlari; moddalarning mexanik, teplofizik, elektrofizik va magnit xossalarini tadqiq qilish jarayonlari; optik xossalar va lazer texnologiyalardan foydalanish; nanofizika rivojlanishi va nanotexnologiyalar ishlab chiqarilishi kabi mavzularda atroflicha ochib berilgan hamda tahlil qilingan. Zamonaviy o'lchov asboblari, laboratoriya qurilmalarining ishlash prinsiplari, rivojlanish bosqichlari va ulardan turli sohalarda foydalanish darajasi ko'rsatib o'tilgan.

Ushbu o'quv qo'llanmadagi ma'lumotlarni o'zlashirish zamonaviy izlanuvchi talabalarning ilmiy darajasini yanada yuqori bosqichga olib chiqishiga umid bildirib qolamiz.



## I BOB. FIZIKAVIY TADQIQOT USULLARI, TURLARI VA TASNIFLARI.

### 1.1. Klassik va zamonaviy tadqiqot usullarida fizik o'lchash prinsiplarining qo'llanishi.

*O'lchash turlari va usullari.* Har qanday kattalikning sonli qiymatini o'lchash amali bilan topish, ya'ni ushbu kattalikni birga teng deb olingan shu xildagi kattalikdan necha marta katta yoki kichik ekanligini aniqlash mumkin.

O'lchash deb, o'lchanadigan kattalikni fizikaviy kattalik yordamida xuddi shu turdagi birlik sifatida qabul qilingan miqdor bilan taqqoslash natijasiga aytiladi. Har qanday o'lchash o'lchanayotgan kattalikning ishlatish, o'zgartirish, uzatish yoki qayta ishlashlar uchun qulay shakldagi ifodasini aniqlashdir.

*O'lchash turlari.* O'lchash natijasini hosil qilish usuliga ko'ra bevosita, bilvosita va birgalikda o'lchash turlari mavjud.

Bevosita o'lchash turida o'lchanayotgan kattalikning qiymati bevosita tajriba natijasida topiladi. Masalan, tokni ampermetr, quvvatni vattmetr, haroratni termometr yordamida o'lchash. Taqqoslash asboblari yordamida noma'lum kattalik qiymatini o'lchash ham bevosita o'lchash turiga kiradi.

Bilvosita o'lchashda o'lchanayotgan kattalikning qiymati u bilan ma'lum bir bog'lanishda bo'lgan boshqa bir kattaliklarni bevosita o'lchash natijasiga ko'ra aniqlanadi. Bu o'lchash turida o'lchanayotgan kattalikning qiymati quyidagi formula yordamida topiladi:

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

bu yerda:  $Y$  – o'lchanayotgan kattalikning qiymati,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – asboblari yordamida bevosita o'lchangan kattaliklar qiymatlari.

O'zgarmas tok zanjirining quvvati  $P$  ni ampermetr va voltmetr yordamida o'lchangan tok  $I$  va kuchlanish  $U$  qiymatlariga ko'ra  $P = UI$  formula yordamida topish yoki o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligini uning asboblari yordamida o'lchangan qarshiligi, uzunligi va ko'ndalang kesimi yuzasi asosida aniqlash bilvosita o'lchash turiga misol bo'la oladi.



Taqqoslash usulida o'lchanayotgan kattalik qiymati avvaldan ma'lum bo'lgan o'lchov bilan taqqoslanadi. Bu usulning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, o'lchash jarayonida o'lchov bevosita ishtirok etadi. Taqqoslash usuli nol, differensial, qarama-qarshi qo'yish, almashlash va mos tushish usullariga bo'linadi.

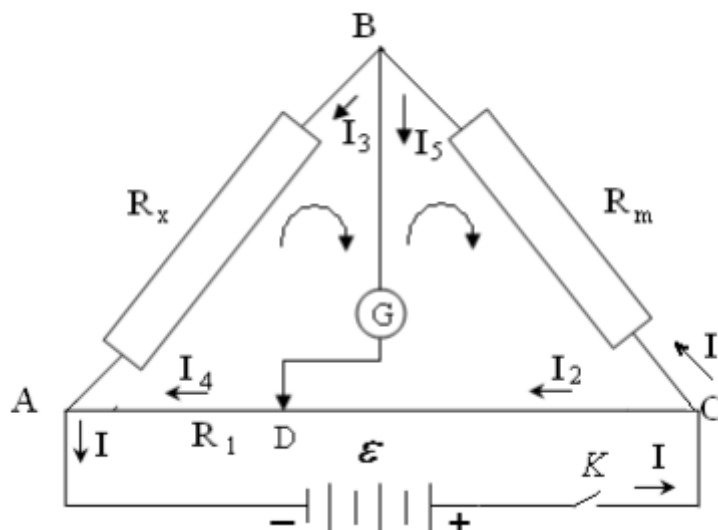
Nol usuli o'lchanayotgan kattalikni o'lchov bilan bir vaqtda yoki davriy ravishda taqqoslovchi usul bo'lib, unga ko'ra muvozanat ko'rsatkichi (nol indikator) ga ta'sir etuvchi natijaviy taqqoslanish samarasi nolgacha kamaytiriladi. Bu usulga elektr qarshiligining to'la muvozanatlanishiga asoslangan ko'prik sxemasi bilan o'lchash misol bo'lishi mumkin. Ko'prik sxemasidagi o'lchovning aniqligi juda yuqori va nol-indikatorning sezgirligi katta bo'lganligi sababli o'lchash aniqligi yuqori bo'ladi.

Differensial usulda asbob o'lchanayotgan kattalik bilan o'lchov qiymatlari farqini ko'rsatadi. Bu usulning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, o'lchash jarayoni mobaynida o'lchanayotgan kattalikning qiymati o'lchov qiymati bilan qisman muvozanatlashadi. Qarshilikni muvozanatlashmagan ko'prik sxemasi yordamida o'lchash differensial usulga misol bo'la oladi. Bu usulning aniqligi o'lchanayotgan kattalik va o'lchovning bir-biridan qancha farq qilishiga bog'liq. Ushbu farq qancha kam bo'lsa, usulning aniqligi shuncha yuqori bo'ladi.

Qarama-qarshi qo'yish usulida o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlari bir vaqtda taqqoslash qurilmasiga ta'sir etadi. Agar aniqligi yuqori bo'lgan ko'p qiymatli o'lchov va soddaroq tuzilishga ega bo'lgan taqqoslash qurilmasi bo'lsa, bu usul qulay hisoblanadi.

Almashlash usulida o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlari ketma-ket bitta asbob bilan o'lchanadi. Ikkita o'lchash natijasi hamda o'lchanayotgan kattalikning izlanayotgan qiymati topiladi. Qarshilikning qiymatini rostlanuvchi o'lchov (qarshiliklar magazini) va o'zgarmas tok ko'prigi (Uitson ko'prigi) yordamida o'lchash bu usulga misol bo'lishi mumkin. (1.1-rasm.) Bunda avval qiymati o'lchanayotgan qarshilik ko'prik yelkasiga ulanib, muvozanat holatiga keltiriladi. Keyin qarshilik o'rniga rostlanuvchi o'lchov ulanadi va uning qiymatini

rostlab, ko'prik yana muvozanatga keltiriladi. Rostlanuvchi o'lchov qiymati noma'lum qarshilikning qiymatiga teng bo'ladi.



**1.1-rasm. Uitson ko'prigining sxemasi.**

Laboratoriya ishlarida noma'lum qarshiliklarni ( $R_x$ ) o'lchash uchun Uitson ko'prigidan keng foydalaniladi. A va C nuqtalar "K" kalit orqali tok manbaiga ulangan. Bu nuqtalar orasida reoxord deb ataluvchi darajalangan chizg'ich ustiga tortilgan bir jinsli ingichka sim ulanadi. Reoxordning A va C nuqtalariga no'malum qarshilik ( $R_x$ ) hamda qarshiliklar magazinidan olinuvchi ma'lum qarshilik ( $R_m$ ) parallel ulanadi. B va D nuqtalar orasiga G galvonometr ulanib, kontakti reoxord bo'yicha harakatlanadi. Uitson ko'prigining ishlash prinsipi Kirxgof qonunlarining qo'llanishiga asoslangan.

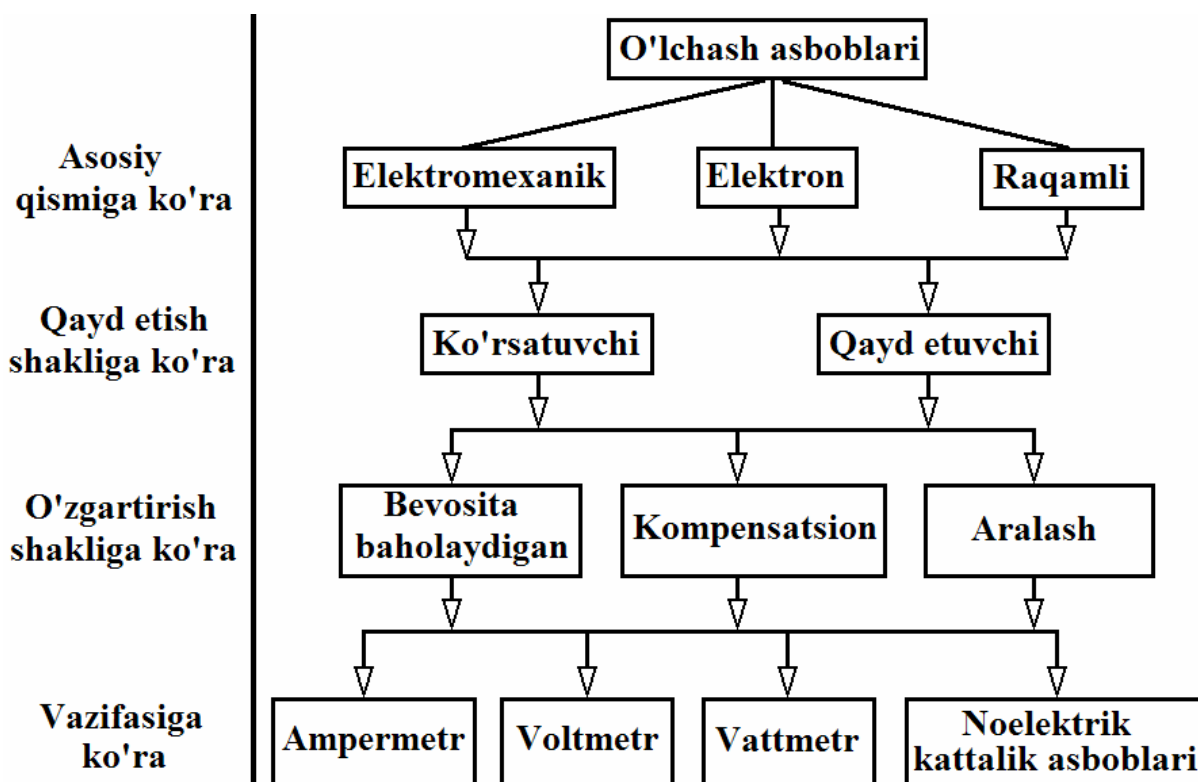
Mos tushish usuliga ko'ra o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlarining farqi asbob shkalasidagi yoki davriy signalidagi belgiga mos kelishi asosida o'lchanadi. Bu usul noelektrik kattaliklarni o'lchashda keng qo'llaniladi. Bunga uzunlikni noniusli shtangensirkul, jism aylanish chastotasini stroboskop yordamida o'lchash misol bo'la oladi. O'lchanayotgan kattalikning o'lchash jarayonida o'zgarishi xarakteriga ko'ra statik va dinamik o'lchashlarga ajratiladi.

Statik o'lchashlarga qiymati o'lchash jarayoni mobaynida o'zgarmaydigan kattaliklarni o'lchashlar kiradi. Bunga o'zgarmas kattaliklarni o'lchashdan tashqari, davriy o'zgaruvchan kattaliklarning turg'un rejimidagi o'lchashlar ham

kiradi. Masalan, o'zgaruvchan kattalikning amplituda, effektiv va boshqa qiymatlarini turg'un rejimida o'lchash.

Dinamik o'lchashlarga qiymatlari o'lchash jarayonida o'zgarib turadigan kattaliklarni o'lchashlar kiradi. Masalan, vaqt bo'yicha o'zgaradigan kattalikning oniy qiymatini o'lchash dinamik o'lchashga kiradi.

**O'lchash asbolarining klassifikatsiyasi.** O'lchash asboblari asosiy qismi, qayd etish shakli, o'zgartirish shakli va vazifasiga ko'ra klassifikatsiyalanadi. (1.2-rasm).



**1.2-rasm. O'lchash asboblarning turlari.**

Tarkibida elektron (elektrovakuum, ion va yarim o'tkazgichli) qismlar bo'lmagan o'lchash asboblari elektromexanik asboblardir, tarkibida elektron qismlari bo'lgan o'lchash asboblari esa elektron o'lchash asboblari deb ataladi. Ko'rsatuvchi o'lchash asboblari o'lchash natijasini qayd etadi. Bevosita baholaydigan asboblarda o'lchanayotgan kattalik boshqa kattalikka bir yo'nalishda o'zgartiriladi.

Kompensatsion asboblarda o'lanayotgan kattalik qiymati uning o'lchovi bilan taqqoslanadi. Bu asboblarda o'lchash zanjiri butunlay teskari bog'lanish zanjiri ta'sirida bo'ladi. Aralash o'zgartirish usuliga asoslangan asboblarning o'lchash zanjirining bir qismi teskari bog'lanish zanjiri ta'sirida bo'ladi. Vazifasiga ko'ra o'lchash asboblari elektrik (tok, kuchlanish, quvvat, chastota va boshqalar) va noelektrik (mexanik, gidravlik, issiqlik, optik va boshqalar) kattaliklarni o'lchovchi asboblarga bo'linadi.

## **1.2. Analizning fizik-kimyoviy usullari.**

Analizning fizik-kimyoviy usullari moddaning kimyoviy reaksiyalari jarayonida fizik xossalarning o'zgarishini aniqlashga asoslangan.

Kimyoviy modda toza bo'lsa, o'ziga xos xususiyatlarni namoyon qiladi. Uning tarkibiga juda oz miqdorda bo'lsa ham ( $10^{-5}$  %) begona moddalarning yoki elementning aralashgan holda - ifloslangan bo'lishi modda xususiyatini keskin o'zgartirib yuborishi mumkin. Shuning uchun hozirgi vaqtda elementlarning tarkibiga aralashib qolgan mikro miqdordagi begona moddalarni aniqlashga to'g'ri keladi. Kimyoviy metodlar bunchalik kichik miqdorda bo'lgan elementlarni yoki moddalarni aniqlash imkoniyatiga ega emas.

Bu vazifani fizik-kimyoviy metodlar yordamida bajarish mumkin.

Fizik-kimyoviy metodlar tez bajariladi, bu o'z vaqtida texnologik jarayonni nazorat qilish uchun katta ahamiyatga ega.

Fizik-kimyoviy metodlar bir nechta afzalliklarga ega:

1. Analizni uzoq masofadan turib boshqarish. Masalan, rentgen-fluorescent metod bilan oydagi tuproqni analiz qilish bunga yaqqol misol bo'la oladi.
2. Bu metodlarda ishlatiladigan asboblarning jarayonni sistemalashtirishga imkon beradi.
3. Namunani buzmasdan turib analiz qilish. Bu kriminalistika va tibbiyotda katta ahamiyatga ega.

Fizik-kimyoviy analiz usullarining turlari juda ko'p. Ulardan hozirgi vaqtda sanoat korxonalarida mahsulotlarning xossalari o'rganishda, ilmiy-tekshirish laboratoriyalarida keng foydalaniladiganlari quyidagilar:

1. Spektral va boshqa optik analiz usullari — modda bilan elektromagnit nurlarning ta'siri natijasida turli o'zgarishlarni o'lchashga asoslangan (emission spektral analiz, atom-yutilish spektroskopiyasi, infraqizil nurlar spektroskopiyasi, spektrofotometrik analiz va boshqalar).

2. Elektrokimyoviy analiz usullari — elektrokimyoviy hodisalar vaqtida analiz qilinadigan eritmada o'zgaradigan elektrokimyoviy ko'rsatkichlarni o'lchashga asoslangan (potensiometrik, konduktometrik, amperometrik va boshqalar).

3. Ajratish va konsentrlash usuli — moddalarning ikki faza orasida taqsimlanishiga asoslangan (ekstraksiya, xromatografiya va hokazo)

### **1.3. Optik analiz usullari.**

Hozirgi vaqtda kimyoning turli sohalarida sifat va miqdoriy analizlarni o'tkazishda optik analiz usullarining ahamiyati ortib bormoqda. Chunki bu usullar o'zining umumiyliigi, sezgirligi, ayrim moddalarning to'g'ridan-to'g'ri aniqlash imkoniyati, ekspresligi (tahlil o'tkazish vaqtining qisqaligi), avtomatlashtirilganligi bilan ajralib turadi.

Optik analiz metodlari fizik–kimyoviy usullarning bir qismi bo'lib, nur energiyasining analiz qilinadigan modda bilan o'zaro ta'sirini o'rganishga asoslangan. Optik analiz usullari quyidagi qismlarga bo'linadi:

- Nurni yutilishiga asoslangan usullar;
- Nurning chiqarilishiga asoslangan usullar.

Birinchi qismga kiradigan metodlar bu:

- Fotometrik;
- Kinetik;
- Emission spektral analiz;
- Atom – absorbsion;

- Aktivatsion;
- Mass-spektral analiz usullari.

Ikkinchi qismga kiradigan metodlar bu:

- Fluorimetrik;
- Rentgeno-fluorescent;
- Emission-spektral analiz metodlari.

**Optik spektroskopiya asoslari.** Optik analiz usullari kimyoviy tadqiqotlarda keng tarqalgan va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega. Hozirgi zamon optik analiz usullarida aniqlanayotgan moddani fizik yoki fizik-kimyoviy xossalari (matematik yoki grafik bog'liqligi) o'rganiladi.

Eng asosiysi kimyoviy analizda bu to'g'ri usulni tanlash, kimyogarning malakasiga bog'liq. Har bir usulni ishlatish uchun usulning afzalligini, kamchiligini va metrologik xususiyatlarini bilish kerak (1.1-jadval).

Elektromagnit nurlarning yutilishi molekularning umumiy xossasi hisoblanadi, ammo yutilish hodisasi tanlash xususiyatiga egadir, ya'ni ma'lum to'lqin uzunligidagi nurlar molekula tomonidan kuchli yutilishi mumkin, boshqa to'lqin uzunligidagi nurlar esa kuchsiz yoki butunlay yutilmasligi mumkin. Yutilish doirasi spektr chizig'i deyiladi. Spektr chiziqlarining umumiy yig'indisi yutilish spektri deyiladi.

### Optik analiz metodlarining tahlili.

**1.1-jadval.**

<b>№</b>	<b>Metodlar</b>	<b>Sezgirligi</b>
1	Fotometriya	$10^{-4}$ - $10^{-6}$
2	Fluorimetriya	$10^{-5}$ - $10^{-8}$
3	Kinetik	$10^{-6}$ - $10^{-8}$
4	Emission-spektral	$10^{-7}$
5	Atom-absorbsion	$10^{-5}$
6	Rentgeno-fluorescent	$10^{-5}$ - $10^{-6}$
7	Aktivatsion	$10^{-13}$ gacha
8	Mass-spektral	$10^{-14}$ gacha

#### **1.4. Tadqiqot obyektlari va usullari tasniflari.**

Keyingi yillarda biror moddaning tuzilishini aniqlashda kimyoviy usullar bilan bir qatorda analizning fizik metodlaridan keng foydalanilmoqda. Fizik metodlar kimyoviy usullariga qaraganda bir qancha afzalliklarga ega. Fizik metodlar qo'llanilganda analizni juda qisqa vaqtda va kam miqdor modda bilan bajarish mumkin. Ikkinchidan fizik metodlar yordamida kimyoviy usul bilan erishib bo'lmaydigan natijalar olinadi.

Fizik metodning bu afzalliklari kimyoviy usulni butunlay inkor etadi, deb tushunish noto'g'ri, albatta. Aksincha, fizik va kimyoviy metodlardan birgalikda foydalanilganda samarali natija olish mumkin.

Fizik metodlardan eng ko'p qo'llaniladigani: UB-va IQ spektroskopiya, optik burilish dispersiyasi va aylanma dixroizm, yadro magnit rezonansi - (YAMR), elektron paramagnit rezonans (EPR), mass-spektroskopiya, rentgenostrukturaviy analiz va Mess-bauer spektroskopiyalardir.

Kimyodagi asosiy masalalardan biri moddaning nima ekanligini va uning tuzilishini aniqlashdan iborat. Bu ish ilgari kimyoviy usullar bilan hal qilingan bo'lsa, hozirgi vaqtda asosan fizikaviy usullar orqali yechiladi. Odatda, kimyogar, moddani o'rganishni uni qaysi elementlardan tashkil topganini aniqlashdan boshlaydi va brutto formulasini topadi. Shundan keyingina uning molekulasini tuzilishini aniqlashga harakat qiladi. Agar, kimyoviy jarayon o'rganilayotgan bo'lsa u holda, shu jarayonni ma'lum bir bosqichida reaksiya natijasida hosil bo'lgan aralashmani tarkibiy qismlarini nimaligini hamda ulami miqdoriy xarakteristikalarini aniqlash masalasi ham kelib chiqadi.

Uslubiy nuqtai nazardan modda va molekulaning fizikaviy xossalarini o'rganish, fanning, o'rganilayotgan modda bilan unga ta'sir qilayotgan fizikaviy maydon (elektr, magnit, elektromagnit...), kelib tushayotgan turli chastotali "nur"lar (rentgen, ultrabinafsha, ko'rinuvchi, infraqizil, radioto'lqinlar..) yoki zarrachalar dastasi (elektron, neytron) bilan o'zaro ta'sirini o'rganuvchi nazariyaga



asoslangan maxsus bo'limini tashkil etadi. Bunday ta'sir natijasida modda va uning molekulasining u yoki bu xossalari namoyon bo'ladi.

Moddaga kelib tushayotgan nurning, zarrachalar dastasining va unga ta'sir qilayotgan turli xil fizik maydonlarining modda bilan o'zaro ta'siridan keyingi o'zgarishini aniqlash fizikaviy usulning to'g'ridan-to'g'ri vazifasi deyiladi. Modda bilan har xil chastotali elektromagnit nurlarning, zarralarning va fizikaviy maydonlarning o'zaro ta'sirini o'rganish orqali ya'ni, tajribaning natijalariga ko'ra moddaning fizik xossalarini aniqlash hamda molekulaning fizik kattaliklarini topish qo'yilgan masalani teskari tomondan yechishga kiradi va fizikaviy usulning teskari vazifasi deb ataladi.

Masalan, ajratib ko'rsatishi yuqori bo'lgan yadro magnit rezonansi (YaMR) spektrlarini tahlil qilishda bu usulning to'g'ri va teskari vazifalarini farq qilish qiyin emas.

To'g'ri vazifasi. Tegishli moddani kimyoviy siljishlari va spin-spin ta'sir doimiyliklarini qiymatlari berilgan, uni YaMR spektrini hisoblash talab qilinadi.

Teskari vazifasi. Moddani tajribada olingan YaMR spektri berilgan undan tegishli yadroning kimyoviy siljishlarini va spin-spin ta'sir doimiyliklarini aniqlash talab qilinadi. Odatda, teskari vazifani yechish amaliy ahamiyatga egadir.

Hozirgi vaqtda kimyoda fizikaviy tadqiqot usullari ichida spektroskopik usullar keng ishlatiladi. Bu usullar yordamida modda tomonidan chiqarilgan yoki yutilgan elektromagnit nurlar intensivligini ulaming chastotasiga yoki to'lqin uzimligiga bog'liqligi o'rganiladi. Spektroskopik usullar atom va molekulalarning elektron, tebranish, aylanish va magnit energetik sathlari orasidagi farqni topish, spektr polosasining intensivligi orqali energetik sathlar orasidagi o'tish ehtimoliyatini katta yoki kichikligini baholash imkoniyatini beradi. Bularni o'rganish esa o'z navbatida molekulaning simmetriyasini, geometriyasini, qaysi atomlardan tashkil topganligini, elektrik xossalarini va boshqa kattaliklarini topish imkoniyatini beradi. Energetik sathlar orasidagi farqning katta kichikligiga qarab spektral usullar quyidagilarga bo'linadi (1.2-jadval):

**Spektroskopik usullar ishlatadigan elektromagnit nurlarning chastotasi va to'liqin uzunligi.**

Spektrning turi	Chastotalar oralig'i, Hz	To'liqin uzunligi
Rentgen spektri	$10^{17}$ - $10^{18}$	3 nm – 3 pm
Fotoelektron spektri	$10^{14}$ - $10^{16}$	3 -700 nm
Elektron spektri	$10^{14}$ - $10^{16}$	3 – 700 nm
Tebranish spektri	$10^{12}$ - $10^{14}$	3 mkm – 3 mm
Aylanish spektri	$10^{10}$ - $10^{12}$	3 sm ~ 0.03 mm
Elektron paramagnet rezonans (EPR) spektri	$10^9$ - $10^{11}$	~ 3 sm
Yadro magnit rezonansi (YaMR) Spektri	$10^7$ - $10^8$	~ 5 m

Tajribada olish shartlariga ko'ra bu spektrlar quyidagilarga bo'linadi: chiqarish, yutilish va sochilish spektrlari.

Spektr chiziqlarini (chiqarish spektrlarida) yoki polosalarini (yutilish spektrlarida) intensivligi birinchi navbatda, boshlang'ich sathdagi (chiqarish spektrlarida energiyasi yuqori, yutilish spektrlarida esa energiyasi past bo'lgan sathlar) molekulalar (atomlar) soniga to'g'ri proporsionaldir. Issiqlik muvozanati sharoitida molekulalarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi Boltsman taqsimotiga ko'ra aniqlanadi.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{\Delta E_{21}}{kT}} \quad (1.2)$$

Bu yerda,  $N_2$  va  $N_1$  lar mos ravishda yuqori va quyi energetik sathlardagi molekulalarning soni,  $g_2$  va  $g_1$  lar yuqori va quyi energetik sathlarning vazniy ko'paytuvchilari,  $E_{21}$  - energetik sathlar orasidagi farq,  $k$  - Boltsman doimiysi,  $T$  - absolut temperatura.

Spektr polosasini chastotasi, intensivligi, kengligi va shakli moddani xossalari, molekulani ko'pgina kattaliklari bilan bog'liqdir. Bu masalalami spektral usullarni teskari vazifasini yechish orqali tadqiq qilish mumkin.

Fizikaviy usullardan foydalanish kimyoviy tuzilish nazariyasining asosiy masalalarini tadqiq qilish imkoniyatini beradi. Bularga quyidagilar kiradi: kimyoviy bog'larning ketma-ketligi va karraliligi, optik va konformatsion izomeriya, atomlarni koordinatsiya soni, molekulardagi atomlar va atom gruppalarining o'zaro ta'siri, molekuladagi ichki aylanishlar va katta amplituda bilan bo'ladigan harakatning boshqa turlari, molekulalarning energetik, elektrik va boshqa xarakteristikalari, reaksiya natijasida hosil bo'ladigan oraliq mahsulotlar va reaksiyalarning mexanizmlari va hokazo.

Umuman olganda, zamonaviy kvant va nazariy kimyo uchun asos bo'ladigan miqdoriy ma'lumotlar asosan fizikaviy tadqiqot usullari yordamida olinadi. Fizikaviy tadqiqot usullarini ichida kimyoviy masalalarni yechishda eng ko'p ishlatiladiganlariga quyidagilar kiradi: yadro magnit rezonansi (YaMR) spektroskopiyasi, infraqizil nurlami yutilish (IQ) spektroskopiyasi, mass-spektrometriya va elektron yutilish spektroskopiyasi.

Fizika va kimyoda bilim olish jarayoni fizikaviy va kimyoviy hodisalarni tabiiy sharoitlarda kuzatish orqali yoki maxsus tajribalar o'tkazish yo'li bilan amalga oshadi. Umuman tajriba bilish jarayonining muhim qismi hisoblanadi. Fizika va kimyo tajribaga asoslangan fanlar bo'lganligi uchun laboratoriya ishlarining roli juda muhimdir.

Nur energiyasi uning chastotasiga to'g'ri proporsionaldir  $E = h\nu$  (chunki, Plank doimiysi doimiy miqdor). Masalan, ko'zga ko'rinadigan nurlarning quyi chegarasi qizil nur (800 mkm) energiyasi, binafsha nur (400 mkm) energiyasidan kichik. Biror organik moddaga nur tushirilsa nur modda orqali o'tadi yoki yutiladi. Nur yutilsa nurning modda molekulasi o'zgarishlarga uchraydi. Bu o'zgarishlarning xarakteri moddaning tabiatiga va tuzilishiga bog'liq.

Gamma nurlar yadrolarning energetik holatini o'zgartiradi (gamma-rezonans spektroskopiyasi). Gamma - rezonans spektroskopiyadan foydalanib yadro kuchlari

va ularning ta'sirlashishi xususida ma'lumotlar olish mumkin. Rentgen nurlari atomlarning ichki yadroga yaqin qavatlaridagi elektronlar energiyasini o'zgartiradi (rentgenospektroskopiya). Rentgenspektroskopiya yadroga juda yaqin joylashgan qavatlarda elektronlarning taqsimlanishini hamda ularning energiyasini aniqlashga imkon beradi.

Ultrabinafsha va ko'zga ko'rinadigan nurlar ta'sirida molekuladagi atomlar valent elektronlari energetik holatlari o'zgaradi (UB-spektroskopiya yoki elektron spektrlar).

Infraqizil nurlar molekuladagi atomlarning tebranishiga sabab bo'ladi (IQ-spektroskopiya yoki tebranish spektrlari). UB - va IQ - spektroskopiya yordamida organik molekulalarning tuzilishi to'g'risida muhim ma'lumotlar olinadi.

Radioto'lqinlar esa yadro va elektronlar spinlari energetik holatlarini o'zgartiradi (yadro-magnit rezonansi va elektron paramagnit rezonansi spektroskopiylari).

YAMR - spektroskopiya yordamida boshqa usullar bilan erishib bo'lmaydigan natijalarni olish mumkin. Moddaga nur ta'sir ettirilganda modda nurni yutadi va uning energiyasi ortadi. Ko'pincha bu hol molekula "g'alayonlangan" holga o'tdi deyiladi. Modda g'alayonlangan holatda  $10^{-6}$  sek bo'la oladi, xolos. Keyin esa yana yutilgan energiyani biror nur, issiqlik holda chiqarib, molekula o'zining avvalgi holatiga qaytadi. Molekulaning turli qismlari har xil energiya yutgani uchun molekulaning shu qismlari nur chiqarganda ham aynan shunday energiya ajraladi. Chiqayotgan nurning to'lqin uzunligini bilgan holda molekulaning tuzilishi to'g'risida xulosa chiqarish mumkin (yutilish spektrlari). Ba'zan modda cho'g'lanish temperaturasigacha qizdirilib, cho'g'lanayotgan modda chiqarayotgan nur o'rganiladi. Shular asosida modda molekulasi tuzilishi aniqlanadi (chiqarish spektrlari).

Organik kimyoda ko'proq yutilish spektrlari bilan ish ko'riladi. Elektromagnit spektrdagi har qanday nur bilan sodir bo'ladigan yutilish spektrlarni o'rganish uchun barcha hollarda avvalo yorug'lik manbai, o'rganilayotgan modda

solinadigan idish (kyuveta), monoxromatik (yani bir xil to'liqin uzunlikdagi) nurlar hosil qiluvchi va tekshirilayotgan modda orqali o'tgan nurning intensivligini o'lchaydigan asboblari va nihoyat qayd qiluvchi ko'rilma zarur.

Yutilish spektrlari o'rganiladigan asboblari spektrometri yoki spektrofotometri (agar tekshirilayotgan modda orqali o'tgan nurning intensivligi foto elementlar yordamida qayd qilinsa) deyiladi.

## II BOB. ATOM VA MOLEKULALAR IDENTIFIKATSIYASI.

### 2.1. Yadro magnit rezonans, ultrabinafsha, infraqizil va mass-spektroskopiyalar.

Spektroskopiya, jumladan, molekulyar spektroskopiya elektromagnit to'liqlarning moddada yutilishi, qaytishi va sochilishi jarayonlari vositasida moddani tashkil etgan molekulalarning tuzilishi va xossalarini o'rganuvchi fandır.

Spektroskopik tadqiqotlarning obyekti sifatida turli agregat holatida bo'lgan turli-tuman moddalardan foydalanish mumkin. Bunday obyektlarning eng oddiy holi molekulalari bir-biridan ularni mustaqil deb hisoblash mumkin bo'lgan masofada joylashgan siyraklashgan gazlardir. Eng murakkab holi esa har bir zarrachasi molekulalararo o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi kondensirlangan muhit hisoblanadi. Spektroskopik ma'lumotlardan nafaqat molekulaning tuzilishi va xossalari, shuningdek, molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari haqida, modda tuzilishi bo'yicha ham ma'lumotga ega bo'lish mumkin.

Ma'lumki, elektromagnit nurlanish energiyasining to'liq uzunligi bo'yicha taqsimlanishi spektr deyiladi. Nurlanishning modda bilan ta'siriga qarab nurlanish spektri, yutilish spektri, sochilish spektri va qaytish spektriga ajraladi.

Spektroskopiyaning umumiy holda atom yadro spektroskopiyasi, molekulyar spektroskopiya va kristallar spektroskopiyasiga bo'lib o'rganiladi. Kogerent yorug'lik manbalari – lazerlar kashf qilinganidan keyin spektroskopiya yana kogerent nurlar spektroskopiyasi, ya'ni lazerlar spektroskopiyasi, kogerent bo'lmagan nurlar spektroskopiyasi – klassik spektroskopiyaga bo'lindi.

Elektromagnit nurlanishning sohasiga qarab spektroskopiya:

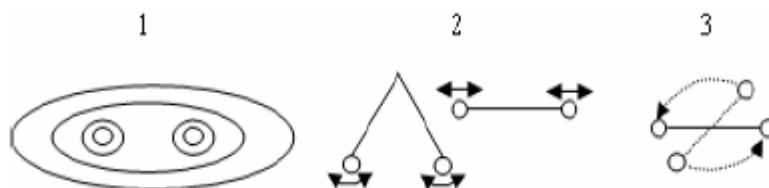
- nurlar spektroskopiyasi (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-10} - 10^{-11}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{20}$  Hz),
- rentgen nurlari spektroskopiyasi (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-8} - 10^{-10}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{18}$  Hz),

- optik spektroskopiya (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-3} - 10^{-8}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{12} - 3 \times 10^{16}$  Hz, (bu sohaning o'zi yana infraqizil, ko'rish sohasi va ultrabinafsha sohalarga bo'linadi),
- radiospektroskopiya (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-4} - 10^{-2}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^6 - 3 \times 10^{12}$  Hz (bunga mikroto'liq spektroskopiya, EPR va YAMR ham kiradi) sohalarga bo'linadi).

Har bir soha molekulyar sistema harakatining ma'lum bir turi haqida ma'lumot beradi. Masalan, ko'rish va ultrabinafsha sohada elektron o'tishlar haqida ma'lumot olinsa, infraqizil sohada molekula atomlarining muvozanat vaziyati atrofida tebranishi haqida ma'lumot olish mumkin.

Molekulaning spektri moddaning xususiyatlari haqida to'liq ma'lumot beradi. Molekulaning spektriga qarab nafaqat modda qanday molekulalardan tashkil topganligi haqida, hatto molekuladagi atomlarning o'zaro joylashishi, molekulalarning izomerlari haqida ham ma'lumot olish mumkin. Misol uchun,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{Cl}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$  va hokazo moddalarning tuzilishini keltirib o'tish mumkin. Molekulyar spektroskopiyaning muhim ustunliklaridan biri tajriba paytida modda holati va xususiyatlari o'zgarmay qoladi, ya'ni moddaning barcha xususiyatlari saqlanib qoladi. Molekulalarning spektri atomning spektriga nisbatan ancha murakkab.

Molekulalarda elektronlarning harakati bilan birgalikda atom yadrolarining bir-biriga nisbatan tebranma harakati va fazodagi holatining davriy o'zgarishi aylanma harakati mavjud. Shuning uchun spektrni hosil qiladigan energetik sathlarning holatiga qarab aylanma, tebranma- aylanma, elektron-tebranma- aylanma spektrlar mavjud (2.1-rasm).



**2.1-rasm. Molekulada (1) ko'rish va ultrabinafsha sohada elektronlar harakati (elektronning holati  $\lambda = 1$  mkm-10 nm;  $\nu = 10^4 - 10^6$  sm<sup>-1</sup> gacha**



**o'zgaradi). Molekuladagi atomlarning (2) infraqizil sohada tebranma harakati (tebranma holati  $\lambda = 100-1$  mkm;  $v=100-10^4$  sm<sup>-1</sup> gacha o'zgaradi). Molekulaning aylanma harakati (3) uzoq infraqizil va mikroto'lqin sohada kuzatiladi ( $\lambda = 1$  sm-100 mkm;  $v=1-100$  sm<sup>-1</sup>).**

## **2.2. Yadro magnit rezonans hodisaning mohiyati.**

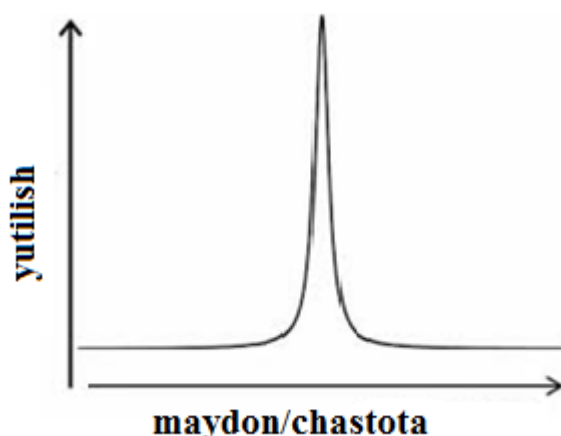
Avvalo shuni ta'kidlash kerakki, ushbu hodisaning nomi "yadro" so'zini o'z ichiga olsa ham, yadro fizikasi YMRning hech qanday aloqasi yo'q va radioaktivlikka aloqasi yo'q. Agar qat'iy tavsif haqida gapiradigan bo'lsak, unda kvant mexanikasi qonunlarisiz buni amalga oshirish mumkin emas. Ushbu qonunlarga ko'ra, magnit yadroning tashqi magnit maydon bilan o'zaro ta'siri energiyasi bir nechta diskret qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

Agar magnit yadrolari o'zgaruvchan magnit maydon bilan nurlantirilsa, ularning chastotasi ushbu diskret energiya darajalari o'rtasidagi farqga mos keladigan chastota birliklarida ifodalangan bo'lsa, u holda magnit yadrolari energiyani yutish bilan bir darajadan ikkinchisiga o'tishni boshlaydi. O'zgaruvchan maydon... Bu magnit-rezonans fenomeni. Ushbu tushuntirish rasmiy ravishda to'g'ri, ammo unchalik aniq emas. Kvant mexanikasisiz yana bir tushuntirish mavjud.

Magnit yadroni o'z o'qi atrofida aylanadigan elektr zaryadlangan to'p deb tasavvur qilish mumkin (garchi, aniq aytganda, bunday emas). Elektrodinamika qonunlariga ko'ra, zaryadning aylanishi magnit maydonining paydo bo'lishiga olib keladi, ya'ni aylanish o'qi bo'ylab yo'naltirilgan yadroning magnit momenti. Agar ushbu magnit moment doimiy tashqi maydonga joylashtirilsa, u holda bu momentning vektori oldinga siljiy boshlaydi, ya'ni tashqi maydon yo'nalishi bo'yicha aylanadi. Xuddi shu tarzda, burilish o'qi vertikal atrofida (aylanadi), agar u qat'iy vertikal holda emas, balki ma'lum bir burchak ostida o'ralgan bo'lsa, bunda magnit maydonning rolini tortishish kuchi o'ynaydi.

Prekessiya chastotasi yadroning xususiyatlari bilan ham, magnit maydon kuchi bilan ham aniqlanadi: maydon qanchalik kuchli bo'lsa, chastota ham

shuncha yuqori bo'ladi. Keyin, agar doimiy tashqi magnit maydondan tashqari, o'zgaruvchan magnit maydon yadroga ta'sir qilsa, u holda yadro bu maydon bilan o'zaro aloqada bo'lishni boshlaydi - go'yo yadroni kuchliroq silkitadi, prekessiya amplitudasi oshadi va yadro o'zgaruvchan maydon energiyasini yutadi. Biroq, bu faqat rezonans sharoitida sodir bo'ladi, ya'ni prekessiya chastotasi va tashqi o'zgaruvchan maydon chastotasining tasodifiyligi. Bu o'rta maktab fizikasidan klassik misolga o'xshaydi - ko'priklar bo'ylab o'tayotgan askarlar. Agar qadam chastotasi ko'priklarning tabiiy chastotasiga to'g'ri keladigan bo'lsa, u holda ko'priklar tobora ko'proq tebranadi. Eksperimental ravishda, bu hodisa o'zgaruvchan maydonning yutilishining uning chastotasiga bog'liqligida namoyon bo'ladi. Rezonans paytida yutilish keskin oshadi va eng oddiy magnit-rezonans spektri quyidagicha ko'rinadi:

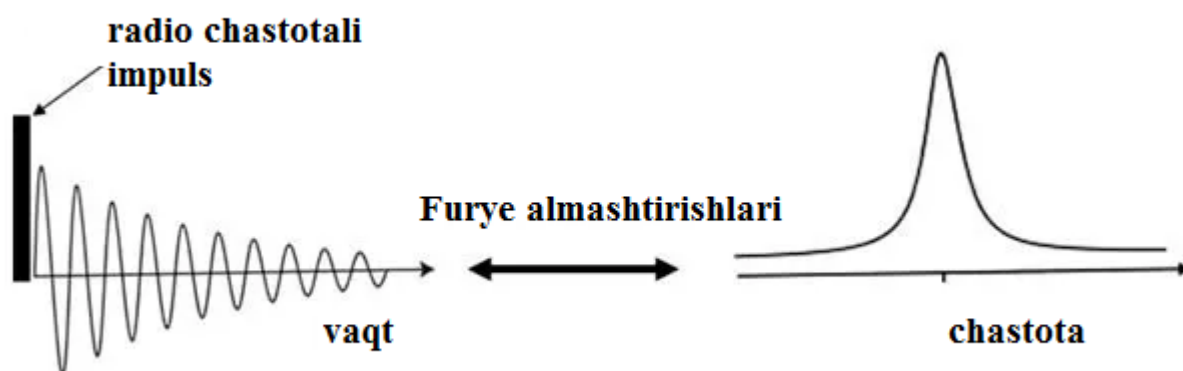


**2.2-rasm. Eng oddiy magnit-rezonans spektri.**

*Furje spektroskopiyasi.* Birinchi YMR spektrometrlari aynan yuqorida aytilganidek ishlagan - namuna doimiy magnit maydonga joylashtirilgan va unga doimiy ravishda radiochastota nurlanishi qo'llanilgan. Keyin o'zgaruvchan maydon chastotasi yoki doimiy magnit maydon intensivligi bir tekis o'zgarib turardi. O'zgaruvchan maydonning energiya yutishini radio chastotali ko'priklar qayd etdi, undan signal yozuvchiga yoki osiloskopga chiqarildi. Ammo bu signalni ro'yxatdan o'tkazish usuli uzoq vaqtdan beri ishlatilmayapti. Zamonaviy YMR spektrometrlarida spektr impulslar yordamida qayd etiladi. Yadrolarning magnit

momentlari qisqa muddatli kuchli zarba bilan g'alayonlanadi, undan so'ng signal yoziladi, magnit momentlarga erkin o'tish bilan chastotali chastotada hosil bo'ladi.

Ushbu signal asta-sekin nolga kamayadi, chunki magnit momentlar muvozanatga qaytadi (bu jarayon magnit bo'shashish deb ataladi). YMR spektri ushbu signaldan Furiye transformatsiyasi yordamida olinadi. Bu har qanday signalni chastota garmonikasiga ajratish va shu bilan ushbu signalning chastota spektrini olishga imkon beradigan standart matematik protsedura. Spektelni qayd etishning bu usuli shovqin darajasini sezilarli darajada pasaytirishi va tajribalarni ancha tez o'tkazishi mumkin.



### **2.3-rasm. Spektelni qayd etish uchun bitta qo'zg'alish pulsi (bu eng oddiy YaMR tajribasi).**

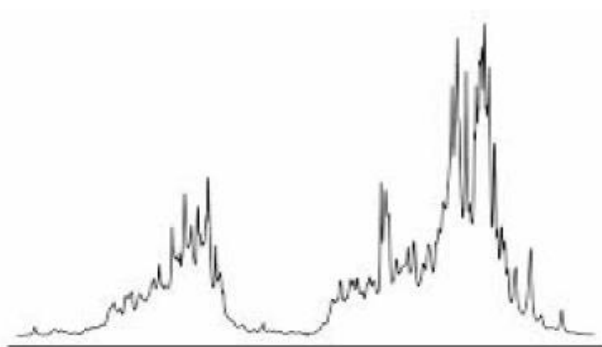
Shu bilan birga, tadqiqotchi yadro magnit momentlari tizimi bilan qanday manipulyatsiyalarni amalga oshirishi kerakligiga qarab, tajribada turli xil davomiylik, amplitudali, ularning orasidagi turli xil kechikishlar bilan va hokazo bunday impulslar juda ko'p bo'lishi mumkin. Shunga qaramay, deyarli barcha bu impulslar ketma-ketligi xuddi shu narsa bilan tugaydi - Furiye konvertatsiyasidan keyin erkin presessiya signalini yozib olish.

**Moddadagi magnit ta'sirlar.** Magnit rezonans o'z-o'zidan, agar yadrolarning bir-biri bilan va molekulaning elektron qatlami bilan magnit o'zaro ta'sirida bo'lmasa, shunchaki qiziqarli fizik hodisadan boshqa narsa bo'lib qolmaydi. Ushbu o'zaro ta'sirlar rezonans parametrlariga ta'sir qiladi va ularning yordami bilan YMR usuli yordamida molekulalarning xususiyatlari – ularning

yo'nalishi, fazoviy tuzilishi (konformatsiyasi), molekulararo o'zaro ta'sirlari, kimyoviy almashinuvi, aylanish va aylanish dinamikasi haqida turli xil ma'lumotlarni olish mumkin.

Shu tufayli YMR nafaqat fizikada, balki asosan kimyo va molekulyar biologiyada keng qo'llaniladigan moddalarni molekulyar darajada o'rganish uchun juda kuchli vositaga aylandi. Ushbu o'zaro ta'sirlardan biri bu kimyoviy siljish deb ataladi. Uning mohiyati quyidagicha: molekulaning elektron qobig'i tashqi magnit maydonga javob beradi va uni skrining qilishga harakat qiladi - magnit maydonining qisman skriningi barcha diamagnetik moddalarda uchraydi. Bu shuni anglatadiki, molekuladagi magnit maydon tashqi magnit maydonidan juda oz miqdorda farq qiladi, bu kimyoviy siljish deb ataladi.

Biroq, molekulaning turli qismlarida elektron qobig'ining xususiyatlari har xil va kimyoviy siljish ham har xil. Shunga ko'ra, molekulaning turli qismlarida yadrolarning rezonans sharoitlari ham har xil bo'ladi. Bu spektrdagi kimyoviy jihatdan tenHziz yadrolarni ajratib olishga imkon beradi. Masalan, vodorod yadrolari (protonlar) spektrini olsak toza suv u holda u bitta chiziqqa ega bo'ladi, chunki H<sub>2</sub>O molekulasidagi ikkala proton ham bir xil. Ammo metil spirt CH<sub>3</sub>OH uchun spektrda allaqachon ikkita chiziq bo'ladi (agar biz boshqa magnit o'zaro ta'sirlarni e'tiborsiz qoldirsak), chunki protonlarning ikki turi – metil guruhi CH<sub>3</sub> protonlari va kislorod atomiga bog'langan proton mavjud. Molekulalar murakkablashganda, chiziqlar soni ko'payadi va agar biz bunday katta va murakkab molekulani oqsil sifatida qabul qilsak, u holda spektr quyidagicha ko'rinadi:



**2.4-rasm. Oqsil spektri.**

**Magnit yadrolari.** YMRni turli xil yadrolarda kuzatish mumkin, ammo shuni aytish kerakki, barcha yadrolarning magnit momenti mavjud emas. Tez-tez sodir bo'ladiki, ba'zi izotoplar magnit momentga ega, boshqa yadro izotoplar esa yo'q. Hammasi bo'lib yuzdan ortiq turli xil izotoplar mavjud kimyoviy elementlar magnit yadrolari bilan, ammo tadqiqotlar odatda 1520 dan ortiq magnit yadrolardan foydalanadi, qolgan hamma narsa ekzotikdir. Har bir yadro magnit maydonining o'ziga xos xarakteristikasiga va giromagnetik nisbati deb ataladigan chastota chastotasiga ega. Barcha yadrolar uchun bu munosabatlar ma'lum.

Ular yordamida ma'lum bir magnit maydon uchun tadqiqotchiga zarur bo'lgan yadrolardan signal kuzatiladigan chastotani tanlash mumkin. YMR uchun eng muhim yadrolar protonlardir. Tabiatda ularning aksariyati bor va ular juda yuqori sezgirlikka ega. Kimyo va biologiya uchun uglerod, azot va kislorod yadrolari juda muhimdir, ammo olimlar ular bilan omadli bo'lmadilar: uglerod va kislorodning eng keng tarqalgan izotoplari,  $^{12}\text{C}$  va  $^{16}\text{O}$ , magnit momentga ega emas, azotning tabiiy izotopi  $^{14}\text{N}$  bir lahzaga ega, ammo u bir qator sabablarga ko'ra bu tajribalar uchun juda noqulay. YMR tajribalari uchun mos bo'lgan  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  va  $^{17}\text{O}$  izotoplari mavjud, ammo ularning tabiiy mo'lligi juda past va sezgirliги protonlar bilan taqqoslaganda juda past.

Shuning uchun YMR tadqiqotlari uchun ko'pincha izotoplar bilan boyitilgan maxsus namunalari tayyorlanadi, ularda u yoki bu yadroning tabiiy izotopi tajribalar uchun zarur bo'lgan bilan almashtiriladi. Ko'pgina hollarda ushbu protsedura juda qiyin va qimmatga tushadi, ammo ba'zida bu kerakli ma'lumotlarni olishning yagona usuli hisoblanadi.

**Elektron paramagnetik va to'rt qavatli rezonans.** YMR haqida gapirganda, boshqa ikkita jismoniy hodisani - elektron paramagnetik rezonansni (EPR) va yadro to'rtburolli rezonansni (YTR) eslatib o'tmaslik mumkin emas. EPR tabiatan YMRga o'xshaydi, farq shundaki, rezonans atom yadrolarining emas, balki atomning elektron qobig'ining magnit momentlarida kuzatiladi. EPRni faqat o'sha molekulalarda yoki kimyoviy guruhlarda kuzatish mumkin, ularning elektron qatlami juft bo'lmagan elektron deb ataladi, keyin qobiq nolga teng bo'lmagan

magnit momentga ega. Bunday moddalar paramagnet deyiladi. EPR, YMR kabi, shuningdek, molekulyar darajada moddalarning turli xil strukturaviy va dinamik xususiyatlarini o'rganish uchun ishlatiladi, ammo uning qo'llanilish doirasi ancha tor. Bu asosan ko'pgina molekulalarda, ayniqsa tirik tabiatda, juft bo'lmagan elektronlarni o'z ichiga olganligi bilan bog'liq. Ba'zi hollarda siz paramagnetik zond deb ataladigan, ya'ni tergov qilinayotgan molekulaga bog'langan, juftlashtirilmagan elektronli kimyoviy guruhdan foydalanishingiz mumkin. Ammo ushbu yondashuv ushbu usulning imkoniyatlarini cheklaydigan aniq kamchiliklarga ega. Bundan tashqari, EPR YMRdagi kabi yuqori spektrli rezolyutsiyaga ega emas (ya'ni spektrda bitta chiziqni boshqasidan ajratish qobiliyati).

YTRning mohiyatini "barmoqlarga" tushuntirish eng qiyin. Ba'zi yadrolarda elektr to'rtburchak momenti deb ataladi. Ushbu moment yadroning elektr zaryadi taqsimotining sferik simmetriyadan og'ishini tavsiflaydi. Ushbu momentning gradient bilan o'zaro ta'siri elektr maydoni moddaning kristalli tuzilishi bilan bo'linishga olib keladi energiya darajasi yadrolari. Bunday holda, rezonansni ushbu darajalar orasidagi o'tishlarga mos keladigan chastotada kuzatish mumkin. YMR va EPRdan farqli o'laroq, YTR tashqi magnit maydonni talab qilmaydi, chunki darajadagi bo'linish usiz sodir bo'ladi. YTR moddalarni o'rganish uchun ham ishlatiladi, ammo uning qo'llanilish doirasi EPRga qaraganda torroq.

***YMRning afzalliklari va kamchiliklari.*** YMR - bu molekulalarni o'rganish uchun eng kuchli va informatsion usul. To'liq aytganda, bu bitta usul emas, bu juda ko'p miqdordagi turli xil eksperimentlar, ya'ni impulslar ketma-ketligi.

Garchi ularning barchasi YMR fenomeniga asoslangan bo'lsa-da, ammo ushbu tajribalarning har biri ma'lum bir aniq ma'lumotlarni olish uchun mo'ljallangan. Ushbu tajribalarning soni o'nlab, yuzlab bo'lmasa ham o'lchanadi. Nazariy jihatdan, YMR, agar hamma narsa bo'lmasa ham, deyarli barcha molekulalarning tuzilishi va dinamikasini o'rganishning barcha eksperimental usullari mumkin bo'lgan hamma narsani bajarishi mumkin, garchi amalda bu har doim ham mumkin emas.

YMR ning asosiy afzalliklaridan biri shundaki, bir tomondan uning tabiiy zondlari, ya'ni magnit yadrolari molekula bo'ylab tarqaladi, boshqa tomondan, bu yadrolarni bir-biridan ajratib olish va fazoviy selektiv ma'lumot olish imkonini beradi. Deyarli barcha boshqa usullar butun molekula bo'yicha o'rtacha hisoblangan yoki uning faqat bir qismi haqida ma'lumot beradi.

YMR ning ikkita asosiy kamchiliklari mavjud. Birinchidan, bu boshqa ko'plab eksperimental usullarga (optik spektroskopiya, lyuminestsentsiya, EPR va boshqalar) nisbatan past sezgirlikdir. Bu shovqinni o'rtacha hisoblash uchun signal uzoq vaqt to'planishi kerakligiga olib keladi. Ba'zi hollarda, YMR tajribasi hatto bir necha hafta davomida amalga oshirilishi mumkin. Ikkinchidan, bu uning yuqori narxidir. YMR spektrometrlari eng qimmat ilmiy asboblardan biri bo'lib, ularning narxi kamida yuz minglab dollarlarda o'lchanadi va eng qimmat spektrometrlarning narxi bir necha millionga teng.

***YMR spektrometrlari uchun magnitlar.*** Spektrometrning eng muhim va qimmat qismlaridan biri doimiy magnit maydon hosil qiluvchi magnitdir. Maydon qanchalik kuchli bo'lsa, sezgirlik va spektr o'lchamlari shunchalik yuqori bo'ladi, shuning uchun olimlar va muhandislar doimo imkon qadar yuqori maydonlarni olishga intilishadi. Magnit maydon elektromagnitdagi elektr toki bilan hosil bo'ladi - oqim qanchalik kuchli bo'lsa, maydon shunchalik katta bo'ladi. Biroq, oqim kuchini cheksiz oshirish mumkin emas; juda yuqori oqim bilan elektromagnit sim shunchaki eriy boshlaydi. Shuning uchun juda uzoq vaqt davomida supero'tkazuvchi magnitlar yuqori maydonli YMR spektrometrlari uchun ishlatilgan, ya'ni elektromagnit sim o'ta o'tkazuvchan holatda bo'lgan magnitlar. Bunday holda simning elektr qarshiligi nolga teng bo'ladi va hech qanday oqim qiymatida energiya chiqmaydi.

Supero'tkazuvchilar holatni faqat juda past haroratlarda olish mumkin, Kelvin atigi bir necha daraja, bu suyuq geliyning harorati. (Yuqori haroratli supero'tkazuvchanlik hali ham sof fundamental tadqiqotlarning ko'p qismidir.) Aynan shunday past haroratni ushlab turish bilan magnitlarni loyihalash va ishlab chiqarishning barcha texnik qiyinchiliklari bir-biriga bog'langan bo'lib, bu ularni



qimmatga keltiradi. Supero'tkazuvchilar magnit matryoshka termos printsipli asosida qurilgan.



**2.5-rasm. Matryoshka termos printsipli.**

Elektromagnit markazda, vakuum kamerasida joylashgan. Suyuq geliy o'z ichiga olgan qobiq bilan o'ralgan. Ushbu qobiq vakuum oraliq qatlami orqali suyuq azot qobig'i bilan o'ralgan. Suyuq azotning harorati minus 196 daraja Selsiy, azot geliy imkon qadar sekin bug'lanib ketishi uchun kerak. Nihoyat, azot qobig'i ajratib olinadi xona harorati tashqi vakuum interlayer. Bunday tizim supero'tkazuvchi magnitning kerakli haroratini juda uzoq vaqt saqlab turishga qodir, ammo buning uchun magnitga muntazam ravishda suyuq azot va geliyni quyish kerak.

Bunday magnitlarning afzalligi yuqori bo'lish qobiliyatidan tashqari magnit maydonlari shuningdek, ular energiya iste'mol qilmasliklarida: magnitni ishga tushirgandan so'ng, oqim ko'p yillar davomida deyarli hech qanday yo'qotishsiz supero'tkazuvchi simlar orqali o'tadi.

**Kashfiyot tarixi.** YMR kashf etilgan yil 1945-yil deb hisoblanadi, o'shanda amerikaliklar Stenfordlik Feliks Blox hamda undan mustaqil ravishda Garvardlik Edvard Purcell va Robert Pound protonlarda YMR signalini kuzatgan. O'sha

paytga qadar yadroviy magnetizmning tabiati haqida ko'p narsa ma'lum edi, YMR effektining o'zi nazariy jihatdan bashorat qilingan va uni eksperimental ravishda kuzatishga bir necha bor urinishlar qilingan. Shuni ta'kidlash kerakki, bir yil oldin Sovet Ittifoqida, Qozonda Evgeniy Zavoiskiy EPR hodisasini kashf etdi. Hozir ma'lumki, Zavoyskiy YMR signalini ham kuzatgan, bu urushdan oldin, 1941-yilda. Biroq uning ixtiyorida sifatsiz magnitlangan, maydonning bir xilligi va natijalari yomon takrorlangan va shu sababli nashr etilmagan. Adolatli bo'lish uchun shuni ta'kidlash kerakki, YMRni "rasmiy" kashfiyotidan oldin Zavoyskiy kuzatmagan.

Xususan, amerikalik fizik Isidor Rabi (tadqiqotlari uchun 1944-yil Nobel mukofoti sovrindori - magnit xususiyatlari atom va molekulyar nurlardagi yadrolar) 1930-yillarning oxirida YMRni ham kuzatgan, ammo uni instrumental artifakt deb hisoblagan.

Urushdan ko'p o'tmay Zavoyskiyning o'zi boshqa muammolar bilan shug'ullana boshlagan bo'lsada, uning Qozonda ilm-fan rivojlanishi uchun kashfiyoti juda katta rol o'ynadi. Qozon hali ham EPR spektroskopiyasi bo'yicha dunyodagi etakchi ilmiy markazlardan biri bo'lib qolmoqda.

***Magnit-rezonans bo'yicha Nobel mukofotlari.*** 20-asrning birinchi yarmida bir nechta Nobel mukofotlari olimlarga berildi, ularning ishisiz YMRning kashf etilishi mumkin emas edi. Ular orasida Peter Zeeman, Otto Stern, Isidor Rabi, Wolfgang Pauli bor. Ammo YMR bilan bevosita bog'liq to'rtta Nobel mukofoti mavjud edi.

- 1952-yilda Feliks Bloch va Edvard Purcell YMR kashfiyoti uchun mukofot oldilar. Bu fizika bo'yicha yagona "YMR" Nobel mukofoti.
- 1991-yilda kimyo bo'yicha mukofotni Tsyurixdagi mashhur Shveysariya oliy texnik maktabida ishlagan shveysariyalik Richard Ernst oldi. U ko'p o'lchovli YMR spektroskopiya usullarini ishlab chiqishi uchun mukofotlandi, bu esa YMR eksperimentlarining axborot tarkibini keskin oshirishga imkon berdi.

- 2002-yilda kimyo bo'yicha ham mukofot sohibi Kurt Vyutrix bo'lgan, u Ernst bilan shu texnik maktabning qo'shni binolarida ishlagan. U eritmadagi oqsillarning uch o'lchovli tuzilishini aniqlash usullarini ishlab chiqqanligi uchun mukofot oldi. Bungacha yirik biomakromolekulalarning fazoviy konformatsiyasini aniqlashga imkon beradigan yagona usul faqat rentgen strukturaviy tahlil edi.
- Va nihoyat, 2003-yilda amerikalik Pol Lauterbur va ingliz Piter Mansfild YMR tomografiyasini ixtiro qilgani uchun tibbiyotda mukofotga sazovor bo'lishdi. Sovet Ittifoqi kashfiyotchisi E.K.Zavoyskiy, afsuski, Nobel mukofotini olmadi.

### **2.3. Ultrabinafsha spektroskopiya.**

Ultrabinafsha (UB) soha ko'rinuvchan nurlardan boshlanib, qisqa to'lqin uzunligidagi rentgen nurlari (50 nm) sohasigacha davom etadi. Organik moddalar UB va ko'rinuvchan nurlarni yutishi natijasida elektronlar (valent bog'ini hosil qilishda ishtirok etuvchi elektronlar) biriktiruvchi orbitadan bo'shashgan orbitalarga o'tadi. Molekulaning ushbu holati qo'zg'algan holat deyiladi. Elektronlar yadroga tortilib turganligi sababli, ularni g'alayonlashtirish uchun ko'proq miqdorda energiya talab qilinadi.

UB nurlarni hosil qiluvchi elektromagnit nurlarning to'lqin uzunligi 120-180 nm tashkil etada. Organik birikmalar UB sohada nurlarni yutish qobiliyatiga ega. UB soha ikki qismga bo'linadi – to'lqin uzunligi 190 nm dan kam bo'lgan soha (uzoq yoki vakuum UB soha deyiladi) va yaqin UB soha - 200 nm dan yuqori bo'lgan soha. Uzoq UB sohadagi moddalarning yutilishini o'rganish murakkab uskunalarni talab qiladi. Avvalo bu sohada havo tarkibidagi kislorod va azot UB nurlarni yutadi.

Shuning uchun, ushbu sohada ishlaydigan asboblarda vakuum qurilmaga ega bo'lishi kerak. Bu xildagi asboblarda murakkabligi tufayli laboratoriya mashg'ulotlarida kam ishlatiladi. Yaqin UB soha - o'lchash uchun ancha qulayliklarga ega bo'lgan, amalda ko'p tarqalgan usullardan hisoblanadi.

Bu sohada kvarts shaffoflik xususiyatiga ega bo'lganligi uchun undan prizmalar va o'lchash idishchalarini tayyorlanadi. Tekshirish uchun kerak bo'ladigan modda miqdori 0,1 mg ni tashkil etadi. Shu afzalliklari tufayli UB - spektroskopiya kimyoviy moddalarning tuzilishini o'rganishda ishlatiladigan fizikaviy tadqiqot usullarining eng ko'p tarqalgan turini tashkil etadi.

Atom va molekuladagi elektronlar juda aniq energiyaga ega bo'lgan orbitalarni egallaydi. Atom orbitalarning energiyalari kvant sonlarining yig'indisi bilan ifodalanadi. Molekula orbitallari atom orbitallarining chiziqli to'plami deb qaralishi mumkin. Bu to'plam elektronlarining spini antiparallel yo'nalishga ega bo'lgan bog'lovchi orbital /normal holat/ va elektron spinlari parallel yo'nalishga ega bo'lgan bo'shashgan orbitadan /qo'zg'algan holat/ tashkil topgan. Organik molekulalar  $\sigma$  va  $\pi$  bog'larni hosil qiluvchi elektronlar hamda tarkibida juftlashmagan elektronlar tutgan geteroatomlardan /p – elektronlar/ tashkil topadi.

Energiyasi yuqori kvant  $\sigma \rightarrow \sigma'$  o'tish uchun zarurdir, ya'ni oddiy bog'larni qo'zg'algan holatga keltirish uchun yorug'lik kvantining to'lqin uzunligi kichik bo'lishi kerak.

$n \rightarrow \sigma', \pi \rightarrow \pi'$  o'tishlarini sodir qilish uchun kerakli energiya kam miqdorda talab qilinadi. n - holatdagi elektronlarning energiyasi  $\pi$ -holatdagidan ham yuqoridir va ularni qo'zg'atish uchun eng kam miqdorda energiya sarf qilinmog'i kerak. Bu holdagi o'tishlar yaqin UB sohada sodir bo'lganligi uchun amaliy ishlarda katta ahamiyatga egadir.

Molekula tarkibidagi UB sohadagi elektromagnit nurlarni tanlab yutadigan guruhlar xromoforlar deyiladi. Xromoforlarga tarkibida qo'sh bog' yoki geteroatom tutgan moddalar misol bo'ladi. Xromofor guruhlar organik modda tarkibida har xil holatda joylashishi mumkin, lekin xromoforning UB sohada o'tishi oddiy molekulalarda yoki tuzilishi jihatdan murakkab bo'lgan molekulalarda ham amalda bir-biriga yaqin bo'lgan to'lqin uzunliklarida elektromagnit nurlarini yutadi. Xromofor guruhlarining har xil kimyoviy ta'sirlashuviga qarab UB sohada hosil qiladigan yutish maksimumlari o'zgarishi

mumkin. Yutish maksimumining to'liq uzunligi uzun sohaga siljishi bataxrom siljish deyiladi, qisqa sohaga siljishi esa gipsoxrom siljish deb ataladi.

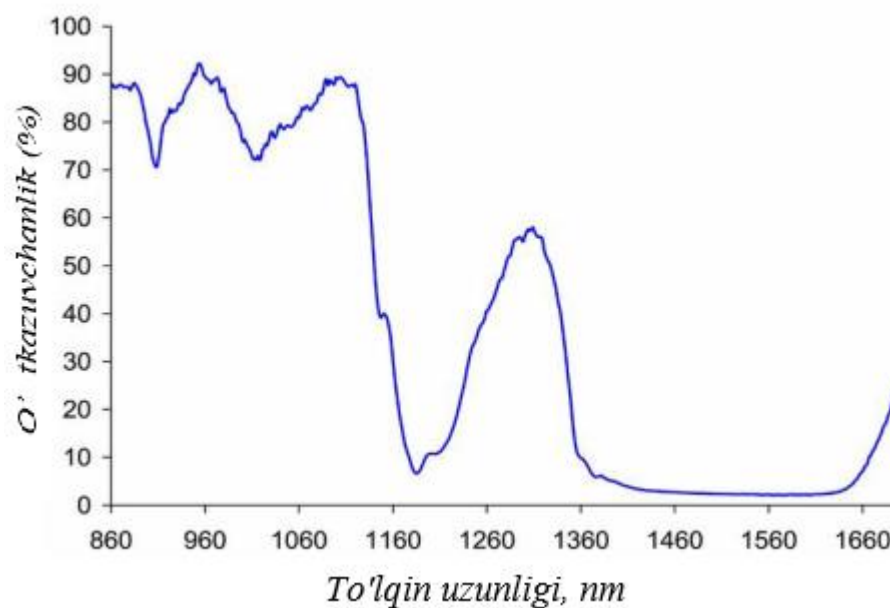
#### **2.4. Infraqizil spektroskopiya.**

Infraqizil spektroskopiya usuli juda qisqa vaqt oralig'ida molekulalarning nisbiy joylashuvi haqida ma'lumot olish, shuningdek ular orasidagi bog' xarakterini baholashga imkon beradi. Bu esa turli moddalarning strukturaviy xossalarni o'rganishda muhim hisoblanadi. Bu usul asosida infraqizil nurlanish kabi fizik hodisa yotadi. Infraqizil nurlanishni, shuningdek "issiqlik" nurlanishi deb ataladi.

Bunga sabab ma'lum bir haroratgacha qizdirilgan barcha qattiq, suyuq jismlar infraqizil spektrdagi energiyani nurlantiradi. Mutloq qora jismning nibatan yuqori bo'lmagan haroratlardagi (bir necha ming kelvin) nurlanish spektri asosan mazkur oraliqda yotadi.

Infraqizil spektraskopiya usulining mohiyati. Infraqizil spektraskopiya – infraqizil sohada, yani to'liq uzunligining  $10^{-6}$  dan  $10^{-3}$  m gacha bo'lgan oraliqdagi elektr magnit nurlanishning yutilish va ajralish spektrini o'rganuvchi molekular optik spektraskopiyaning bo'limidir. Yutilgan nurlanish jadalligi – infraqizil spektr to'liq uzunligi koordinatasi ko'plab maksimum va minimumga ega bo'lgan murakkab egri chiziqlardir.

Yutilish yo'lagi o'rganilayotgan tizimning asosiy elektron holatning tebranuvchi sathlar orasidagi o'tish natijasida paydo bo'ladi. Alohida molekulaning spektral tasviri (yo'lak maksimumlarining joylashuvi, ularning yarim kengligi, jadalligi), ularni tashkil qilgan atomlarning massasi, tuzilish geometriyasi, atomlar orasidagi kuchlarning o'ziga xosligi, zaryadlar taqsimoti va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun infraqizil spektrlar o'zining indivudialligi bilan ajralib turadi. Bu esa birikmalarning tuzilishini o'rganishda va aniqlashda ular bebaholigini belgilab beradi.



**2.6-rasm. Suyuq etanolning yaqin IQ-spektri.**

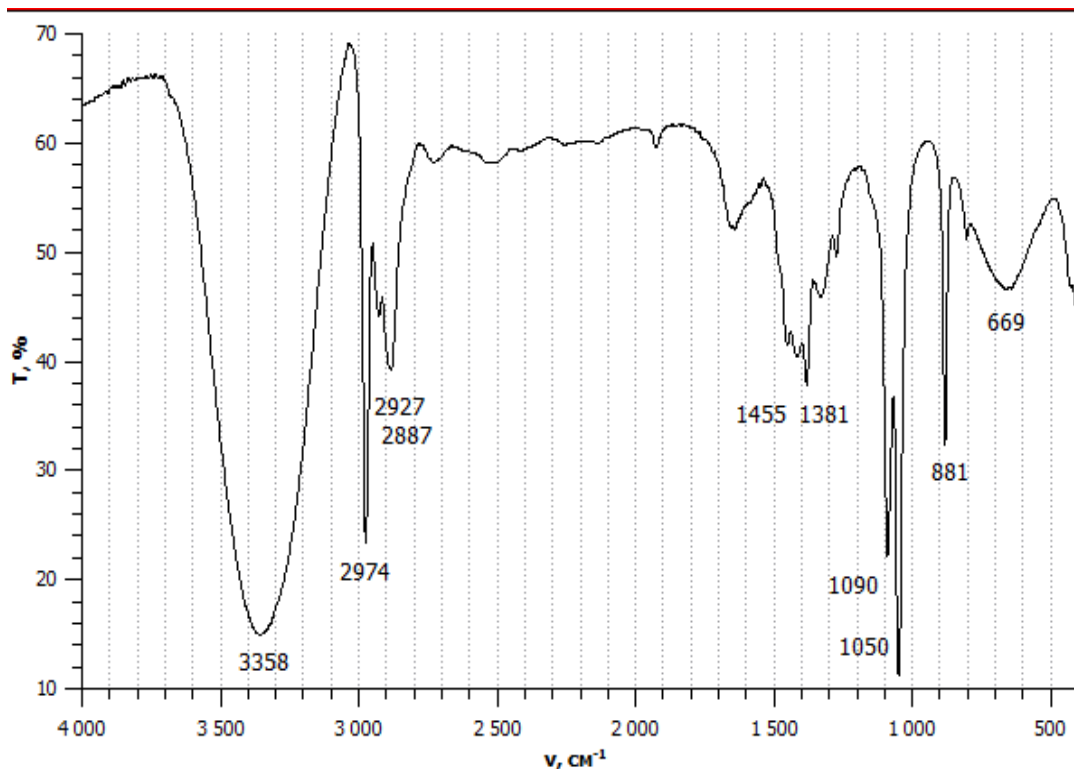
Modda orqali o'tgan nurlanish jadalligi  $I$ , tushayotgan nurlanish jadalligi  $I_0$  va yutuvchi moddani tavsirlovchi kattaliklar orasidagi miqdoriy aloqa Buger – Lambert – Berg qonuniga asoslanadi, ya'ni yutilish yo'lagi jadalligini namunadagi modda konsentratsiyasiga bog'liqligidir. Bunda modda miqdori haqida alohida yutilish yo'lagi bo'yicha emas, balki to'lqin uzunligining keng oralig'ida butun spektral egri chiziq bo'yicha mulohaza qilinadi. Agarda komponentlar soni ko'p (4-5) bo'lmasa, ularning spektri matematik yo'l bilan ajratish mumkin. Miqdoriy tahlil xatoligi odatda foiz ulushini tashkil qiladi.

Infraqizil spektroskopiyaning strukturasi sifatini qayd qilish va aniqlashda qo'llanilish imkoniyatlari. Infraqizil spektroskopiya universal fizik kimyoviy usul bo'lib, turli xil organik va noorganik birikmalarning strukturaviy o'ziga xosliklarini tadqiq etishda qo'llaniladi. Usul tadqiq etilayotgan jismdagi atomlar guruhi tomonidan infraqizil oraliqdagi elektr magnit nurlanishlarni yutilishiga asoslangandir. Yutilish infraqizil yorug'lik kvantlari tomonidan molekulyar tebranishlarni g'alayonlashishi bilan bog'langandir. Molekulalarni infraqizil nurlanish bilan nurlantirilganda nafaqat chastotasi valent, molekulalarning deformatsion va vibratsion tebranishlari chastotasiga mos keluvchi kvantlar yutiladi.

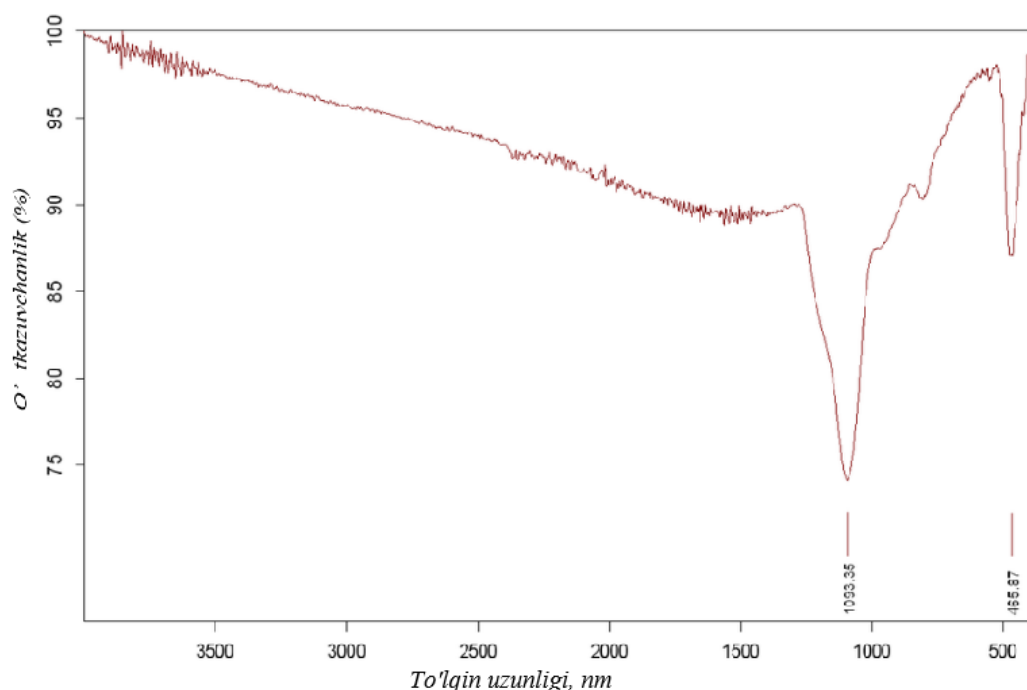
Qattiq jism sirti spektrini qayd qilish uchun buzilgan to'liq ichki akslanish usuli qo'llaniladi. U moddaning sirt qatlami tomonidan tadqiq etilayotgan sirt bilan optik kontaktda bo'lgan to'liq ichki akslanish prizmasidan chiqayotgan elektromagnit nurlanish energiyasini yutilishiga asoslanadi. Infraqizil spektroskopiya aralashmalarni tahlil qilishda va toza moddalarni aniqlashda keng qo'llaniladi. Moddalarning aniqlash axborot qidirish tizimi yordamida tadqiq qilinayotgan spektrini EHM xotirasida saqlanayotgan spektr bilan avtomatik taqqoslash yo'li bilan amalga oshiriladi. Yangi moddalarni (100 gacha bo'lgan atomdan iborat bo'lgan molekular) aniqlashda sun'iy zakovat tizimidan foydalaniladi. Mazkur tizimlarda spektr strukturaviy korreksiya asosida molekulyar struktura generatsiyalanadi. So'ngra ularning nazariy spektri quriladi. Bu spektrlar tajriba ma'lumotlari bilan solishtiriladi. Infraqizil spektroskopiya usuli bilan molekularlar va boshqa jimmlarning tuzilishini tadqiq etish molekulyar model parametrlari xaqida ma'lumot olishni nazarda tutadi va matematik nuqtayi nazardan teskari spektral vazifani yechib kelishga olib kelinadi. Bunday vazifalarni yechish spektral egri chiziqlarning maxsus nazariyasi yordamida hisoblangan, qidirilayotgan parametrlarni ketma-ketlikda tajribaviy yaqinlashtirish bilan amalga oshiriladi.

Molekulalar model parametrlari sifatida tizimni tashkil qiluvchi atomlar massasi, bog' uzunligi, valent va torsion burchaklar, potensial sirt tasviri (kuch doimiylari va boshqa), bog'larning dipol momenti va ularning bog' uzunligi bo'yicha hosilasi va boshqalar.

Infraqizil spektroskopiya fazoviy va konformatsion izomerlarni aniqlashga, molekula ichidagi va o'zaro tasirlashuvlarni, kimyoviy bog' xarakterini, molekuladagi zaryadlarning taqsimotini, fazoviy o'zgarishlarini, kimyoviy reaksiya kinetikasini taqdim etishga, qisqa yashovchi (yashash vaqti  $10^{-6}$  s gacha bo'lgan) zarralarni qayd qilishga, alohida geometrik parametrlarni oydinlashtirishga, termodinamik funksiyalarni hisoblash uchun ma'lumotlarni olishga imkon beradi.



**2.7-rasm. Transmissiya rejimidagi moddaning plyonkasidan olingan etanolning IQ spektri.**



**2.8-rasm. Mis (I) xloridning IQ spektri.**

Bunday tadqiqotlarning zaruriy bosqichi – spektrlarni talqin etish, ya'ni normal darajasi bo'yicha tebranish energiyasining taqsimoti, spektrdagi yo'laklarning joylashuvi va ularning jadalligini aniqlovchi parametrlarni aniqlash.

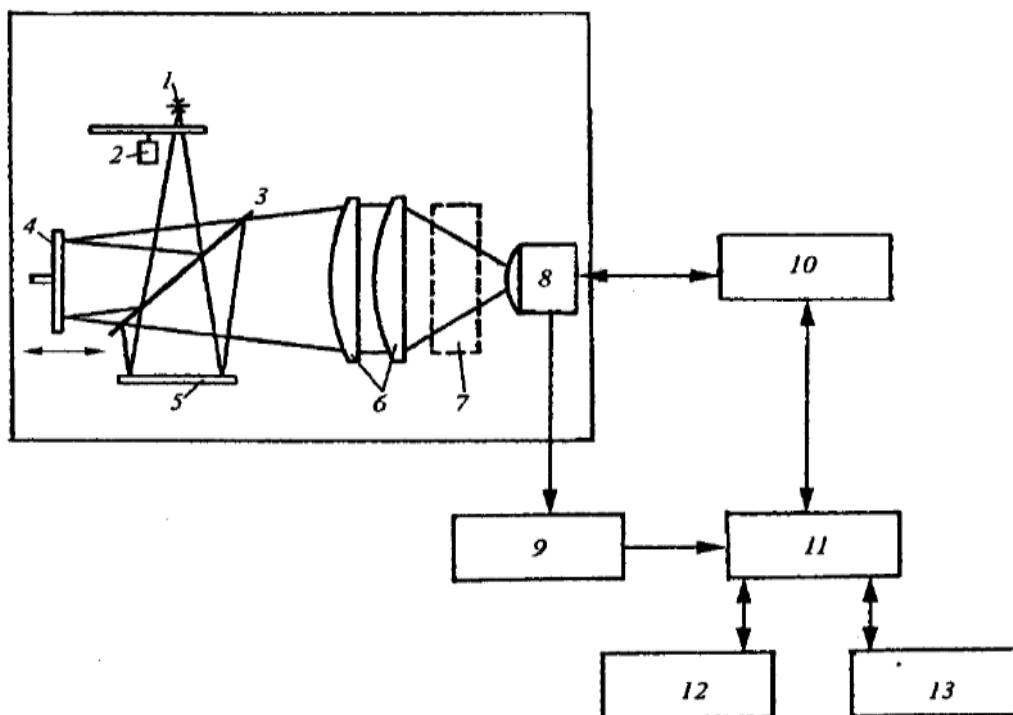


100 tagacha atomdan iborat bo'lgan molekulalarni, shu jumladan polimerlarning spektrini hisoblash EHM yordamida bajariladi.

***Infraqizil spektrokopiya uchun qurilma.*** Spektrlarni qayd qilish uchun klassik spektrofotometr va fure spektrometrlar ishlatiladi. Klassik spektrometrlarning asosiy qismi – uzluksiz issiqlik nurlanish manbasi, monoxolyator, nurlanishning tanlanmaydigan qabul qilgichi. Modda (ixtiyoriy alregat holatda) solingan idish (kyuveta) kirish (bazasida chiqishdan keyin) tirqishi oldida joylashtiriladi. Monoxromatorning sochuvchi qurilmasi sirtida turli materialdan (LiF, NaCl, CsF va boshqa) tayyorlangan prizma va difraksion panjara ishlatiladi. Turli to'lqin uzunlikdagi nurlanish chiqish tirqishiga va nurlanish qabul qilgichiga keltirish prizma yoki panjarani burish orqali amalga oshiriladi. Nurlanish manbasi - elektr toki bilan qizdirilgan turli materiallardan tayyorlangan o'zak. Qabul qilgichlar: sezgir termojuftliklar, metall va yarimo'tkazgichli termoqarshiliklar (bolometrlar) va gazli termoo'zgartirgichlar. Gazli termoo'zgartirgichlarda idish devorlarini qizdirilishi gazning qizishiga va uning bosimi o'zgarishiga olib keladi. Bosimning o'zgarishi esa qayd qilinadi. Chiqish signal oddiy spektral egri chiziq ko'rinishiga ega bo'ladi.

Klassik sxemadagi asboblarning afzalliklari: konstruksiyaning soddaligi, nisbatan arzonligi. Kamchiliklari: signal - shovqin nisbatining kichikligi tufayli kuchsiz sinalni qayd qilish imkoniytining yo'qligi. Bu esa ularni uzoq infraqizil sohada ishlashini qiyinlashtiradi; nisbatan katta bo'lmagan ajrata olish qobilyati ( $0,1 \text{ sm}^{-1}$  gacha), spektrni qayd qilish vaqtining kattaligi (bir necha daqiqa davomida).

Fure-spektrometrlarida kirish va chiqish tirqishlari mavjud bo'lmaydi. Asosiy element interferometr. Manbadan kelgan nurlanish oqimi ikkita nurga bo'lib, ular namuna orqali o'tadi va interferensiyalanadi. Nur yo'lining farqi to'plamlardan birini akslantiruvchi harakatga ko'zgu orqali amalga oshiriladi.

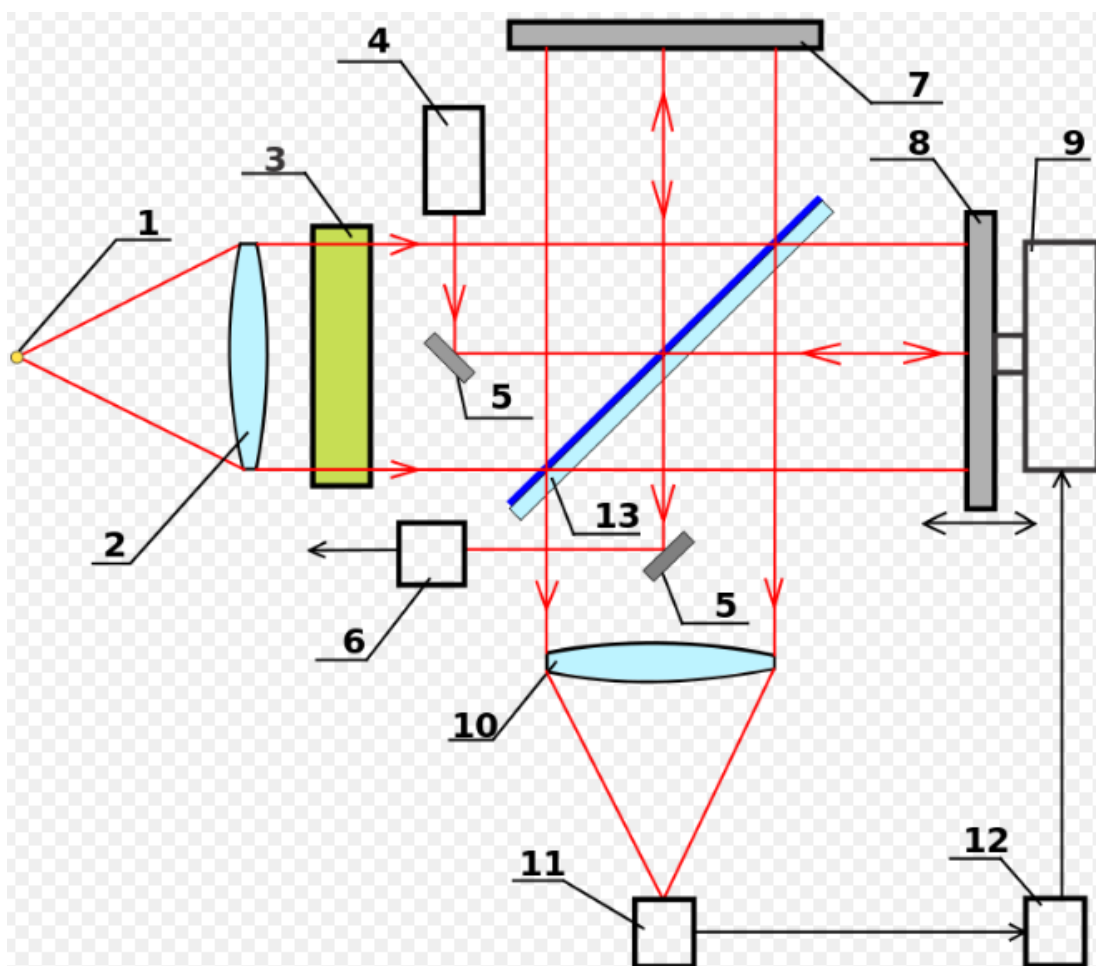


**2.9-rasm. Fure-spektrometrining blok sxemasi: 1 – nurlanish manbasi; 2 – o’zak; 3 – yorug’lik bo’lagi; 4 – xarakatchan ko’zgu; 5 – qo’zg’almas ko’zgu; 6 – linza tizimi; 7 – kyuveta bo’limi; 8 – detektor; 9 – analog raqamli o’zgartirgich; 10 – kontroller; 11 kompyuter; 12 – raqamli bosma; 13 – diskli xotira.**

Boshlang’ich signal nurlanish manbasining energiyasiga va namunani yutishiga bog’liq bo’ladi va ko’p sondagi garmonik tashkil qiluvchilarning yig’indisi ko’rinishiga ega bo’ladi. Spekrni oddiy shaklda olish uchun ichki EHM yordamida mos Fure o’zgartirishlar amalga oshiriladi.

Infraqizil Fure spektroskopiyasi uchun qurilmadan samarali foydalanish, faqatgina tahlil uchun mo’ljallangan namunalar mos tayyorlangandagina mumkindir. Barcha spektrometrlar EHM bilan ta’minlangan bo’lib, ular spektrni dastlabki qayta ishlashni amalga oshiradi: signallarni jamlash, ularni shovqinlardan ajratish, fon va taqqoslash spektrini (eritgich spektri) ayirib tashlash, yozish ko’lamini o’zgartirish, tajribaviy spektral parametrlarni hisoblash, spektrlarni berilgan bilan hisoblash, spektrlarni differensiyalash va boshqalar. Infraqizil spektrometr uchun kyuveta infraqizil sohada shoffof bo’ladigan materiallardan

tayyorlanadi. Eritgich sirtida odatda  $SCl_4$ ,  $CHCl_3$ , tetroxloretilen, vazelin moyi ishlatiladi. Qattiq namunalarni ko'pincha maydalashadi,  $KBr$  kukuni bilan aralashtirishadi va tabletkaga jipslashtiradi. Agressiv suyuqlik va gazlar bilan ishlash uchun kyuveta darchasiga maxsus himoya changlatilishi ( $Ge$ ,  $Si$ ) qo'llaniladi. Havoning xalaqit qiluvchi ta'sirini asbobni vakuumlash yoki uni azot bilan shamollatish orqali bartaraf qilinadi.



**2.10-rasm. Optik Furiye spektrometrining sxemasi.**

Furiye spektrometri Maykelson interferometri bo'lib, unda ko'zgulardan biri harakatchan bo'lib, bu nurlar yo'lidagi farqni o'zgartirishga imkon beradi. Oyna kompyuter tomonidan boshqariladigan mexanik boshqaruvchi tomonidan almashtiriladi: 1 - oq yorug'lik manbai yoki tekshirilgan manba; 2 - kollimator linzalari; 3 - tekshiriluvchi modda bilan kyuvetka; 4 - lazer; 5 - lazerdan nurlarini qaytaruvchi ko'zgu; 6 - nurni qabul qiluvchi fotodetektor; 7 - qo'zg'almas oyna; 8 - harakatlanuvchi oyna; 9 - harakatlanuvchi oynaning mexanik boshqaruvchisi;

10 - fotodetektor linzalari; 11 - fotodetektor; 12 - kompyuter orqali interferogrammani boshqarish va qayta ishlash; 13 - nurni ajratuvchi plastinka.

Kuchsiz yutuvchi moddalar uchun ko'p yo'lli kyuvetadan foydalaniladi. Ularda optik yo'l uzunligi parallel ko'zgu tizimlaridan ko'p marotaba akslanishi hisobiga 100 metrlarga yetadi. Matritsali izolyatsiya usuli keng tarqalgan bo'lib, ularda tadqiq qilinayotgan gaz argon bilan aralishtiriladi, so'ngra esa aralashma muzlatiladi. Natijada yutilish yo'lagining yarim kengligi keskin kamayadi va spektr kontrastroq bo'ladi. Maxsus mikroskopik texnikadan foydalanish juda kichik o'lchamdagi (nm ulushlarida) jismlar bilan ishlashga imkon beradi.

Infraqizil spektrlarini qayd qilish uchun qattiq jisimli namunalarni tayyorlash ikkita usul bilan amalga oshiriladi:

1. Suspenszion usul namunani mayda dispersion holatgacha (zarralar o'lchami 2-7 mkm) surtiladi va n sindirish ko'rsatgichi namunani kiga yaqin bo'lgan immersion suyuqlikda tayyorlashdan iboratdir. Bunda matritsa sifatida odatda vazelin moyi, ftorlangan yoki xlorlangan moy ishlatiladi. Olingan yarimshaffof pasta shpatel yordamida optik materialdan tayyorlangan darchaga yupqa tekis taqsimlangan parda ko'rnishida surtiladi.

Ishqoriy metallarning galogenidi bilan tabletkaga jipslash namuna tayyorlashning asosiy va universal usuli hisoblanadi. U aniq xovonchada yupqa maydalangan namunani KBr kukuni bilan yaxshilab aralastirish xamda aralashmani press shaklda jipslantirishdan iboratdir. Natijada shaffof yoki yarimshaffof tabletkaga olinadi. Sifatli spektrlarni olish uchun moddalarning dispersiyalash darajasi zarralarni o'lchami 2-7 mkm (infraqizil nurlanishning to'lqin uzunligi) yetishi kerak.

Surkashni yengillashtirish uchun ba'zida haydalgan eritgichning (to'rt xlor uglerod yoki geksan) bir nechta tomchisi qo'shiladi. Mazkur eritgich surkashdan keyin bug'lanib ketadi. Eng yaxshi natija jips-shakl vakuumda amalga oshirilganda erishish mumkin. Bunda tabletkaga havoning kiritilishining oldi olinadi.

## 2.5. Mass spektroskopiya.

Mass-spektrometr haqida tushuncha. Mass-spektrometr moddaning ionlashgan zarralarini massalari bo'yicha aniqlaydigan asbobdir. Ishi magnit va elektr maydonlarning bo'shliq (vakuum) dagi ionlar dastasiga ko'rsatadigan ta'siriga asoslangan bo'ladi. Mass-spektrometrlar statistik va dinamik Mass-spektrometrlarga bo'linadi.

Statistik Mass-spektrometrning ishi o'zgarmas  $\frac{m}{e}$  magnit va elektr maydondagi ionlarning trayektoriyasi nisbatiga bog'liq, bunda  $m$  – ion massasi,  $e$  – elektr zaryadi.

Dinamik Mass-spektrometrning ishi esa, asosan ionlarning manbadan kollektorgacha bo'lgan masofani o'tish vaqtiga yoki o'zgaruvchan elektr va magnit maydondagi tebranish davriga asoslangan bo'ladi.

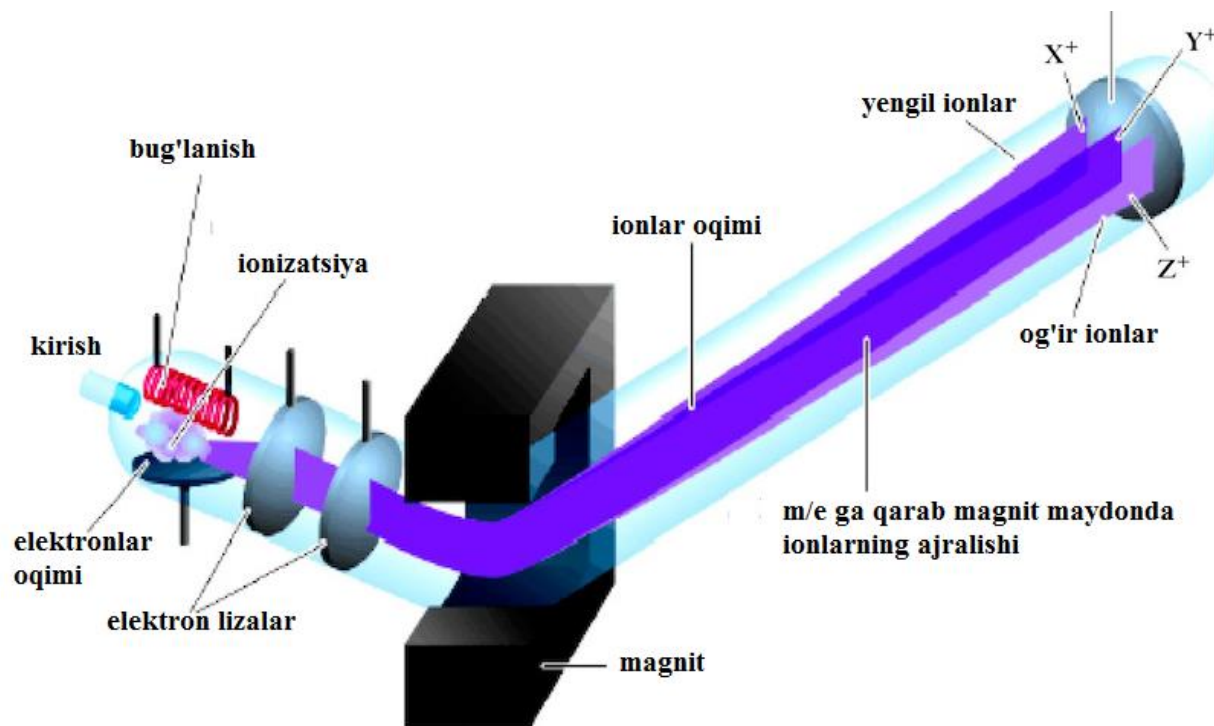
Qayd qilish uslubiga ko'ra Mass-spektrometr ionlar dastasini fotografik qayd qiluvchi va ion tokini elektr asboblari bilan qayd qiluvchi xillarga bo'linadi.

Mass-spektrometrning asosiy qismlariga:

- ion manbalari (tekshirilayotgan modda ionlashib, ma'lum yo'nalishda ion dastasi hosil qilinadi);
- Analizator (asosan, ion manбайдan chiqayotgan ion dastasini ionlarning massasi, zaryadiga qarab bir necha ion dastasiga ajraladi);
- Qabul qilish qurilmasi (bir yoki bir necha maxsus elektrodlar – ion kollektordan iborat). Ion kollektorlari ion toki kuchaytirgichlari va hisoblash asboblariga ulanadi. Mass-spektrometrda, shuningdek tekshirilayotgan gazsimon moddani ion manbayiga o'tkazuvchi, qurilma vakuum manometrlar sistemasi, ion tutqichlar, ion manbayi va  $10^{-7} - 10^{-5}$  mm. simob ustuni bosimini vujudga keltiruvchi vakuum nasoslardan iborat bo'ladi. Mass-spektrometrning ion manbayi analizator va ion tok manbayiga ulanadi.

Jism (yoki suyuqlik) tarkibidagi modda massasini aniqlashning har xil usullari mavjud.

Masalan, Duplet usuli bilan dispersion chiziqlar orasidagi masofa aniqlanadi va shu masofa bo'yicha massalar farqi topiladi. Ionlar tokini o'lchash usuli bilan moddalar massasi aniqlanadi.



**2.11-rasm. Mass-spektrometrning ishlash prinsipi.**

Gaz tarkibini aniqlash uchun ham Mass-spektrometrdan foydalaniladi. Gazlarni to'liq bug'latish, izotopga ajratish, vakuumda uchqunlantish va ionlar bilan bombardimon qilish usullari orqali tekshiriladi. Ma'lum miqdordagi moddani Mass-spektrometr bilan tekshirib, undagi elementlar miqdori nazorat qilinadi, aniqlanadi va izotoplar olinadi.

Kimyo sanoatida Mass-spektrometr bilan texnologik jarayonlar boshqariladi, atomning yuqori qatlamlari tarkibi o'rganiladi, zaryadli zarralarning to'qnashishidagi jarayonlar kuzatiladi, ximyoviy reaksiyalar kinetikasi tekshiriladi. Mass-spektrometr yordamida Yer yuqori atmosferasining neytral va ion tarkibi o'lchanadi (boshqa sayyoralarining atmosferasi tarkibini ham shu usulda aniqlash mumkin).

Gazning partial bosimini o'lchaydigan asboblardan gazanalizator yoki Mass-spektrometrlar deyiladi. Deyarli barcha keng qo'llaniluvchi yuqori vakuumli Mass-

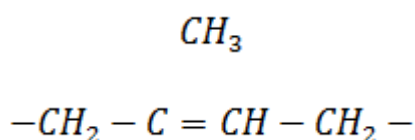
spektrometrlarning harakat prinsiplari analiz qilinayotgan gazning ionlantirishga qaratilgan. Bu yerda hosil bo'lgan musbat ionlar har biriga xos ion massasining uning zaryadiga nisbatiga bo'linadi, yana ionlar massa soni ham deyiladi. Sochilgan ionlar Mass-spektrometr kollektoriga tushadi va uning zanjirida bosimga proporsional bo'lgan tok hosil bo'ladi. Shuning uchun Mass-spektrometrlar uchta asosiy qismdan iborat bo'ladi. Bularga ion manbai, analizator va ion qabul qilgich kiradi.

### III BOB. MOLEKULYAR BIRIKMALAR MASSALARI VA SHAKLLARI.

#### 3.1. Quyi, organik va yuqori molekulyar birikmalar massalari, konfiguratsiyasi va konformatsiyasi.

Tabiatda uchraydigan ko'plab moddalar orasida boshqalaridan o'zining fizikaviy xossalari bilan keskin farq qiluvchi, eritmalarining yuqori qovushqoqliligi tufayli tolalar, pardalar va h.k.lar hosil qila oladigan moddalar guruhi mavjud. Bu guruhga o'simlik va hayvonot organizmi hayot faoliyatida hosil bo'luvchi selluloza, ligniti, pentozanlar, kraxmal, oqsillar va nuklein kislotalar kiradi.

Tabiiy polimerlar deb ataluvchi turli xil tolalar, teri va kauchukdan qadim zamonlardan foydalanib kelingan. Yuqori molekulyar birikmalar quyi molekulyar birikmalardan molekulyar massasining nihoyatda kattaligi bilan farq qiladi. Odatda molekulyar massasi 5000 va undan yuqori bo'lgan moddalar, hoh u tabiiy, hoh sintetik bo'lsin, yuqori molekulyar birikmalar sinfiga kiritiladi. Demak, yuqori molekulyar birikmalar kimyosi molekulasi yuzlab va minglab atomlardan iborat kimyoviy moddalarni o'rganadi. Yuqori molekulyar birikmalarni tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, ularning molekulalari asosan bir xil qismlardan iborat. Shuning uchun u qismlar elementar zvenolar deb nomlanadi. Tabiiy kauchukda elementar zveno izopren molekulasidir:



Shu kabi ko'plab elementar zvenolardan tuzilgan yuqori molekulyar birikmalarni makromolekulalar yoki polimerlar deb nomlash qabul qilingan. Polimerlar va monomerlar oralig'idagi molekulyar massali moddalar oligomerlar deb ataladi.

Polimerlarning muhim xarakteristikalaridan biri makromolekuladagi elementar zvenolar sonini ko'rsatuvchi polimerlanish darajasidir. Polimerning molekulyar massasi M va uning polimerlanish darajasi P orasida quyidagi nisbat mavjud:

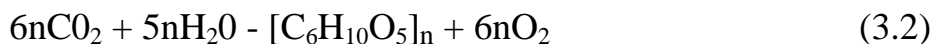


$$P = \frac{M}{m} \quad (3.1)$$

bu yerda,  $m$  ~ elementar zvenoning molekulyar massasi.

Masalan, selluola makromolekulasi 20-30 ming glikozid qoldiqlaridan iborat uzun zanjirsimon makromolekuladan iborat.

Tirik tabiatning asosini organik yuqori molekulyar birikmalar tashkil qiladi. Polisaxaridlar, lignin, oqsillar, pektin moddalar o'simlik dunyosining asosiy tarkibiga kirib yuqori molekulyar birikmalardan iborat. Yog'och, paxta, kanop kabi polimerlarning mexanik xossalari ular tarkibida yuqori molekulyar polisaxarid - sellulozaning katta miqdorda bo'lishidandir. Bunday yuqori polisaxaridlar assimilyatsion jarayonning so'nggi muhim natijasi bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:



Tirik organizm asosini ham yuqori molekulyar birikmalar tashkil etadi. Bular oqsillar bo'lib, tirik organizmning deyarli barcha qismi - mushaklar, birlashtiruvchi to'qimalar, miya, qon, teri, soch, jun, shox, tuyoq va boshqalarni tashkil etuvchilar yuqori molekulyar birikmalardan iborat.

Organik yuqori molekulyar birikmalar tirik tabiatda qanday ahamiyatga ega bo'lsa, anorganik yuqori molekulyar birikmalar ham shunday rol o'ynaydi va minerallar dunyosida shunday tarqalgan. Yer qobig'ining asosiy qismi kremniy, alyuminiy va boshqa makromolekulalar tashkil etuvchi ko'p valentli elementlar oksidlaridan tashkil topgan. Bular orasida, shubhasiz yuqori molekulyar birikma hisoblangan kremniy oksidi  $[SiO_2]_n$  keng tarqalgan. Yer shari massasining 50% idan ortig'i kremniy angidrididan iborat, yer qobig'ining tashqi qismi (granit qavat)da uning miqdori 60% ga etadi.

Kremniyning asosiy qismi yer qobig'ida toza kremniy oksidi polimeri va yuqori molekulyar murakkab silikatlar (ko'proq alyuminiy silikatleri) va faqat ozgina qismi quyi molekulyar silikatlar ko'rinishida bo'ladi. Kremniy angidridining keng tarqalgan turi tog' jinslari va qumning muhim asosiy qismini

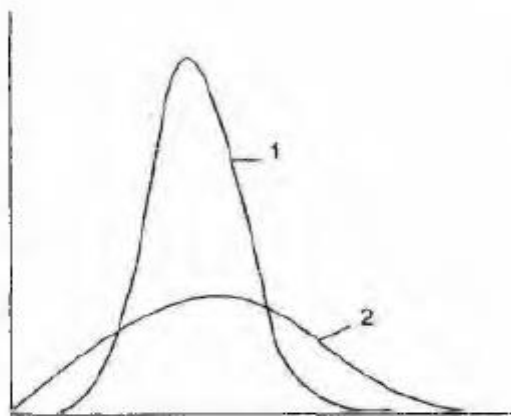
tashkil etuvchi kvarts hisoblanadi. Tog' xrustali va ametist ham deyarli toza kremniy angidrididan iborat.

Alyuminiy oksidi  $[\text{AlO}_3]_n$  polimeri korund minerali va qimmatbaho minerallar - yoqut va safir (ko'kish yoqut) ko'rinishida uchraydi.

Yuqori molekulyar birikmalar kimyosining eng avvalo, o'ziga xos xususiyati molekulyar massaning butunlay yangi tushuncha ekanligi. Quyi molekulyar birikmalar uchun molekulyar massaning qiymati - kimyoviy birikmaning yakkaligini tavsiflovchi konstantadir. Ularda molekulyar massaning o'zgarishi boshqa moddaga aylanish va xossalarning o'zgarishi bilan namoyon bo'ladi. Gomologik qator vakilining bir turdan ikkinchi turga o'tishi (molekulyar massasi qiymatining o'zgarishi) bilan moddaning fizikaviy xossalari shunchalik o'zgaradiki, undan foydalanib gomologlarni bir-biridan ajratish mumkin. Shunday qilib polimergomologlarni har biriga molekulyar massasi bo'yicha yaqin bo'lgan aralashmalardan iborat fraksiyalarga ajratish mumkin.

Shunga ko'ra, yuqori molekulyar birikmalarning molekulyar massasi ayni birikmaning individual xossalarni ifodalovchi konstanta emas, balki o'rtacha statistik kattalik hisoblanadi. Shu sababli yuqori molekulyar birikmalar kimyosiga o'rtacha molekulyar massa tushunchasi kiritiladi.

Polimerdagi polimergomologlarning miqdoriy taqsimlanishini ifodalash uchun polidisperslik tushunchasi kiritiladi. Polimerning polidisperslik darajasi fraksiyalar o'rtacha molekulyar massasining eng yuqori qiymatlari bilan belgilanadi va molekulyar massa bo'yicha polimer taqsimotining egrilari bilan ifodalanadi. 1-rasmda bir xil o'rtacha polimerlanish darajasiga ega bo'lgan, ammo turlicha polidisperslikka ega ikki polimerning molekulyar massa bo'yicha taqsimlanish egriliklari ko'rsatilgan. Rasmda 2-egri chiziq bilan ifodalangan polimerga qaraganda 1-egri chiziq molekulyar massasi bo'yicha yuqori jinsliliigi ko'rsatilgan. Polidisperslik darajasi o'rtacha molekulyar massadek polimerning muhim xarakteristikasi hisoblanadi.



**3.1-rasm. Molekulyar massa bo'yicha taqsimlash egriliklari.**

Demak, polimerlar molekulyar massasini aniqlashning murakkabligi ularning polimolekulyarligi bilan bog'liq, chunki har bir namunada turlicha o'lchamli molekulalar mavjud. Shuning uchun har qanday usul bilan aniqlangan molekulyar massa o'rtacha qiymatga ega bo'ladi, ammo turli xil usulda aniqlanganda turli son qiymatlarni oladi. Buning uchun quyidagi misolni ko'raylik.

Aytaylik,  $M_1$  molekulyar massali  $N_1$  ta molekula

$M_2$  molekulyar massali  $N_2$  ta molekula

$M_3$  molekulyar massali  $N_3$  ta molekula

va h.k. bo'lsin.

O'rtacha molekulyar massaning qiymatini quyidagi ikki usulda hisoblash mumkin:

a) o'rtacha arifmetik yoki o'rtacha raqamiy ( $\overline{M}_n$ ) molekulyar massa;

Molekulyar massaning o'rtacha arifmetik qiymatini hisoblash uchun molekulyar massaning har qaysi qiymatini xuddi shu molekulyar massali molekulalar soniga ko'paytirib olingan ko'paytmalarni qo'shish, ya'ni barcha molekulalarning molekulyar massalari yig'indisini olish, so'ngra shu yig'indini molekulalarning umumiy soniga bo'lish lozim:

$$\overline{M}_n = \frac{N_1 M_1 + N_2 M_2 + N_3 M_3 + \dots}{\sum N_i} = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad (3.3)$$

b) o'rtacha vazniy yoki o'rtacha muallaq ( $\overline{M}_w$ ) molekulyar massa;

$\overline{M}_w$  ni hisoblash uchun umumiy molekulyar massadagi ayni molekulyar massaning ulushini bilish lozim. Umumiy molekulyar massa  $\sum M_1 N_1$  ni tashkil qiladi, demak har bir molekulyar massaning ulushi ( $X_i$ ) quyidagiga teng:

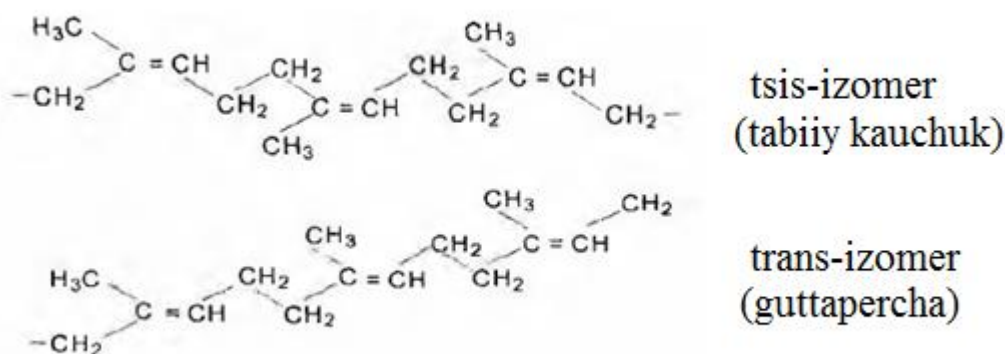
$$X_i = \frac{M_1 N_1}{\sum M_1 N_1} \quad (3.4)$$

Agar har bir molekulyar massa qiymatini uning molekulyar massadagi ulushiga ko'paytirib va bu ko'paytmalarni qo'shib chiqilsa, hosil bo'lgan qiymat o'rtacha vazniy yoki o'rtacha muallaq molekulyar massa deyiladi.

$$M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3 + \dots = \overline{M}_w \quad (3.5)$$

### 3.2. Polimer zanjirining konformatsiyasi. Zanjir bukiluvchanligi.

Polimerning uzun zanjiri turlicha konfiguratsiya va konformatsiya shakllarida bo'lishi mumkin. Masalan, 3.2-rasmda izopren qoldiqlaridan tuzilgan zanjir ikkita barqaror konformatsiyada: tsis-konfiguratsiya (tabiiy kauchuk) va trans-konfiguratsiyada (guttapercha) bo'lishi mumkin.

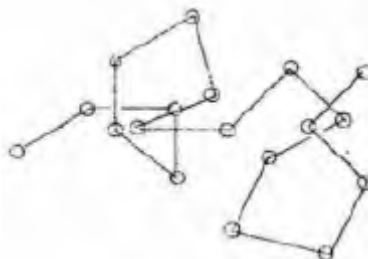


#### 3.2-rasm. Izopren qoldiqlaridan tuzilgan zanjir konformatsiyasi.

Polimer zanjirining konformatsiyasi haqidagi tasavvurlar birinchi marta V.Kun, G.Mark va E.Gut tomonidan kiritildi. Ularning fikricha, polimer zanjirining har xil konformatsiyasi kimyoviy bog'lar uzilmagan holda zvenolarning bir-biriga nisbatan erkin aylanishidandir. Uglerod atomlari faqat  $\sigma$ -bog'lar bilan bo'langan alohida olingan polimer zanjirini ko'rib chiqaylik. Bunday zanjir zvenolari issiqlik harakatida bo'ladi, ya'ni bir zveno qo'shni zvenoga

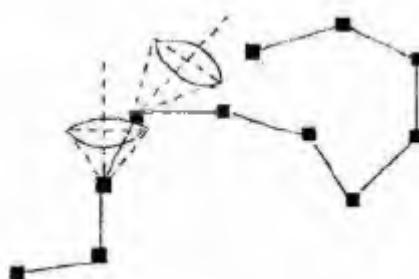
nisbatan aylana oladi. Bunday zanjirning valent burchaklari belgilanmagan bo'lib, aylanish  $\sigma$ -bog'lar atrofida erkin bo'lsin deb faraz qilaylik.

Bunday zanjir erkin a'zolangan deb atalib, fazoda qo'shni zvenolar holatidan qat'iy nazar har qanday holatni egallashi mumkin. Bunday zanjir har xil konformatsiyada bo'lishi mumkin, ya'ni u o'ta bukiluvchandir (3.3-rasm).



### 3.3-rasm. Erkin a'zolangan zanjir konformatsiyasi.

Polimerlarning real zanjirli molekulalarida valent burchaklar aniq qiymat ( $109^{\circ}28'$ ) ga ega bo'lib zvenolarning aylanma harakati natijasida o'zgarmaydi. Belgilangan valent burchakli zanjirda har bir zveno holati yonidagi zvenoga bog'liq bo'ladi. (3.4-rasm). Shuning uchun erkin aylanish bo'ladi deb faraz qilinganda ham bunday zanjir erkin a'zolangan zanjirga qaraganda kam sonli konformatsiyani egallaydi, lekin u ham yaxshi bukilish xususiyatiga ega bo'ladi. S.E. Bresler va Ya.I. Frenkel polimer molekulalaridagi ichki aylanish bir-biri bilan kimyoviy bog'lanmagan atomlar ta'siri natijasida tormozlanishini ko'rsatdilar. Bu bitta makromolekuladagi atomlarning o'zaro ta'siri (ichki molekulyar ta'sir) va qo'shni zanjirlardagi zvenolar atomlari o'zaro ta'siri (molekulalararo ta'sir) natijasida bo'lishi mumkin.



### 3.4-rasm. Belgilangan valent burchakli zanjir konformatsiyalari.

Real sistemalarda polimer molekulalari o'ziga o'xshash molekulalar bilan o'ralgan, shuning uchun aylanishning tormozlanish darajasiga ta'sir qiluvchi u

yoki bu xildagi molekulalararo ta'sirlar bo'ladi, lekin bu o'zaro ta'sirlarni hisobga olish murakkab vazifa. Shuning uchun bunday ta'sirlarni hisoblashda ichki molekulyar ta'sirlarni hisobga olish bilan chegaralaniladi. Ikki xil ichki molekulyar ta'sir bo'ladi:

1. Yaqin tartibli o'zaro ta'sir, ya'ni oralaridagi masofa yaqin bo'lgan atomlar va atomlar guruhlari ta'siri, masalan, qo'shni zvenolar atomlari orasidagi ta'sir.

2. Uzoq tartibli o'zaro ta'sir, ya'ni zanjirdagi bir-biridan ancha uzoq masofada joylashgan zvenolardagi atomlar yoki atomlar guruhi orasidagi ta'sir. Bunday ta'sir faqat uzun zanjir juda bukilgan holatda bo'lishi mumkin. Shunday qilib, polimer makromolekulasining potensial energiyasi molekulaning bir qismi ikkinchi qismiga nisbatan burilganida ichki molekulyar ta'sir natijasida o'zgaradi.

Polimer strukturasi ikki xil: molekulyar va ustmolekulyar (makromolekulalarning bir-biriga nisbatan joylashishi natijasida hosil bo'lgan struktura) darajasida o'rganiladi. Molekulyar darajadagi strukturaga polimer makromolekulasidagi zvenolarning tuzilishi va funksional o'zaro joylashish tartibi (holati) kiradi. Ustmolekulyar strukturaga polimer makromolekulalari yoki ularning ayrim qismlarining bir-biriga nisbatan joylashishi va ularning shakli kiradi.

Polimerlarning molekulyar strukturasi ular makromolekulasining konfiguratsiyasi, konformatsiyasi va molekulyar taxlanishi tushunchalarini o'z ichiga oladi. Konfiguratsiya molekulani tashkil etuvchi atomlarning fazoviy joylashish tartibini ifodalaydi. Bu tartib molekulalarning tartibsiz issiqlik harakati natijasida o'zgarmaydi: konfiguratsiya faqat kimyoviy bog'larning uzilib, qayta tiklanishi natijasida o'zgarishi mumkin. Polimerlarning konfiguratsiyasi bir necha konfiguratsion darajalarga bo'linadi: elementar zveno konfiguratsiyasi, zvenolarning birikish konfiguratsiyasi (yaqin konfiguratsion tartib), katta bloklarning birikish konfiguratsiyasi (uzoq konfiguratsion tartib), mikrozanjir konfiguratsiyasi.

Elementar zvenolarning konfiguratsiyasi organik kimyoda ishlatiladigan tushunchalar va ta'riflar bilan ifodalanadi. Masalan, qo'shbog' tutgan polimerlar tsis-(1) va trans-(2) izomerlar shaklida bo'lishi mumkin:



**3.5-rasm. Qo'shbog' tutgan polimerlar tsis-(1) va trans-(2) izomerlar shakli.**

### **3.3. Xromatografiya va uning turlari. Yuqori effektiv yupqa qatlamli xromatografiya.**

Xromatografiya (xromo... va ...grafiya) — gaz, suyuqlik yoki erigan moddalar aralashmasini adsorbsion usulda ajratish va analiz qilish. Xromatografiya rus botanigi M.S.Svet tomonidan 1903-yilda kashf etilgan.

1931-yilda Kun va uning shogirdlari xromatografiya yordamida tuxum sarig'idagi ksantofil, lutein va zeaksantin moddalari hamda *a* va *r* karotinlarni ajratishdi.

1941-yilda A.Martin va R.Sing taqsimlash xromatografiyasiga asos soldi va oqsil, uglerod birikmalarini o'rganishda uning keng imkoniyatlarini ko'rsatib berdi.

1940-45-yillarda S.Mur va U.Staynlar aminokislotalarni xromatografiya usulida ajratish va miqdoriy analiz qilishga katta xissa qo'shdi.

1950-yilda Martin va Jeyms gaz, suyuqlik xromatografiyasi usulini ishlab chiqdi.

Xromatografiya olib borilayotgan muhitga qarab:

- gaz xromatografiya;
- gaz-suyuqlik xromatografiya;
- suyuqlik xromatografiyalariga.

moddalarni ajratish mexanizmiga qarab:

- molekulyar (adsorbsion);
- ion almashtirgich;
- cho'ktirish;
- taqsimlash xromatografiyalariga

olib borilayotgan jarayon shakliga qarab:

- kolonkali xromatografiya;
- naychali (kapillyar) xromatografiya;
- qog'ozli xromatografiya;
- yupqa qatlamli xromatografiyalarga bo'linadi.

Adsorbsion xromatografiya — moddalarning adsorbentda turlicha sorbsiyalanishi (yutilishi) ga asoslangan;

Taqsimlash xromatografiyasi — aralashma tarkibiy qismi (komponentlari) ning qo'zg'almas faza (g'ovak sathli qattiq modda yuzasiga o'rnatilgan yuqori tarzda qaynaydigan suyuq modda) va elyuyentlarda turlicha erishiga;

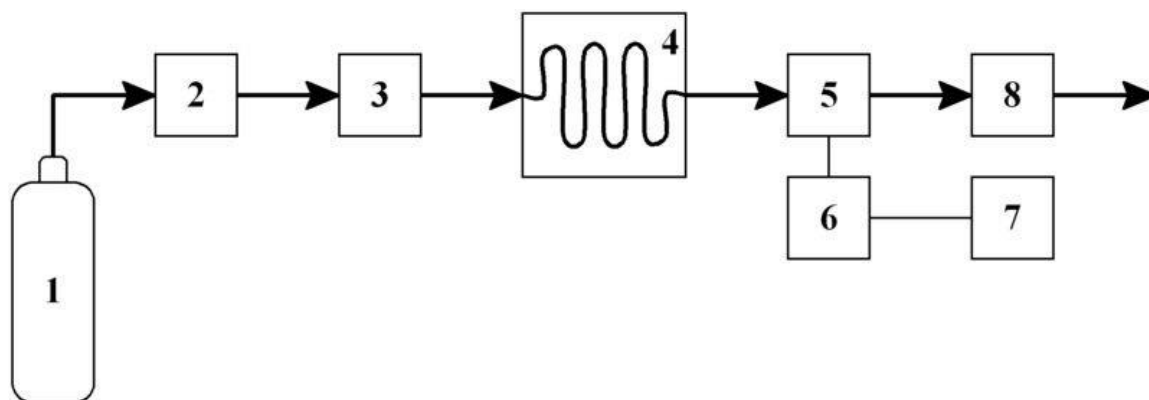
Ion almashtirgich xromatografiya — harakatsiz faza (ionit) va ajraluvchi aralashma komponentlari orasidagi ion almashtirish muvozanati konstantalar farqiga;

Cho'ktirish xromatografiyasi esa ajratiluvchi komponentlarning qattiq qo'zg'almas faza ustida turlicha cho'kmaga cho'kishiga asoslangan.

Xromatografiya xromatograf deb ataladigan asbob yordamida amalga oshiriladi. Analiz vaqtida xromatograf kolonkasiga yuborilgan tekshiriluvchi moddalar elyuyent bilan birga turli vaqt oralig'ida alohida alohida bo'lib kolonkaning chiqish tomoniga keladi va maxsus sezgir asbob — detektor yordamida uning vaqt birligidagi miqdori qayd etiladi, ya'ni egri chiziq holda yozib olinadi. Bu xromatogramma deb ataladi.

Sifat analizi vaqtida moddaning kolonkaga yuborilgandan to chiqqungacha bo'lgan vaqti har bir komponent uchun doimiy tarzda bir xil elyuyentda belgilab olinadi.





**3.6-rasm. Xromatografiya qurilmasining sxematik tuzilishi.**

1 - gaz manbai; 2 - mobil fazali oqim regulyatori; 3 - namuna kiritish qurilmasi; 4 - ustun; 5 - detektor; 6 - elektr kuchaytirgich; 7 - qayd qiluvchi; 8 - oqim o'lchagich.

Miqdoriy analiz uchun esa xromatografiyadagi piklar (har bir modda uchun tegishli egri chiziq shakli) balandligi yoki yuzasi, detektorning moddaga nisbatan sezgirligini nazarga olgan holda o'lchanadi va maxsus usulda hisoblanadi.

Parchalanmay bug' holatiga o'tadigan moddalarning analizi va ajratilishi uchun ko'pincha gaz xromatografiya ishlatiladi. Bunda elyuyent (gaz tashuvchi) sifatida geliy, azot, argon kabi gazlardan foydalaniladi. Sorbent sifatida esa (zarralar diametri 0,1-0,5 mm bo'lgan) silikagellar, alyumogellar, g'ovakli polimerlar va boshqa ishlatiladi.

Gaz-suyuqlik xromatografiya uchun sorbent tayyorlashda solishtirma sathi 0,5 - 5 g/m<sup>2</sup> li qattiq modda yuzasiga qaynash temperaturasi yuqori bo'lgan suyuqliklar (uglevodorodlar, murakkab efirlar, siloksanlar va boshqalar) qalinligi bir necha mkm parda holida qoplanadi. Kolonkali suyuqlik xromatografiyada elyuyent sifatida oson uchuvchi erituvchilar (uglevodorodlar, efirlar, spirtlar), qo'zg'almas faza sifatida esa silikagellar, alyumogellar, g'ovakli shisha va boshqa qo'llanadi.

Xromatografiya usulining kashf etilishi tufayli organik kimyo, ayniqsa, tabiiy birikmalar kimyosi jadal rivojlandi. Xromatografiya ko'p komponentli sistemalarni sifat va miqdoriy analiz qilish, sof holda ajratib olishsa (jumladan, sanoat miqyosida) katta ahamiyat kasb etadi. Xromatografiya yordamida nodir metallar analiz qilinadi. Sun'iy tayyorlangan transuran elementlarining ochilishida

ham xromatografiya muhim rol o'ynadi. Xromatografiya yordamida 99-element - eynshteyniy (Es), 100-element - fermiy (Fm) va 101-element - mendeleyeviy (Md) ajratildi.

Xromatografiya havo, suv, tuproq, monomerlar tarkibidagi aralashmalarni aniqlashda, organik va neft kimyosi sintezi mahsulotlari analizida, dori-darmonlar tozaligini aniqlashda, kriminalistikada katta ahamiyatga ega. Kosmik kemalar gazi, Mars atmosferasi gazi, oy tuprog'idagi moddalarni analiz qilishda ham xromatografiya usullari joriy etilgan.

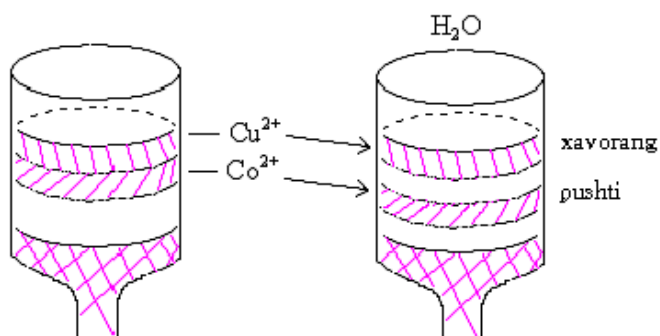
Xromatografiya yuqori molekulyar birikmalar, ayniqsa, inson, hayvon, o'simlik, mikroblar dunyosiga tegishli biologik ob'ektlarning analizi uchun nihoyatda zarur. Xromatografiya usullari o'simlik tarkibidagi birikmalarni aniqlash, ajratib olish, neft, gaz tarkibini o'rganishda keng qo'llanadi.

**Xromatografiya texnikasi.** Xromatografik tahlil xususiyatiga ko'ra 3 xil:

1. Ajralish mexanizmi. 2. Tajriba tamoyili. 3. Harakatchan va qo'zg'almas fazalarning agregat holatiga ko'ra tasniflanadi.

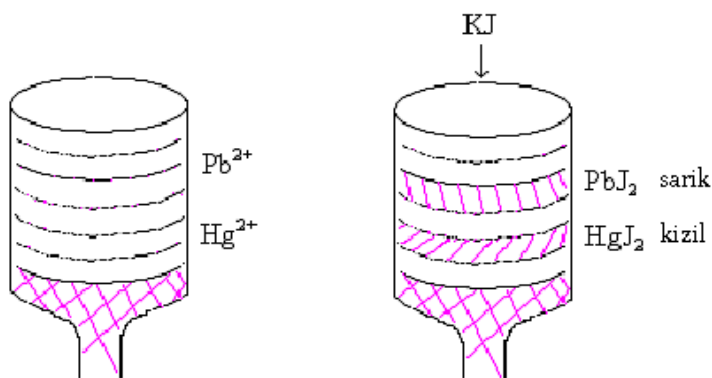
*Ajralish mexanizmi (tamoyili)ga ko'ra tasnif:*

1) Adsorbsion xromatografiya. Ajratiluvchi moddalarni turli adsorbsion (shimilish) xususiyatiga asoslangan. Misol. Silikagel (adsorbent) to'lg'azilgan shisha nay (kolonka) orqali  $\text{Cu}^{2+}$  va  $\text{Co}^{2+}$  ionlar aralashmasi o'tkazilsa kolonkani ustki havorang qatlami ostida pushti rang qatlam kuzatiladi. Mazkur tajribadan pushti rangli  $\text{Co}^{2+}$  kationiga nisbatan  $\text{Cu}^{2+}$  kationi kuchliroq shimilishini anglash mumkin. Kolonka suv bilan yuvilganda bu 2 xil rangli sohalar bir-biridan ajraladi.



**3.7-rasm.**  $\text{Cu}^{2+}$  va  $\text{Co}^{2+}$  ionlar aralashmasi.

2-misol: simob (II) va qo'rg'oshin (II) kationlar aralashmasi bilan shunday tajriba o'tkazilsa Pb (II) sorbsion xususiyati ko'proq bo'lgani sababli u Hg (II) dan ajraladi, ammo bu ikkala ion rangsiz bo'lgani uchun ajralish sezilmaydi. Bunday hollarda xromatografik kolonkadan maxsus "ochuvchi" reagentlar o'tkazilib, ajralgan ionlarga tegishli rangli sohalar aniqlanadi. Mazkur holda kolonkadan ochuvchi reagent sifatida KJ ning suvli eritmasi o'tkazilsa yuqorida PbJ<sub>2</sub> sariq quyiroqda HgJ<sub>2</sub> qizil rangli sohalar paydo bo'ladi.



**3.8-rasm.** Simob (II) va qo'rg'oshin (II) kationlar aralashmasi.

2) Taqsimlanish xromatografiyasi aralashmadagi A va B moddalarni ikki xil fazada taqsimlanish koeffitsientlarining farqiga muvofiq ajralishiga asoslangan.

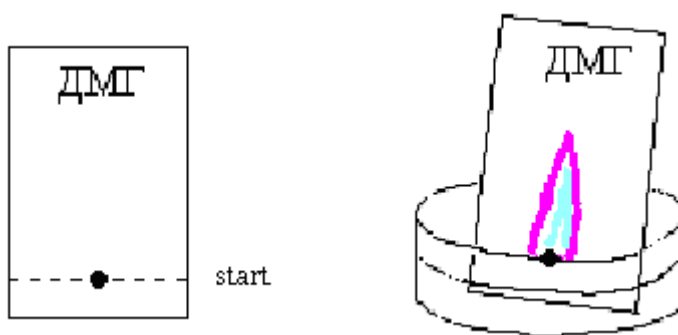
$$K_A = \frac{C_A(\text{harakatchan faza})}{C_B(\text{qo'zg'almas faza})} = 9,0 \qquad K_B = \frac{C_B(\text{harakatchan faza})}{C_B(\text{qo'zg'almas faza})} = 0,1$$

Taqsimlanish koeffitsientiga ko'ra A moddaning harakatchan fazaga moyilligi 9 marta ko'p, B moddaning moyilligi esa qo'zg'almas fazaga 10 marta ortiq. A modda harakatchan fazaga o'tib tezroq harakatlanadi, B modda esa taqsimlanish koeffitsienti kichikligi sababli qo'zg'almas fazada ushlanib qoladi. Taqsimlanish xromatografiyasida qo'zg'almas statsionar faza sifatida qaynash harorati yuqori bo'lgan suyuqlik shimdirilgan, qattiq sorbent; harakatchan faza sifatida gazlar yoki qo'zg'almas faza bilan aralashmaydigan suyuqlik ishlatiladi.

Xromatografiyani gaz-suyuqlik, suyuqlik-suyuqlik kabi zamonaviy turlari ajralishning taqsimlanish tamoyiliga asoslangan.

3) Cho'ktirish xromatografiyasi - aralashmadagi ionlar hosil qilgan cho'kmalar eruvchanligining farqiga muvofiq bir-biridan aralashiga asoslangan.

4) Cho'qqi xromatografiyasi – qog'ozda bajariladigan cho'ktirish xromatografiyasini bir turi bo'lib, bunda qo'zg'aluvchan (elyuent) faza vertikal yo'nalishida siljigani sababli qog'ozda aniqlanuvchi ion miqdoriga ko'ra cho'qqisimon rangli dog' hosil bo'ladi. Masalan: cho'ktiruvchi - dimetilglioksim shimdirilgan va quritilgan filtr qog'ozni start chizig'iga  $\text{Ni}^{2+}$  eritmasidan tomizib, Petri idishidagi suvga tik holda tushirilsa, elyuyent (suv) ni yuqori tomon harakatlanishi hisobiga  $\text{Ni}^{2+}$  ionlari qog'ozni yangi sohalariga siljib cho'qqisimon qizil dog' hosil qiladi dog'ning yuzasi tomchidagi  $\text{Ni}^{2+}$  ionlarining miqdoriga bog'liq.



**3.9-rasm. Cho'qqi xromatografiya.**

5) Gel xromatografiyasi - aralashmadagi molekullarni o'lchamlariga ko'ra ajralishiga asoslangan. Bo'ktirilgan jelatina geli to'ldirilgan kolonka orqali YuMBning kichik o'lchamdagi molekullari gel g'ovaklarda ushlanib, yirik molekullar kolonkadan avvalroq chiqadi. Bu usul molekulyar elak usuli deb ataladi va biopolimerlarni molyar massasiga ko'ra ajratish uchun ishlatiladi.

6) Ion almashinish xromatografiyasi - tahlil etilayotgan aralashmadagi ionlarni sorbentning ionogen guruhidagi ( $\text{H}^+$ ) yoki ( $\text{OH}^-$ ) ionlariga almashinuviga asoslangan.

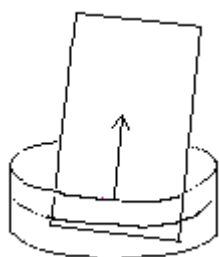
O'zidagi harakatchan ( $\text{H}^+$ ) yoki ( $\text{OH}^-$ ) ionni, elektrolit ioniga almashtiruvchi sorbentlar - ionitlar deyiladi. Almashinuvchi ionning tabiatiga ko'ra ionitlar kationit va anionitlarga bo'linadi. Kationitlarda ionitning protoni ( $\text{H}^+$ ) elektrolit kationiga, anionitlarda esa ionitning ( $\text{OH}^-$ ) gruppasi elektrolit anioniga almashadi.

*Tajribani bajarilish uslubiga ko'ra tasnif:*

Kolonka usuli - sorbent to'lg'azilgan shisha yoki po'lat naylar (kolonkalar) da bajariladi.

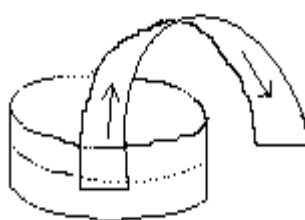
Yuzaviy usul - filtr yoki xromatografik qog'ozda bajarilsa – qog'oz xromatografiyasi deyiladi. Yuzaviy usul sorbentning yupqa qatlamida ham bajarilishi mumkin (YuQX) - yupqa qavat xromatografiyasi.

Elyuyentning sorbent qatlam bo'ylab yo'nalishiga ko'ra yuzaviy xromatografiyani vertikal, quyi va radial yo'nalishli turlari mavjud.



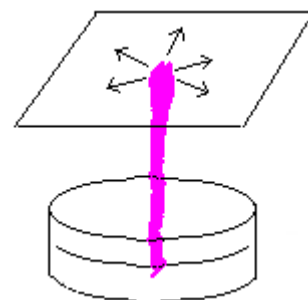
**3.10-rasm.**

**Elyuyentni vertikal  
yo'nalishi**



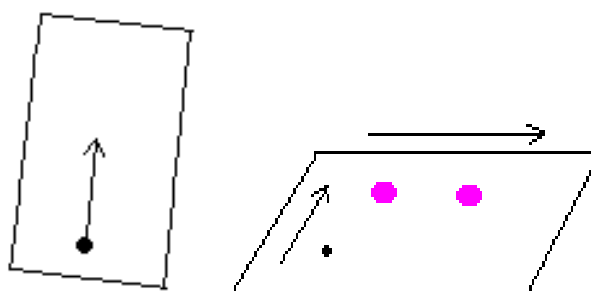
**3.11-rasm.**

**Elyuyentni quyi  
yo'nalishi.**



**3.12-rasm. Radial  
xromatografiya.**

Yupqa qavatda bajariladigan xromatografiya usullari elyuyentning yo'nalishiga ko'ra bir yoki ikki o'lchamli bo'ladi:



Bir o'lchamli

Ikki o'lchamli

**3.13-rasm. Bir yoki ikki o'lchamli xromatografiya.**

Ikki o'lchamli xromatogrammlar murakkab aralashmalar tahlilida ishlatiladi.

**Adsorbsion xromatografiya.** Adsorbent – turg'un faza bo'lib, u katta yuzaga ega bo'ladi, erituvchi esa harakatchan faza bo'lib, turg'un faza (adsorbent) orqali sizib o'tadi. Xromatografik usulda moddalarni ajratish va analiz qilish erigan

moddalarning ko'p fazali (ko'pincha ikki fazali) sistemalardan o'tganda adsorbent sirtiga turlicha yutilishiga asoslangan. Adsorbsion xromatografiya ajratilayotgan aralashmadagi tarkibiy qismlarning adsorbsiyalanish xossaligidagi farqlarga asoslangan. Ajratilayotgan aralashmadagi moddalar molekulari adsorbentning aktiv yuzasiga yutiladi. Ularning bog'lanish darajalari har xil bo'lganligi uchun moddalar har xil tezlikda harakatlanadi. Modda qanchalik yaxshi adsorbsiyalansa, uning adsorbent bo'ylab harakatlanish tezligi shuncha sekin bo'ladi va aksincha.

Adsorbsion xromatografiyada ishlatiladigan adsorbentlar erituvchi va aniqlanayotgan (ajratilayotgan) moddalar bilan kimyoviy ta'sirlashmasligi, erituvchi va aniqlanayotgan (ajratilayotgan) moddalarga katalitik ta'sir ko'rsatmasligi va aniq disperslik darajasiga va ma'lum standartga ega bo'lishlari kerak. Adsorbent sifatida alyuminiy oksidi, silikagel, poliamid (kapron), selluloza, kalsiy gidroksid, magniy oksid, gips va boshqalar ishlatiladi. Moddalarning adsorbsion xususiyati ularning eruvchanligi va tarkibidagi funksional gruppalarning xususiyatlari bilan belgilanadi.

***Kolonkali xromatografiya.*** Xromatografiya metodik xususiyatlari va bajarilish texnikasiga ko'ra kolonkali, yupqa qavatli va qog'ozda taqsimlanish xromatografiyasiga bo'linadi.

Kolonkali xromatografiya asosan moddalarni aralashmadan miqdoriy ajratishda qo'llaniladi. Bu kolonkalardan ion almashinish xromatografiya usulida ham foydalanish mumkin. Kolonkalarni adsorbent va ajratilayotgan moddalar aralashmasi bilan to'ldirishda ikki usuldan foydalaniladi. Birinchi usul bo'yicha tayyorlangan adsorbent kolonkaga oz-ozdan solinib, uchiga rezina kiygizilgan tayoqcha bilan to'xtovsiz urib turiladi. Bunda adsorbent zich joylashadi. Ba'zan esa elyuyent sifatida ishlatiladigan erituvchi yoki erituvchilar aralashmasi avval kolonkaga quyiladi, keyin adsorbent solinib, asta-sekin kolonka tayoqcha bilan uriladi. Ikkinchi usul bo'yicha adsorbent elyuyentda suspenziyalanadi va kolonkaga solinadi. Suspenziyalanganda havo pufakchalari qolmasligi kerak.

Tayyorlangan kolonkaga ajratilayotgan aralashmaning elyuyentdagi konsentrlangan eritmasi solinadi. Agar elyuyentda aralashma to'la erimasa, u avval yaxshi eriydigan erituvchida eritilib, adsorbentning minimal qismida adsorbsiyalanadi, quritiladi va so'ngra kolonkaga solinadi. Bunda modda kolonkaning 1/10 qismidan ko'p hajmini egallamasligi kerak. Kolonkaning diametri sorbent qatlamining qalinligiga nisbati 1:20 nisbat atrofida, sorbent uchidagi bo'shliq kamida 10-15 sm bo'lishi kerak.

Kolonka tayyor bo'lgach, undan tanlab olingan elyuyent o'tkaziladi. Agar sorbent qatlamining qarshiligi kichik bo'lsa, elyuyent o'zi o'tadi. Agar sorbent qatlamining qarshiligi katta bo'lsa, elyuyent kolonka orqali bosim ostida o'tkaziladi yoki vakuum nasosi yordamida so'rib olinadi.

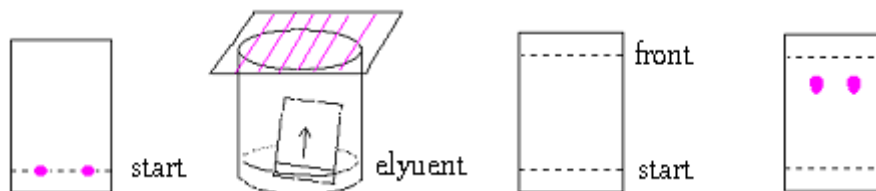
Rangli moddalar ajratilganda, ularning harakati kuzatib boriladi va toza holda ajratib olinadi. Rangsiz moddalar ajratilganda kolonkada ajralayotgan elyuyent tekshiriladi. Bunda elyuyent bir xil hajmdagi fraksiyalar tariqasida yoki bir xil vaqt (0, 20, 25, 30 minut) oralig'ida yig'ib olinadi. Har bir fraksiya yupqa qatlamdagi xromatografiya, qog'oz xromatografiyasi, kolorimetrik, potensiometrik yoki boshqa usullar yordamida tekshiriladi.

***Yupqa qavatli xromatografiya.*** Xromatografik usullarni muhim afzalligi tezkorligida ya'ni ekspress usul hisoblanadi. Kimyoviy tahlilda ko'proq yuzaviy xromatografiyani qog'ozda yoki sorbentning yupqa qatlamida bajariladigan turlari ishlatiladi.

Yupqa qavat xromatografiyasi - aralashmadagi moddalarni harakatchan elyuent (erituvchilar aralashmasi) va plastinkaga bir tekis yopishtirilgan sorbentning yupqa qavatida turlicha taqsimlanish sababli o'zaro ajralishiga asoslangan.

Xromatografiyani sorbentning yupqa qavatida bajarish uchun shisha yoki folga plastinka sirtiga sorbentni gipslik aralashmasi maxsus moslama yordamida bir tekis yoyiladi, quritiladi. Plastinkani ostki chetidan 1,5 sm masofada, yumshoq qalam bilan, start chizig'i chiziladi. Ingichka kapilyar vositasida, start chizig'i 1,0 - 1,5 sm oralig'ida tekshiriluvchi eritma va aniqlanuvchi moddaning standart

eritmasidan kichik tomchi tushiriladi. Plastinka tubida 1 sm qalinlikda elyuent-suyuqlik bo'lgan stakan (kolonkaga) tik holda joylanib, stakan og'zi yopiladi. Elyuent sorbentni namlab yuqoriga harakatlanish jarayonida start chizig'iga tushirilgan moddalarni o'zida eritib yuqoriga ko'tarila boradi.



### 3.14-rasm. Yupqa qavat xromatografiya sxemasi.

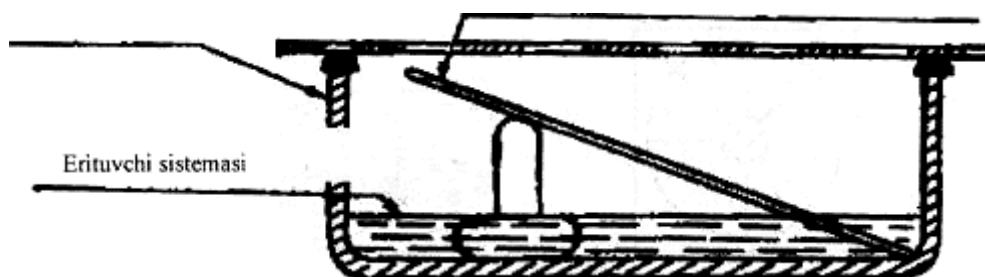
Elyuyent sorbent bo'yicha ~10 santimetr ga ko'tarilgach plastinka kolonkadan chiqarilib, quritiladi va maxsus ochuvchi reagent eritmasi bilan, purkagich vositasida purkaladi. Ellips shaklida hosil bo'lgan rangli dog'ni plastinkadagi start chizigiga nisbatan holatini belgilovchi  $R_f$  qiymatiga ko'ra sifat tahlil bajariladi.

Masalan. O'rta, meta va para aminobenzoy kislotalar sifat tahlilini bajarish uchun ularni standart eritmaları tomizilgan plastinka 1:8 nisbatdagi sirka kislota va xloroform aralashmasi quyilgan kolonkada (elyuirlanadi) elyuyent shimdirilgach, quritib rang hosil qiluvchi reagentlar  $HNO_2$  va  $\beta$ -naftol eritmaları bilan purkaladi, to'q sariq dog' hosil bo'ladi.

Yupqa qatlamli xromatografiya keyingi vaqtlarda organik moddalar, ayniqsa, tabiiy birikmalarni analiz qilish va ajratishda keng qo'llanilmoqda. Yupqa qavatli xromatografiya (YuQX) sezgirligi yuqoriligi, analizning tez bajarilishi, xromatogrammalarni uzoq saqlash mumkinligi va ulardan moddalarni ancha oson olish imkoniyatlari bilan boshqa xromatografik usullardan farq qiladi. Bu usul yordamida kimyoviy reaksiyalarning borishini nazorat qilish, xromatografik kolonka yordamida ajratilayotgan murakkab aralashmalarning ayrim tarkibiy qismlarga ajralishini kuzatish, moddalarni tez identifikatsiyalash va juda kam miqdordagi organik moddalarni aralashmadan miqdoriy to'liq ajratib olish va tozalash mumkin. Bularni bajarish uchun atigi 10-30 daqiqa vaqt sarf bo'ladi.



YuQX mahsus shisha plastinkaga yopishmagan yoki yopishgan sorbentning yupqa qatlamlarida bajariladi. Buning uchun adsorbent uzunligi 15-20 sm, eni 4-20 sm bo'lgan plastinkaga maxsus yupqa qatlam hosil qiluvchi asbob yordamida yotqiziladi. Plastinkaning bir chetidan 1,5-2 sm masofada ma'lum oraliqdagi bir chiziqda yotuvchi nuqtalar belgilanadi. Bu nuqtalar joylashgan chiziq start chizig'i deyiladi. Start chizig'iga bir xil miqdordagi tekshirilayotgan modda eritmasi maxsus shisha kapillyar yoki pipetka yordamida bir necha tomchidan tomiziladi. Plastinka erituvchilar sistemasi solingan xromatografiyalash kamerasiga, modda tomizilgan nuqtalari bo'lgan tomoni erituvchiga tushirilgan, lekin nuqtalar erituvchiga tegmagan holda joylashtiriladi. Xromatografiyalash kamerasining usti zich qilib yopiladi. Plastinka kameraga qiya holda o'rnatiladi.



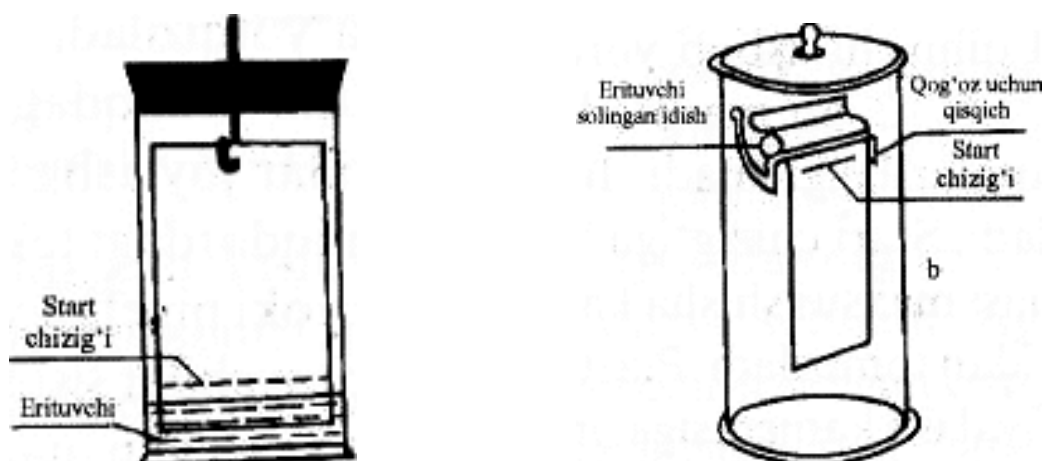
### **3.15-rasm. Adsorbentli shisha plastinka eksikator yupqa qatlamli xromatografiya uchun asbob.**

Kamera sifatida keng stakan, eksikator va boshqalardan foydalanish mumkin. Erituvchi yuqoriga ko'tarilib, plastinkaning qarama-qarshi uchiga 0,5-1 sm qolganda xromatografiyalash to'xtatiladi. Buning uchun plastinka kameradan olinadi va quritiladi.

Qog'oz xromatografiyasi ham yupqa qavatli xromatografiyaning bir ko'rinishi bo'lib, u murakkab aralashmalarni, ayniqsa, oksillar, uglevodlar, yog'lar, antibiotiklar, gormonlar, glikozidlar, alkaloidlar, fenollar va boshqa tabiiy moddalarni ajratish va aniqlashda ishlatiladi.

Bu usulda qog'ozga adsorbilangan suv turg'un faza, harakatchan faza sifatida esa suv bilan aralashmaydigan erituvchi ishlatiladi. Tekshiriladigan aralashmadagi moddalarni ajratish shu ikki erituvchi orasida ularning taqsimlanish koeffitsiyentiga bog'liq. Qog'oz adsorbent hisoblanadi. Qog'oz xromatografiyasi

erituvchining yo'nalishiga qarab, yuqoriga ko'tariluvchi (3.16-rasm, a), pastga tushuvchi (3.16-rasm, b) va radial xromatografiya usullariga (3.17-rasm) bo'linadi.

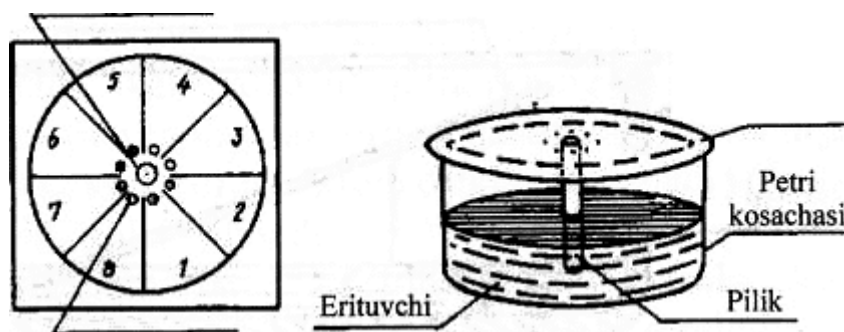


**3.17-rasm. Yuqoriga ko'tariluvchi (a) va pastga tushuvchi (b) qog'oz xromatografiyasi usullari uchun qurilmalar.**

Agar aralashmadagi moddalar har xil erituvchilarda turlicha  $R_f$  qiymatlariga ega bo'lsalar, ularni ikki tomonlama xromatografiya yordamida ajratish mumkin. Buning uchun kvadrat bichimli qog'oz olinib, modda qog'ozning burchagiga tomiziladi va oldin bir xil erituvchilar sistemasida xromatografiya o'tkaziladi, so'ngra qog'oz quritiladi va u  $90^\circ\text{C}$  ga burilgandan so'ng ikkinchi erituvchi sistemasida xromatografiya o'tkaziladi.

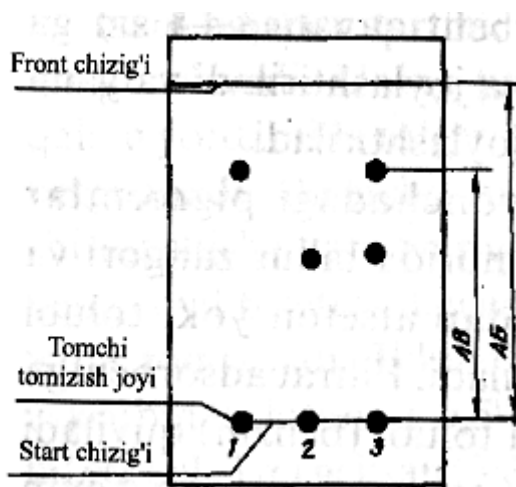
Bir xil qiymatli  $R_f$  olish uchun xromatografiyalash sharoiti (eritmalar sistemasini tarkibi, harorat, qog'ozning sifati, jarayonning borish vaqti, kameraning germetiklik darajasi va boshqalar) bir xil bo'lishi kerak.

Tekshirilayotgan moddalar aralashmasining eritmasi shisha kapillyar yoki pipetka yordamida yuqoriga siljuvchi va pastga tushuvchi xromatografiyalarda qog'oz chetidan 2-3 sm masofaga, gorizonta radial xromatografiyada esa qog'oz markazidagi qog'oz pilikdan 1,5-2 sm masofada ma'lum oraliqda bir necha tomchidan tomiziladi. Qog'oz namuna bilan quritiladi va maxsus kameralardagi erituvchi sistemasiga modda tomizilgan tomchilar tegmaydigan qilib joylashtiriladi.



**3.17-rasm. Radial xromatografiya.**

Yuqoriga siljuvchi va pastga tushuvchi xromatografiyalarda kamera devorlariga uni to'yintirish uchun erituvchi sistemasi shimdirilgan qog'oz tikka qilib qo'yiladi.



**3.18-rasm. Xromatogramma**

Yuqoriga siljuvchi xromatografiyada erituvchining yuqoriga ko'tarilishi qiyinroq bo'lganligi sababli  $R_f$  qiymati kichik moddalarni ajratish qiyin bo'ladi. Pastga tushuvchi xromatografiyada kameraning yuqori qismiga o'rnatilganidishdagi erituvchi qog'oz bo'ylab yuqoridan pastga siljiydi, bu ancha tez amalga oshadi. Bunda eng asosiysi erituvchi qog'ozdan pastga oqib tushishi hisobiga kichik  $R_f$  qiymatli moddalarni ham ajratish mumkin. Xromatogramma ionogen va kompleks hosil qiluvchi maxsus reagentlar bilan ishlanganda (pulverizator yordamida purkalganda), rangli dog'lar hosil bo'ladi. Moddalarni topish uchun bu dog'larning  $R_f$  qiymatlari «guvohlar»ning  $R_f$  qiymatlari bilan solishtiriladi. Guvohlar yordamida moddalarni topishda aralashmada bo'lishi taxmin qilinayotgan moddaning aniq namunasi eritilib, tekshirilayotgan eritma

bilan yonma-yon yoki aralashtirib quyiladi.  $R_f$  Qiymatni topish uchun modda qo'yilgan start chiziqdan (3.18-rasm) modda (dog') markazigacha bo'lgan (AB) masofa start chizig'idan erituvchi yetib borgan front chizig'igacha bo'lgan masofaga (AB) bo'linadi.

Yupqa qatlam xromatografiyasi organik birikmalar aralashmalarini ajratishning tezkor usullaridan biri. Shisha yoki alyuminiy plastinkaga yotqizilgan sorbentning yupqa qatlamiga ajratiladigan aralashma eritmasidan bir necha nuqtalar ko'rinishida tomiziladi. Xromatografik kamerada harakatchan faza (elyuent) plastinka bo'ylab pastdan yuqoriga ko'tarilganda aralashma tarkibidagi moddalar bir-biridan ajraladi. Rangsiz moddalar plastinkani turli kimyoviy reagentlar bilan ishlov berish (purchash va ochiltirish) orqali ranglar hosil qilish yo'li bilan aniqlanadi. Lyuminestsent indikatorli tayyor "Silufol" plastinkalari ishlatilganida moddalarning dog'larini UB-nur orqali ko'rish mumkin. Xromatogrammadagi modda dog'lari  $R_f$  qiymati bilan xarakterlanadi. U moddaning harakat qilgan masofasini erituvchi harakati masofasiga bo'lish orqali hisoblab topiladi.

***Taqsimlanish xromatografiyasi.*** Ikkita o'zaro aralashmaydigan suyuqlik yoki harakatsiz suyuq va gaz fazalarda turlicha taqsimlanish koeffitsientlariga ega bo'lgan moddalarni ajratishda ishlatiladi. Harakatsiz faza sifatida maxsus suyuqlik bilan bo'ktirilgan qattiq tashuvchi ishlatiladi, harakatchan faza esa erituvchi (suyuqlik taqsimlanish xromatografiyasi) yoki gaz (gaz-suyuqlik xromatografiyasi) bo'lishi mumkin. Taqsimlanish xromatografiyasi kolonkalarda yoki qog'ozda olib boriladi.

Taqsimlash xromatografiyasi sinalayotgan aralashmadagi komponentlarning bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuq fazada taqsimlanish koeffitsiyentining farqiga asoslanadi. Bunda fazalardan bittasi qo'zg'almaydigan bo'lib, qattiq adsorbentlarning teshiklarida bo'ladi. Qattiq adsorbent sifatida sellyuloza, silikagel, kraxmal ishlatiladi. Qo'zg'almaydigan faza nisbatan ancha qutbli erituvchidan iborat bo'lishi kerak, aks holda qo'zg'aladigan faza sorbent teshiklaridan qo'zg'almaydigan fazani siqib chiqaradi. Bunday faza qog'ozga

adsorbsiyalangan yoki silikagelga qo'shilgan suvdur. Xromatografiya kolonkada bajariladigan va qog'oz xromatografiyasi bo'ladi.

Taqsimlanish xromatografiyasi ajratilayotgan aralashmadagi tarkibiy qismlarning bir-biri bilan o'zaro aralashmaydigan ikki suyuqlik o'rtasidagi taqsimlanish koeffitsiyentlarining turlichaligiga asoslangan. Bunda suyuqliklardan biri adsorbentga adsorbsiyalangan bo'lib, u turg'un faza vazifasini bajaradi. Ikkinchi suyuqlik esa harakatchan faza bo'lib, qattiq adsorbentda adsorбилangan turg'un faza orqali o'tib, aralashmadagi moddalarni tashiydi.

**Gaz xromatografiya.** Parchalanmay bug' holatiga o'tadigan moddalarning analizi va ajratilishi uchun ko'pincha gaz xromatografiyasi ishlatiladi. Bunda elyuyent (gaz tashuvchi) sifatida geliy, azot, argon kabi gazlardan foydalaniladi. Sorbent sifatida esa (zarralar diametri 0,1-0,5 mm bo'lgan) silikagellar, alyumogellar, g'ovakli polimerlar va boshqalar ishlatiladi.

1953-yilda D.A.Vyahirov, A.I. Bruk va S.A.Guglin, Yanaklar birinchi marta gaz xromatografik kolonkadan chiqayotgan tekshiriluvchi moddalarni aniqlash usulini taklif etdilar. Bunda kolonkadan chiqayotgan gaz oqimining byuretkadagi ishqorda yutilishini ko'rsatilib o'tilgan.

Gaz xromatografiyasi amaliyotida yangi sorbentlarni, qo'zg'almas suyuq fazalarni, turli ko'rinishdagi kolonkalarni yaratish uslubi analitik imkoniyatlarini ma'lum darajada kengaytiradi.

Gaz xromatografiyasi ham quyidagi belgilariga asoslanib sinflanadi:

- a) fazalarni agregat holatiga asoslanib;
- b) elementar xususiyatlariga asosan;
- v) fazalarni o'zaro harakatiga asosan;
- g) usul asboblarning jihozlanishiga asosan;
- d) olib boriladigan ishning maqsadiga asosan.

A) Fazalarning agregat holati barcha xromatografik usullarga ta'alluqli bo'lib, gaz xromatografiyasida qo'zg'aluvchan faza sifatida gaz yoki bug' holidagi moddalardan foydalaniladi. Shunga asosan gaz xromatografiyasini ikki turga: gaz-adsorbsion (gaz - qattiq sorbent) va gaz - suyuqlik xromatografiyasiga bo'linadi.

Gaz adsorbsion xromatografiyaning birinchi turi qo'zg'almas faza sifatida qattiq sorbent - adsorbit, ikkinchi turi esa qattiq sorbent ustiga bir xil qalinlikda joylashtirilgan suyuqlikdan iborat.

B) Elementar xususiyatiga asosan sinflanishi qo'zg'almas faza suyuqlik bo'lsa, u holda elementar xususiyati uning erituvchida eriganligidir. Bu holatda tekshiriluvchi dori moddasi qo'zg'almas suyuq fazada erib, so'ngra qo'zg'almas va qo'zg'aluvchi fazalar orasida taqsimlanadi. Dori moddasini bunday ajratilishi taqsimlanish xromatografiyasiga ta'luqlidir.

C) Fazalarni o'zaro harakatiga asoslangan gaz xromatografiyasi turi uchta usul dan iborat:

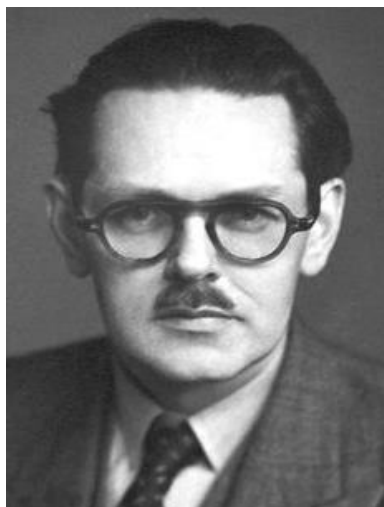
1. Elyuyent. 2. Frontal. 3. Siqib chiqarish.

1. Elyuyent (proyavitel) xromatografiyasi - uslubida tekshiriluvchi aralashma komponentlari kolonkadan o'zining sorbsiyalanishiga asoslanib alohida bir-biridan ajralgan modda zonalari oraliqlarida toza elyuyent chiqadi. Ajralish davomida birinchi bo'lib, kolonkadan kam adsorbsiyalanish xususiyatiga ega (yoki kam erish koeffitsentiga ega) bo'lgan aralashma tarkibi, toza qo'zg'aluvchi gaz hamda kolonkadan chiqishiga nisbatan kuchli adsorbsiyalanuvchi tarkib va yana toza gaz oqimi ajraladi.

Bu usul gaz adsorbsion xromatografiyada ko'p ishlatiladi, chunki tahlilning optimal sharoitida amaliy tekshiriluvchi aralashma komponentlari to'liq ajraladi. Buni ushlanish vaqti bilan belgilanib, miqdoriy tarkibi esa xromatogrammadagi cho'qqiga asoslanib aniqlanadi. Ajralishni tashqari kolonkadan chiqayotgan alohida moddalarni har xil kimyoviy va fizik-kimyoviy usullar bilan ham aniqlash va baholash mumkin.

1952-yil Nobel mukofoti sovrindori A. Martin xromatografiya usullarini ishlab chiqqan. U E vitaminini va niktin kislotani ajratish uchun samarali qarama-qarshi oqimli uskunani ixtiro qilgan. R. Sinj bilan hamkorlikda aminokislotalar analizatori konstruktsiyasini tuzgan. Ularning izlanishlari 1944-yil qog'oz xromatografiyasi usulining kashf qilinishiga olib keldi. Martin penitsillinni ajratish

va tozalash, biologik faol birikmalarni ajratish sohasida ishlagan va gaz-suyuqlik xromatografiyasi usulini takomillashtirgan.



**A. Martin (1910-2002)**



**R. Sinj (1914-1994)**

Harakatsiz faza tashuvchisi sifatida yuzasi  $0,5-3,0 \text{ g/m}^2$  va g'ovaklari o'lchami  $0,5-1,5 \cdot 10^{-8} \text{ mm}$  bo'lgan adsorbentlar ishlatiladi. Bu maqsadda diatomitli tashuvchilar, shisha zoldir (sharik)lar, silikagel va politetraforetilenlar qo'llaniladi. Harakatsiz faza kimyoviy va termik inert bo'lishi, tashuvchini bo'ktiradigan va uning yuzasiga yupqa qatlam bo'lib tushadigan bo'lishi kerak. 1000 dan ortiq harakatsiz suyuq fazalardan 100 tachasi ko'proq ishlatiladi. Kimyoviy tarkibiga ko'ra harakatsiz fazalar quyidagi sinflarga bo'linadi: Uglevodorodlar (to'yingan uglevodorodlar, to'yingan va to'yinmagan uglevodorodlar aralashmasi, aromatik uglevodorodlar). Masalan: skvalan, parafin moyi, apiezon surkov moyi, alkilnaftalinlar, polifenilefiri. Siloksanlar (turli qutblilikdagi radikalli - qutbsiz, o'rta qutbli va qutbli): metilsiloksan, metilfenilsiloksan, nitrilsiloksan, poliefirsilikonlar. Oddiy va murakkab efirlar, poliefirlar, poliglikollar, ftalatlar va fosfatlar.

Harakatsiz fazani tanlash ajratilayotgan moddalarning qutbliligi va vodorod bog'lar hosil qilishiga bog'liq. Qutbli sorbatlarni ajratish uchun qutbli harakatsiz fazalar, qutbsizlarini ajratish uchun esa qutbsizlari kerak bo'ladi. Qutblilik tushunchasi funksional guruhlarning fizik o'zaro ta'sir selektivligi kabi xossalarni ham qamrab oladi. Bunda ta'sirlarning yig'indisi inobatga olinadi. Masalan,

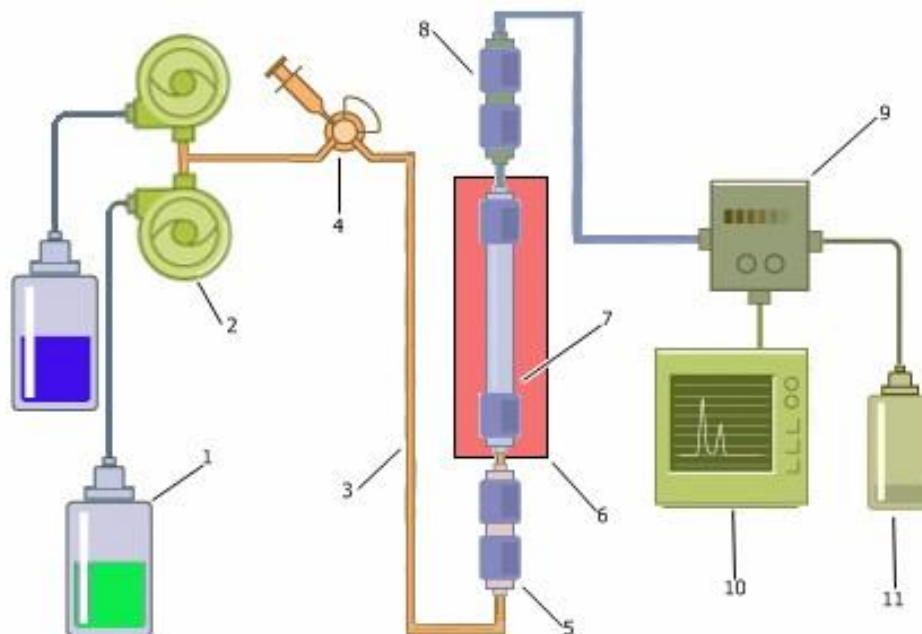
dipollarning o'zaro orientatsiyasi, induktiv va dispersion kuchlar, vodorod ko'priklarining hosil bo'lishi va h.k. Moddalarning GSXda ushlanishidagi farq maxsus va maxsus bo'lmagan o'zaro ta'sirlar orqali aniqlanadi. Qutbsiz birikmalar odatda ularning qaynash temperaturalariga mos holda ajraladi. Bir xil temperaturada qaynaydigan qutbli birikmalar qutbsiz harakatsiz fazada qutbsiz birikmalarga nisbatan kam ushlanadi. Qutbli birikmalarning ushlanish vaqti harakatsiz faza qutbliligi ortib borishi bilan ortadi va aksincha. Moddalarning turiga qarab harakatsiz fazalar o'zgarishi mumkin.

***Yuqori bosim suyuqlik xromatografiyasi.*** Bu usul moddalarni eski analitik ajratish usulining zamonaviy shakllaridan biri bo'lib, kolonkalarda olib boriladi. Usul yuqori bosimga chidamli, diametri 50 mm dan kichik bo'lgan bir xil o'lchamdagi zarrachalarni olish imkonini beradi. Bu zarrachalar odatda markaziy qattiq qism (masalan, shisha) va tor g'ovak (pora)li tashqi qism (masalan, kremniy)lardan iborat bo'lib, o'lchami kichik va zarrachalari yuzasi kattaligi sababli, adsorbsion xromatografiyada ishlatilib, yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Agar zarrachalar tegishli harakatsiz faza bilan qoplansa, yuqori bosim suyuqlik xromatografiyasini taqsimlanish xromatografiyasi usuli sifatida ishlatish mumkin.

Tayyorlangan kolonkalarining barqarorligini ta'minlash maqsadida harakatsiz fazani odatda tashuvchi bilan kimyoviy (odatda murakkab yoki oddiy efir yordamida) bog'lanadi. Oddiy efir bog'i murakkab efir bog'iga nisbatan mahsulot barqarorligini ko'proq ta'minlaydi, murakkab efir bog'i qutbli erituvchilar ta'sirida o'zgarishi, masalan gidrolizlanishi mumkin. Masalan, oktdetsilsilan bilan qoplangan faza zarrachalarida uglevodorod zanjiri yupqa kremniy qavatiga ega shisha bilan oddiy efir bog'i yordamida bog'lanadi va bu teskari fazali sistemaning yuqori samaradorligini va mutlaq barqarorligini ta'minlaydi. Xromatografiyani olib borishda bu zarrachalar ingichka kolonkaga joylashtiriladi (ichki diametri 2-4 mm). Uzunligi 1m gacha bo'lgan kolonkaga joylashtirilgan bunday mayda material, harakatchan faza oqimiga sezilarli qarshilik hosil qiladi, shuning uchun ham yuqori bosim ishlatiladi. Odatda kolonkalar 20-30 sm uzunlikda, miqdoriy analizda oqim tezligi 1-3 ml/daqqa, bosim 28 MPa gacha



bo'ladi. Hozirda samaradorligi yuqori bo'lgan 5 mkm diametrli Si zoldirlari mavjud bo'lib, ularning yuzasi  $300 \text{ g/m}^2$  ga etadi. Katta o'lchamli zarrachalarni kolonkalarga quruq holda, 5 mkm diametrli zarrachalarni esa suspensiyon usulda to'ldiriladi.



### 3.19-rasm. Yuqori bosim suyuqlik xromatografiyasi.

1-erituvchi idish va kirish filtri; 2-bosim o'tkazgichli nasos (gradient tizimlari uchun 2 dona); 3-yuqori bosimli quvur liniyasi; 4-qo'lda yoki avtomatik injektor - avtomatik namuna oluvchi; 5-qo'riqlash ustuni; 6-termostat; 7-analitik ustun; 8-ustundan keyingi reaktor yoki ustundan keyingi derivatizatsiya birligi; 9-detektor; 10-ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash qurilmasi; 11-sarflangan erituvchi idish.

Adsorbsion va taqsimlanish usullaridan tashqari, yuqori bosim prinsipi ion-almashtirish xromatografiyasida ham ishlatiladi, buning uchun yetarlicha maydalangan, bosimga chidamli smolalar zarur bo'ladi. Jihozlarning asosiy qismlari: nasos, kolonka, tegishli detektor sistemasi va kuchaytirgich, ular qayd qiluvchi uskunaga bog'langan, bunda lentasimon yozish uskunasi signallarning vaqtga bog'liqlik grafigini tasvirlaydi yoki elektron integratorlardan foydalaniladi. Detektorlar sifatida sindirish ko'rsatkichi yoki fluorestsentsiyaga asoslanib ishlaydigan UB-spektrofotometriya uskunasi ishlatiladi.

Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (YuSSX) - moddalarning murakkab aralashmalarini ajratishning samarali usullaridan biri. Xromatografik ajratish asosida aralashma tarkibidagi komponentlarning fazalar ajralishi chegarasida Vander-Valls (asosan molekulararo) kuchlari ta'siriga uchrashi yotadi. YuSSX o'rganilayotgan aralashma juda murakkab bo'lgan hollarda uni nisbatan soddaroq aralashma holiga keltirish maqsadida ham qo'llaniladi. Olingan soddar aralashma keyinchalik boshqa fizik-kimyoviy yoki xromatografiya uchun ishlab chiqilgan maxsus usullarda o'rganiladi.

Suyuqlik xromatografiyasi prinsipi aralashma komponentlarini o'zaro aralashmaydigan fazalar orasida muvozanatda bo'ladigan taqsimlanishiga asoslanadi. Bunda fazalardan biri harakatsiz va ikkinchisi harakatlanadigan bo'ladi.

***Gel-filtrasiya yoki gel-xromatografiya usuli.*** Gel-xromatografiya usulida maxsus kolonkalar (odatda ular zanglamaydigan po'latdan tayyorlangan bo'ladi) har xil suyuqliklarda yaxshi bo'kadigan tikilgan polimer iviqlar bilan to'ldirilgan bo'ladi. Suvli eritmalarda ishlash uchun sefadeks-S (epixlorgidrin bilan tikilgan dekstran), biogel-R (bis-metilen-dimetakrilamid bilan tikilgan poliakrilamid), sferon-R dimetakrilat-etilenglikol bilan tikilgan polioksietilmetakrilat), organik eritmalar uchun sefadeks-LH, stiragel (divinilbenzol bilan tikilgan polistirol) va maxsus tayyorlangan g'ovak shishalar qo'llaniladi). Yuqori molekulyar birikmaning molekulyar massasini aniqlash uchun, u eritiladi va eritmasi iviq to'ldirilgan kolonkaga yuboriladi. So'ng bu kolonka erituvchi bilan yuviladi. Polimer molekulyar massasining kattaligiga qarab iviqning g'ovaklarida taqsimlanadi. Molekulyar massasi katta bo'lgan polimer kolonkadan oldinroq yuvilib chiqadi.

Molekulyar massasini hisoblash uchun Mur tenglamasidan foydalaniladi:

$$V = C_1 - C_2 \lg M \quad (3.6)$$

bu yerda V-makromolekulaning kolonkadan yuvilib chiqqan hajmi, C<sub>1</sub> va C<sub>2</sub> lar makromolekula va erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan kattaliklar. C<sub>1</sub> va C<sub>2</sub> larni aniqlash uchun qo'llanayotgan kolonka darajalanadi, ya'ni qo'llanayotgan

polimerning molekulyar massasi aniq bo'lgan 7-8 ta fraksiyasi kolonkadan yuvib chiqariladi va ularning chiqish hajmi aniqlanadi. So'ngra V-IgM koordinatlarda grafik chizilib  $C_1$  va  $C_2$  larning qiymati aniqlanadi ( $C_1$  - egri chiziq bilan ordinata o'qining kesishgan qismi,  $C_2$  - esa egri chiziq hosil qilgan burchak tangensiga teng bo'ladi).

Yuqori molekulyar massani aniqlash uchun berilgan usullar asosan polimer eritmasining u yoki bu xususiyatini tekshirishga asoslangan. Lekin har doim ham polimerni eritish uchun qulay erituvchi tanlash imkoniyati bo'lavermaydi yoki polimer umuman erimasligi mumkin. Bunday hollarda makromolekula uzunligiga bog'liq bo'lgan har qanday fizikaviy xossalardan foydalanish mumkin.

### **3.4. Polyarizatsion diffuzometr, osmometriya, viskozimetriya.**

#### **Polimerlarning molekulyar massasi va molekulyar-massaviy taqsimlanishi.**

**Polimerlarning molekulyar massasini aniqlash usullari.** Polimerlarning sintez bo'lishida polimerlanish darajasi har xil bo'lgan makromolekulalarning vujudga kelishi ularning hosil bo'lish mexanizmiga bevosita bog'liq bo'ladi. Hatto tabiiy polimerlar ham (ba'zi oqsillardan tashqari) molekulyar massasi bo'yicha ko'p jinsli bo'ladi. Shuning uchun polimerlarning molekulyar massasi o'rtacha statistik qiymatga ega.

O'rta molekulyar polisaxaridlar massasini aniqlashda fizik usullar-osmometriya, yorug'lik tarqatish va ultrasentrifugirlash qo'llaniladi. Keng miqdorda polisaxaridlar fizik xossalari farqlanadi. Ko'pi suvda eriydi, ayrim chiziqli polisaxaridlar hujayra devorlari komponentlari bo'lib suvda erimaydi va bo'kmaydi ham.

**Osmometrik usul.** Polimer molekulyar massasini osmometrik usulda aniqlash uchun yarim o'tkazgich membrana bilan ajratilgan qismlardan (biri polimer eritmasi va ikkinchisi toza erituvchi uchun) iborat asbobdan foydalaniladi. Agar polimer eritmasi osmometrda faqat erituvchi molekularini o'tkazuvchi membrana bilan ajratilgan bo'lsa, bunday sistema muvozanatlanmagan hisoblanadi, chunki

eritmadagi erituvchining kimyoviy potentsiali  $\mu$  toza erituvchidan kichik bo'ladi. Agar erituvchining kimyoviy potentsiallari qiymatini membraning ikkala tomonida tenglashtirsak, sistema muvozanatlanadi. Bunga polimer eritmasiga tashqaridan bosim borib erishish mumkin. Bunday ortiqcha bosim osmotik bosim deb ataladi.

Polimerlarning real eritmalari juda suyultirilganda ham ideallikdan ancha uzoq. Shuning uchun ularga quyidagi tenglamani tatbiq qilish mumkin:

$$\frac{\pi}{c_2} = \frac{RT}{M_2} + Ac_2 + Bc_2 + \dots \quad (3.7)$$

$\frac{\pi}{c_2}$  - Keltirilgan osmotik bosim,  $C_2$  va  $M_2$  - erigan moddaning konsentratsiyasi va molekulyar massasi,  $A$  va  $B$  - varial koeffitsiyentlar.  $A$  koeffitsiyenti polimerning molekulyar massasi va makromolekulalar tuzilishiga bog'liq. Eritma cheksiz suyultirilganda (3.7) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\lim_{c_2 \rightarrow \infty} \frac{\pi}{c_2} = \frac{\pi}{c} = \frac{RT}{M_2} \quad (3.8)$$

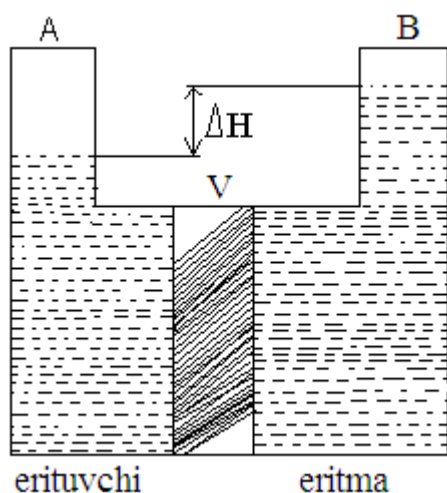
$\frac{\pi}{c}$  ning qiymati tajriba yo'li bilan eritmaning osmotik bosimini bir nechta konsentratsiyada o'lchab  $\frac{\pi}{c}=f(c)$  grafigidagi to'g'ri chiziqni cheksiz suyultirilgan konsentratsiya ( $c=0$ ) gacha ekstrapolyatsiya qilib topiladi. Polimer molekulyar massasi (3.8) formuladan foydalanib hisoblanadi:

$$\overline{M}_n = \frac{RT}{\frac{\pi}{c}} \quad (3.9)$$

Bu usul o'rtacha arifmetik molekulyar massani ( $3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^6$  gacha) topish imkonini beradi, chunki osmotik bosim polimer molekulalari soniga bog'liq.

Osmometrik usul krioskopik va ebulioskopik usullarga qaraganda ancha aniq, ammo yarim o'tkazgich pardalar tayyorlash yetarlicha takomillashmaganligi tufayli aniqlik bir muncha pasayadi. 3.20-rasmda osmometr sxemasi ko'rsatilgan. Osmometr bir-biridan yarim o'tkazgich parda  $V$  orqali ajratilgan ikki qismdan (kamera) iborat, bosimni o'lchash uchun xizmat qiluvchi  $A$  va  $B$  kapillyarlar bilan jihozlangan. Kameralarning biriga erituvchi, ikkinchisiga polimer eritmasi

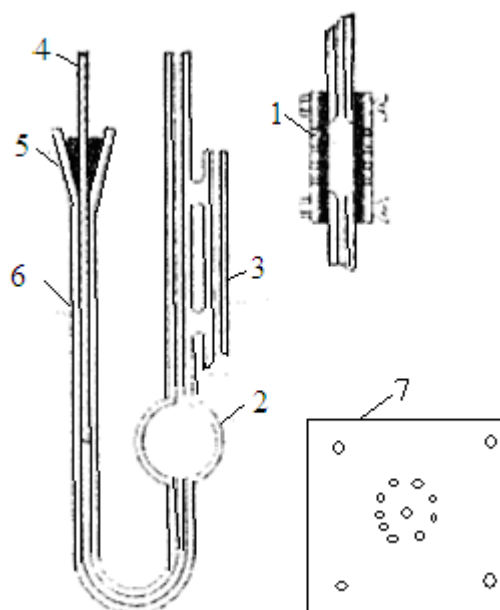
quyiladi. A va B kapillyarlardagi suyuqlik balandligini o'zgartirmay saqlash uchun B kapillyardagi suyuqlikka ko'rsatiladigan tashqi bosim eritmaning osmotik bosimiga teng bo'ladi.



**3.20-rasm. Osmometr sxemasi.**

**A, B- kapillyarlar;**

**V- yarim o'tkazgich membrana.**



**3.21-rasm. Simm-Meyerson osmometri.**

3.20-rasmda Simm-Meyerson osmometri keltirilgan. U shisha yacheyka (1) (hajmi 3 ml) dan iborat bo'lib, unga ikkita kapillyar ulangan. Kapillyarning bittasi ( $d=0,5$  mm) (2) o'lchash uchun, ikkinchi kapillyar (6) esa ( $d=2$  mm) uskunani eritma bilan to'ldirishga xizmat qiladi.

Yacheykaning (1) ikki tomoni juda tekis qilib shliflangan, uning ikkala tomoni sellofandan yoki boshqa materialdan tayyorlangan membrana bilan qoplanib, 7- moslama bilan siqib qo'yiladi. Kapillyar eritma bilan to'ldirilgan metalldan yasalgan sterjen bilan kapillyarni yuqori qismi berkitiladi. 3-kapillyar solishtirilish uchun xizmat qilib, erituvchining satxini ko'rsatib turadi.

Molekulyar massani nur yoyish yordamida aniqlash. Yorug'lik nuri yorug'lik to'lqinining 0,1 qismiga teng o'lchamli zarrachalar bilan to'qnashganda nurning qaytishi va difraksion tarqalishi kuzatiladi. Nur yoyishning sababi quyidagilardan iborat: Yorug'lik to'lqinlarining o'zgaruvchan elektr maydonlari zarrachalarning elektronlari tebranishiga, zaryadlar orasidagi masofaning doim

kamayishi yoki ortishiga (induksion qutilarda) olib keladi, bu esa, o'z navbatida har tomonlama tarqaladigan ikkilamchi nurlanishga olib keladi. Zarrachalar qanchalik yirik bo'lsa ularda shunchalik ko'p induksion qutblar paydo bo'ladi va elektronlar pog'onalarining qutblanishi oson bo'ladi va induksion qutblarning hosil bo'lishini osonlashtiradi. Suyuqlik yoki qattiq moddalarga o'xshash moddaning zarrachalari (molekulalari) bir-biriga yaqin joylashgan bo'lsa, bir zarrachadan yoyilgan nur boshqa zarrachalardan yoyilgan nurlar bilan interferensiyalanishi mumkin, agar molekulalar tartibli qatorlarga joylashgan bo'lsa ulardagi interferensiya butunlay nur yoyilishini yo'q qiladi. Polimer eritmalarida tasodifiy molekulalarning bir joyda to'planishi (fluktuasiya) berilgan juda kichik hajmda uzluksiz konsentratsiyaning o'zgarishi eritmada qanday bo'lsa, shunday bo'ladi. Bu fluktuasiyalar interferensiya natijasida nur tarqalishining to'liq o'chishiga xalaqit beradi va kuzatilayotgan nur yoyilishiga sabab bo'ladi. Demak, eritmada zichlik va konsentratsiya fluktuatsiyalari ko'p bo'lsa nur yoyilishi katta bo'ladi. Konsentratsiya o'zgarishi ozod energiyaning o'zgarishi bilan boradi va bu o'zgarishni osmotik bosimning bajargan ishi deb qarash mumkin. Bu esa nur yoyilishining intensivligi osmotik bosimga bog'liqligini ko'rsatadi.

Demak Eynshteynning nur yoyilishi fluktuatsion nazariyasiga asoslanib polimerlarning suyultirilgan eritmaları quyidagi munosabatga bo'ysunishini ko'rsatdi:

$$\frac{Hc}{\tau} = \frac{1}{RT} \left( \frac{dP}{dC} \right) \quad (3.10)$$

bu yerda

$$H = \frac{32\pi}{3} \frac{n_0^2}{N_A \lambda} \left( \frac{dn}{dC} \right)^2 \quad (3.11)$$

C - konsentratsiya;  $\tau$  - eritmaning loyqaligi;  $n_0$  va n erituvchi va eritmaning sindirish ko'rsatkichlari;  $N_A$  - Avagadro soni;  $\lambda$  - yorug'likning to'lqin uzunligi; P - osmotik bosim. Amalda qo'llanayotgan konsentratsiyalar oralig'ida  $(n-n_0)$  konsentratsiya o'zgarishiga mutanosib bo'lgani uchun gradient  $dn/dC$  ni  $(n-n_0)/C$  ishora bilan almashtirish mumkin.

Loyqalanish odatda, fotoelektrik nefelometrda har xil burchak ostida yoyilgan nurning intensivligini o'lchash orqali aniqlanadi. Yorug'lik manbai sifatida simob spektrining faqat yashil nurlarini o'tkazuvchi svetofiltr bilan moslangan simob chirog'i qo'llaniladi. Nur yoyish usulining boshqa usullardan farqi shuki, unda o'lchashlar tez amalga oshiriladi. Bu usul o'rtacha vazniy molekulyar massani beradi, chunki umumiy loyqalanish har bir fraksiyaning loyqalanish yig'indisidan iborat

Ultrasentrifugalash usuli. Qattiq modda suspenziyasi baland silindrga solinganda, zarrachalari muhit qarshiligini yengib asta-sekin idish tubiga cho'ka boshlaydi. Sedimentatsiya (cho'kish) tezligi zarrachalarning o'lchami va shakliga, muhit bilan osilib turgan zarrachalar zichliklarining ( $\rho_0$  va  $\rho$ ) farqiga va muhit qovushqoqligi ( $\eta$ )ga bog'liq. Stoks qonuni bo'yicha sferik zarrachalarning cho'kish tezligi

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2}{9} \frac{r^2(\rho - \rho_0)g}{\eta} \quad (3.12)$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda  $x$  - tushayotgan zarrachaning  $\tau$  - vaqt ichida yurib o'tgan masofasi;  $g$  – og'irlik kuchining tezlanishi. Bu tenglamaga asosan zarrachaning radiusi  $r$  - kichrayishi bilan  $dx/dt$  kamayib boradi.

Agar suspenziyalarda cho'kish tezligi katta bo'lib va u oson o'zgarsa, maydaroq zarrachalarga o'tganda u shunchalik kamayib ketadiki uni amalda aniqlash juda qiyin bo'ladi. Makromolekulalar o'lchamiga teng bo'lgan zarrachalarga bunday cho'kish uchun ko'p yillar kerak bo'lar edi, bu esa molekulyar massani amalda sedimentatsiya usuli bilan aniqlash mumkin emasligini ko'rsatadi. Ammo, agar muhitning qarshiligi cho'kishiga yagona to'siq bo'lsa, unda kichik zarrachalar ham ma'lum vaqtdan keyin idish tubiga yetib boradi. Lekin bu hodisa kuzatilmaydi, chunki zarrachalar o'lchami kichrayishi bilan Broun harakatining ahamiyati orta boshlaydi, bu esa zarrachalarning dispers faza bo'yicha bir tekisda taqsimlanishiga olib keladi.

Polimer molekulalari cho'kishini tezlashtirish uchun ultrasentrifugadan foydalaniladi. Sentrifugalash jarayonida sferik zarrachalarning sedimentasiya

tezligini aniqlash uchun Stoks tenglamasidagi  $g$  ni markazdan qochuvchi tezlanish  $\omega^2 x$  ( $\omega$ -rotor aylanishining burchak tezligi,  $x$  aylanish o'qigacha bo'lgan masofa) bilan almashtirish lozim, chunki u  $g$  dan farq qilib  $x$  ga bog'liq bo'ladi. Demak, makromolekularning sedimentasiya tezligi ularning cho'kishi bilan ortib boradi:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2 r^2 (\rho - \rho_0) \omega^2 x}{9 \eta} \quad (3.13)$$

Ultrasentrifugada molekulyar massani faqat sedimentatsiya tezligi orqali emas, balki zarrachalarning cho'kishi va qayta diffuziyalanishi jarayonlaridagi muvozanat paytidagi (sedimentasion muvozanat) konsentratsiyalar taqsimlanishini o'rganish yo'li bilan ham aniqlash mumkin. Agar birinchi usulda diffuzion jarayonlarning ahamiyati uncha katta bo'lmasa, sedimentatsion muvozanatda nisbatan kuchsiz markazdan qochuvchi maydonlar qo'llanganligi uchun moddalarning sedimentatsiya va diffuzion ko'chish tezliklari bir-biriga yaqin bo'ladi. Muvozanat paytida bu tezliklar bir-biriga teng bo'ladi va erigan polimer moddaning ko'chishi to'xtaydi.

**Viskozimetriya usuli.** Molekulyar massani aniqlash uchun, ko'pincha viskozimetrik usul qo'llaniladi. Chiziqsimon makromolekulalar eritmalarda xuddi qattiq tayoqchalardek harakatlanadi, deb taxmin qilib Shtaudinger molekulyar massani aniqlash uchun quyidagi tenglamani taklif qilgan:

$$\eta_{sol} = K_M C M \quad (3.14)$$

bu yerda  $\eta_{sol}$  - solishtirma qovushqoqlik;  $K_M$  - o'zgarmas son;  $C$  - polimerning eritmadagi konsentratsiyasi.

Tenglamadan ko'rinib turibdiki solishtirma qovushqoqlik polimer konsentratsiyasi va molekulyar massasiga mutanosib va  $\frac{\eta_{sol}}{C} = K_M M$

Demak,  $\frac{\eta_{sol}}{C}$  konsentratsiya ortishi bilan o'zgarmay qolishi va  $\frac{\eta_{sol}}{C}$  ni  $C$  bilan bog'lanish chizmasi  $C$  o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat. Lekin  $\frac{\eta_{sol}}{C}$  (keltirilgan qovushqoqlik) konsentratsiyaga bog'liq bo'ladi va juda kichik molekulyar massalar uchun (3.14) tenglama bajariladi. Shuning uchun amalda bir necha konsentratsiyalardagi qovushqoqlik aniqlanadi va  $C=0$  gacha



ekstrapolyatsiya qilinib “qovushqoqlik hadi” aniqlanadi:  $\eta = \frac{\eta_{sol}}{c_{c \rightarrow 0}} = K_M * M$  va undan molekulyar massani aniqlash uchun foydalaniladi. Hatto zanjirli polimer molekulalari bukilmay tayoqchalar sifatida harakat qiladi degan Shtaudinger taxmini ma’lum darajada to’g’ri bo’lsa ham, lekin bukiluvchan makromolekulalar uchun bu taxmin butunlay noto’g’ridir, chunki ular juda suyultirilgan eritmalarda o’rama shaklini qabul qilishga intiladi. Shuni ham aytib o’tish joizki, ichki ishqalanish faqat molekula o’lchamiga bog’liq bo’lmay, balki uning shakliga ham bog’liqdir. Shuning uchun Shtaudinger tenglamasida solishtirma qovushqoqlikni qovushqoqlik hadiga almashtirilishi (ya’ni, juda ham suyultirilgan, umuman makromolekulalar orasida ta’sirlanish bo’lmagan eritmalarga o’tish) har qanday polimerning molekulyar massasini hisoblashga kerak bo’lgan aniq tenglamaga olib kelmaydi. Undan tashqari  $[\eta]$  qiymat erituvchining sifatiga, ya’ni “yaxshi” yoki “yomon”ligiga ham bog’liq.

## IV BOB. USTMOLEKULYAR STRUKTURALARNI ANIQLASH.

### 4.1. Amorf va kristall moddalar.

Qattiq jismlar tuzilishi, tarkibi, ularni tashkil etgan zarralari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari, mexanik, elektr, magnit, optik va boshqa xossalari jihatidan turli guruhlarga bo'linadi.

Masalan, elektr xossalari bo'yicha qattiq jismlar yaxshi o'tkazgichlar (metallar), yarimo'tkazgichlar va dielektiriklar guruhlari tashkil qiladi. Magnit xossalari jihatidan esa diamagnit, paramagnit, ferromagnit, antiferromagnit va ferritlar deb ataladigan qattiq jismlar turlari mavjud.

Qattiq jismlar ularni tashkil qilgan zarralarning joylashish tartibiga ko'ra kristall va amorf jismlar guruhlari bo'linadi. Amorf jismlarni (masalan, shishani) tashkil qilgan atomlar (ionlar, molekulalar)ning joylashishida qat'iy bir tartib yo'q. Bundan ularning fazalarini o'zgartirishida (masalan suyuqlanishida) qat'iy o'tish nuqtalari (suyuqlanish xaroratlari) mavjud bo'lmasligiga kelib chiqadi: amorf jismlar bir holatdan ikkinchi holatga uzluksiz o'tib boradi. Ammo, kristall jismlarni tashkil qilgan atom (ion, molekula)lar joylashishida muayyan tartib mavjud: ma'lum yo'nalishlarda har qanday ikki qo'shni atom oralig'i bir xil. Shuning uchun ham kristall holatdagi qattiq jisimlarning fazalarini o'zgarishi (suyuqlanish, qotish va hokazo) qat'iy muayyan haroratda va bosimda sodir bo'ladi.

Modda qattiq holatda – kristall yoki amorf shaklda bo'lishi mumkin. Kristallar doimiy shaklga ega, amorf jismlar esa doimiy shaklga ega emas, bu ularning nomlanishidan ham kelib chiqadi, "amorf" yunoncha so'z bo'lib, "shaklsiz" degan ma'noni anglatadi. Kristall moddalar bitta yaxlit kristaldan (monokristall) va juda ko'p mayda kristalchalar (polikristallar)dan iborat bo'lishi mumkin.

Bir moddaning o'zi termodinamik sharoitga bog'liq ravishda kristall yoki amorf holatida bo'lishi xam mumkin. Masalan: oltingugurt kristall shaklda (sariq rangda) va amorf shaklda (to'q qo'ng'ir rangda) bo'ladi.

Kvars – kristall, biroq kvars qumi eritilib, so'ngra eritma tez sovutilsa, amorf kvars shisha hosil bo'ladi.

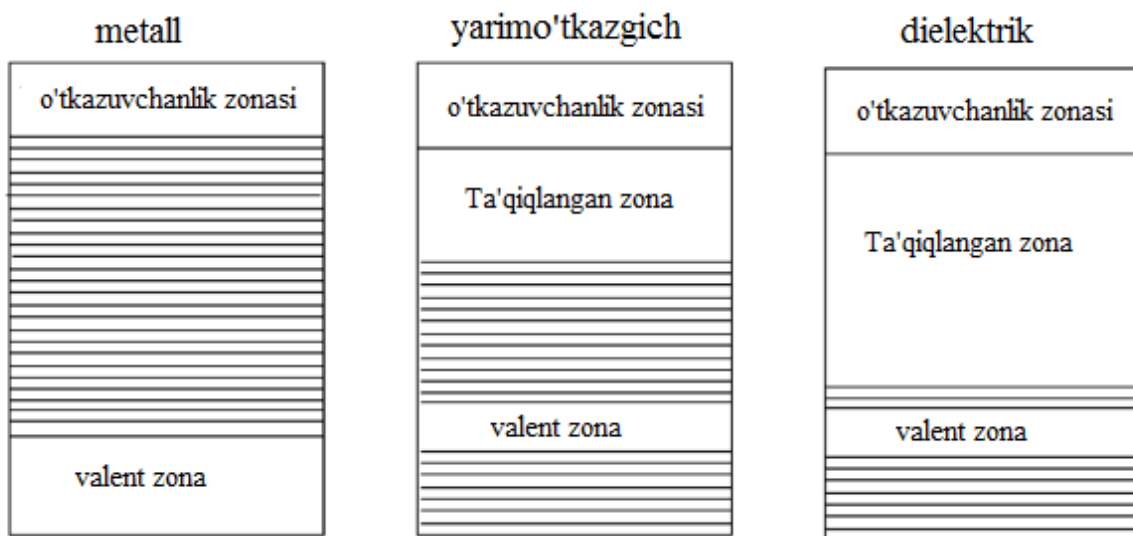
Metallurgiyada olinadigan temir kristall tuzilishga ega. Biroq, eritmani tez sovutish usuli bilan amorf temir olinadi. Moddaning kristall holatini amorf holatidan farqlovchi asosiy belgisi shundan iboratki, kristall moddalar erish holati deb ataluvchi muayyan haroratda suyuq holatga o'tadi (eriydi). Amorf holatdagi modda isitilganda sekin-asta yumshab borib, so'ngra suyuq holatga o'tadi.

Amorf jism ba'zi sharoitlarda o'z-o'zidan ham kristall holatga o'tishi mumkin. Bunga oltingugurtni misol sifatida keltirish mumkin. Juda qadimiy binolar oynasi va eskirib ketgan billur idishlar o'zining yaltiroqlik xususiyatini yo'qotadi. Bunday shishalarni tekshirish natijasida ularda yaltiroqlikning yo'qolish sababi mayda kristallarchalarning hosil bo'lishidir.

Amorf jismlarda atomlarning eng yaqin qo'shnilari o'rtasida tartib va davriylik saqlanadi, uzoqlashgan sari tartib va davriyligi buzila boshlaydi. Qancha ko'p uzoqlashsa, buzilish shuncha kuchliroq bo'ladi. Shuning uchun amorf jismlarning yaqin tartibi saqlangan va uzoq tartib va davriyligi to'la saqlanmagan qattiq jismlar deb qabul qilingan. Demak materiallar kristall va amorf jismlardan iborat bo'lib, bir-biridan farq qiladigan xossalarga egadir.

***Yarimo'tkazgichlarning xususiyatlari.*** Zamonaviy elektronika qurilmalari yarimo'tkazgichli materiallardan tayyorlanadi. Yarim o'tkazgichlar kristall, amorf va suyuq bo'ladi. Odatda yarim o'tkazgichlarga solishtirma elektr o'tkazuvchanligi s metallar va dielektriklar oralig'ida bo'lgan yarim o'tkazgichlar kiradi (ularning nomi ham shundan kelib chiqqan). Xona temperaturasida ularning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi  $\rho = 10^{-5} - 10^{-8} \Omega \cdot m$  ni tashkil etadi. Metallarda  $\rho = 10^{-6} - 10^{-5} \Omega \cdot m$ , dielektrlarda esa  $\rho = 10^{-8} - 10^{-13} \Omega \cdot m$ . Yarimo'tkazgichlarning asosiy xususiyati shundaki, temperatura ortgan sari ularning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ham ortib boradi, metallarda esa kamayadi. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi yorug'lik bilan nurlantirish va hatto juda kichik kiritma miqdoriga bog'liq. Yarimo'tkazgichlarning xossalari qattiq jism zona nazariyasi bilan tushuntiriladi.

4.1-rasmda dielektrik, yarimo'tkazgich va metall o'tkazgichlarning (0 K temperaturada) energetik diagrammalari farqi keltirilgan.



**4.1-rasm. Dielektrik, yarimo'tkazgich va metall o'tkazgichlarning (0 K temperaturada) energetik diagrammalari.**

Taqiqlangan zona kengligi barcha dielektrlarda turlicha bo'lib, 8 eV gacha yetishi mumkin. Mikrozarralarning harakati kvant mexanika qonunlariga bo'ysunadi. Masalan, atomdagi bog'langan elektronlarda energiya faqat aniq, kvantlangan qiymatlar olishi mumkin. Qattiq jismda bu energiya sathlari taqiqlangan energiya sohalari bilan ajralgan zonalarga uyushadi. Pauli prinsipiga ko'ra, elektronlar pastki sathda yig'ilib qolmay, turli energiya sathlarida joylashadi. Buning natijasida zonadagi barcha energiya sathlari to'ldirilishi mumkin. Bunday qattiq jism dielektrik bo'ladi. Bunday elektron energiyasini faqat birdaniga eng oxirgi kattalikkacha (taqiqlangan soha kengligicha, yoki, odatda aytilishicha energiya tirqishigacha) o'zgartirish mumkin. Shuning uchun dielektrikdagi elektronlar elektr maydonida tezlasha olmaydi va nolinchii temperaturada (issiqlik uyg'otishlar bo'lmaganda) o'tkazuvchanlik nolga teng bo'ladi (qarshilik cheksizdir).

Metallarda, aksincha, energiyaning yuqorigi to'lgan sathi zona ichida yotadi, elektronlar energiyasi deyarli uzluksiz o'zgarishi mumkin va elektr maydon tok

hosil qiladi. Elektronlarning maydon bo'ylab tartiblangan harakatiga intensiv tartibsiz harakat qo'shiladi. Elektronlarning maksimal energiyasi ularning konsentratsiyasi bilan belgilanadi. Tipik metallarda bu kattalik elektron-volt tartibidadir. Bu energiyaga mos temperatura  $\sim 10^4$  K. Shu sababli hatto absolyut nol haroratda ham metalldagi elektronlarning bir qismi keskin harakatlanadi va g'oyat yuqori effektli temperaturaga ega bo'ladi.

Yarimo'tkazgich — kichik energiya tirqishiga ega bo'lgan dielektrik. Issiqlik harakati elektronlarni erkin zonaga (uni to'lgan valent zonadan farqli ravishda o'tkazuvchanlik zonasi deyiladi) «uloqtirib» chiqargandan so'ng, u yerda ular elektr maydonda tezlashadi. Shu sababli, odatda yarimo'tkazgichlar temperaturaga keskin bog'liq bo'lgan kichik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligiga, shuningdek, maxsus kirishmalar kiritish orqali ta'sir ko'rsatish mumkin. Yarimo'tkazgich kristallar murakkab elektron yarimo'tkazgich asboblari, jumladan integral sxemalar deb ataladigan asboblari yaratish imkonini beradi. Hozirgi paytda shunday integratsiya darajasiga erishilganki, millionlab alohida elementlar  $1\text{sm}^2$  yuzada joylashishi mumkin. Bunday qurilma xuddi yagona kristallni hosil qiladi va shuning uchun ham texnikaning yangi sohasini bejiz qattiq jism elektronikasi deyishmaydi.

Yarimo'tkazgichlar - elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi moddalar (o'tkazgichlar, asosan metallar) va elektr tokini amalda o'tkazmaydigan moddalar (izolyatorlar yoki dielektriklar) orasidagi oraliq vaziyatni egallagan moddalar sinfi. Yarimo'tkazgichlarning xossalari va xarakteristikalari ularning tarkibidagi kirishmalarning mikroskopik miqdoriga kuchli bog'langandir. Yarimo'tkazgich tarkibidagi kirishma miqdorini protsentning o'n millionli ulushlaridan to 0,1-1 % gacha o'zgartirib, uning elektr o'tkazuvchanligini millionlarcha marta oshirish mumkin. Yarimo'tkazgichlarning boshqa bir muhim xossasi shundaki, ularda elektr tokini o'tkazishda faqat manfiy zaryadlar - elektronlar emas, balki (qiymati elektron zaryadiga teng) musbat zaryadlar - kovaklar ham qatnashadi.

Misol uchun yarim o'tkazgichning tipik vakili bo'lgan germaniyni qaraylik. Uning tartib nomeri 32 va to'rtta elektron qobig'i mavjud: 1-qobig'ida 2 ta; 2-qobig'ida 8 ta, 3-qobig'ida 18 ta, 4-qobig'ida esa 4 ta elektron joylashgan. Uchta ichki qobiqdagi elektronlar turg'un bo'lib, kimyoviy reaksiyalarda ishtirok etmaydi. Oxirgi to'rtinchi qobiqdagi elektronlar esa atom yadrosi bilan juda kuchsiz bog'langan.

Aynan shu elektronlar elementning boshqa atomlarning nechtasi bilan kimyoviy bog'lanishga kira olish qobiliyatini ko'rsatib mazkur elementning valentligini aniqlaydi. Shuning uchun ham oxirgi qobiqdagi elektronlarga tashqi yoki valentli elektronlar deyiladi. Tashqi qobiqda to'rtta elektroni mavjud bo'lgan germaniyning valentligi to'rtga teng. Mazkur atomga boshqa atomlar yaqinlashganida valent elektronlar boshqa atomning valent elektronlari bilan oson ta'sirlashadi va kimyoviy bog'lanish hosil qiladi. Atom qobig'iga ma'lum energiya berilganda atomning ionlashuvi ro'y berishi mumkin. Aynan so'nggi qobiqdagi elektroni ozod qilish uchun eng kam energiya taqozo qilinadi. Germaniy, kremniy va yarim o'tkazgichlarning boshqa bir qancha vakillari kristall moddalar hisoblanadi. Ularning atomlari ma'lum qonuniyatlarga muvofiq joylashgan bo'ladi.

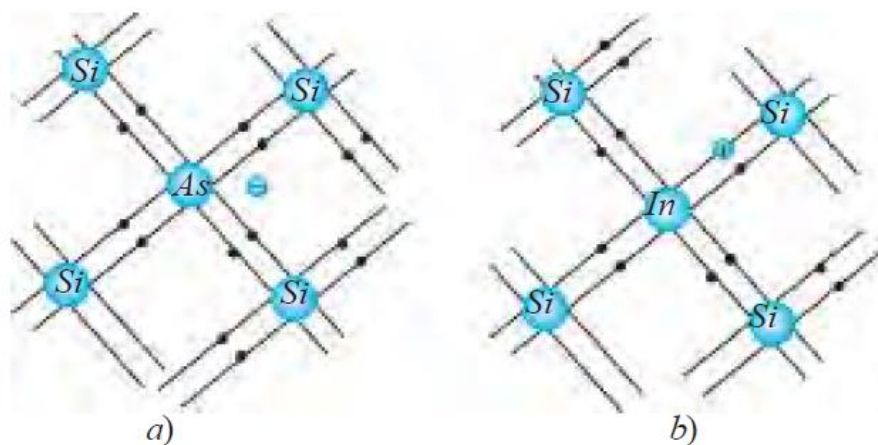
Agar hech qanday kirishmalar mutlaqo bo'lmagan ideal yarimo'tkazgich kristallni olsak, uning elektr tokini o'tkazish xususiyati xususiy elektr o'tkazuvchanlik deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi. Kimyoviy jihatdan toza yarim o'tkazgichlar xususiy yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Ularga bir qator kimyoviy toza elementlar (germaniy-Ge, kremniy-Si, selen-Se, tellur-Te) va kimyoviy birikmalar (galliy arsenidi- GaAs, indiy arsenidi-InAs, indiy antimonidi - InSb, Karbid kremniy-SiC va xokazolar) kiradi.

Yarimo'tkazgich kristallda atomlar tashqi elektron qobig'i elektronlari yordamida o'zaro bog'langan. Atomlarning issiqlik tebranishlari vaqtida issiqlik energiyasi bog'lanish hosil qiluvchi elektronlar orasida notekis taqsimlangan bo'ladi. Ayrim elektronlar o'z atomidan «uzilib ketish» va kristallda erkin ko'cha olish imkonini beradigan yetarli miqdordagi issiqlik energiyasiga ega bo'lib olishi

mumkin (boshqacha aytganda, ular o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi). Elektronning bunday «uzilib ketishi» atomning elektr neytralligini buzadi, unda «ketib qolgan» elektron zaryadiga miqdoran teng musbat zaryad vujudga keladi. Elektrondan bo'shab qolgan bu holatni kovak deyiladi. Bo'sh holatni (vakant joyini) qo'shni bog'lanishdagi elektron egallashi mumkin bo'lgani sababli kovak ham kristall ichida ko'chib yura oladi va u musbat zaryadli tok tashuvchilik vazifasini o'taydi. Tabiiyki, bunday sharoitda elektronlar va kovaklar teng miqdorda vujudga keladi va bunday ideal kristallning elektr o'tkazuvchanligini ham musbat, ham manfiy zaryadlar bir xilda belgilaydi.

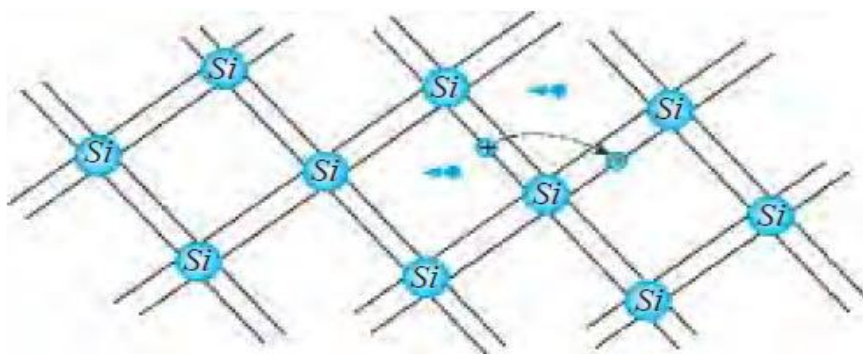
Agar asosiy yarimo'tkazgich atomi o'rniga tashqi elektronlar qobig'ida asosiy yarimo'tkazgich atomiga nisbatan bitta elektron ortiq bo'lgan kirishma atomi joylansa, u holda bunday elektron kristalldagi atomlararo bog'lanish tashkil qilish uchun kerakmasdek, o'z atomi bilan zaif bog'langandek bo'lib qoladi. Uni o'z atomidan ajratib yuborish va erkin elektronga aylantirish uchun yakka atomdan ajratish uchun kerak bo'ladiganidan o'nlarcha marta kam energiya yetarlidir. Bunday kirishmalarga donor kirishmalar, ya'ni "ortiqcha" elektron beradigan kirishmalar deyiladi. (4.2 a-rasm)

Elektronidan ajralgan kirishma atomi, tushunarliki, musbat zaryadlanadi, ammo bu holda kovak paydo bo'lmaydi, chunki faqat atomlararo to'lmagan bog'lanishdagi elektron vakansiyasi kovak bo'la oladi, mazkur holda esa barcha bog'lanishlar to'ldirilgan. Bu musbat zaryad o'z atomi bilan bog'langanligicha (harakatsiz) qoladi va elektr o'tkazish protsessida qatnasha olmaydi. Yarimo'tkazgichga tashqi elektronlar qobig'ida asosiy modda atomiga nisbatan kamroq elektron bo'lgan kirishma kiritilsa, u to'lmagan bog'lanishlar, ya'ni kovaklar paydo bo'lishiga olib keladi. Yuqorida aytilganidek, bu vakansiyani qo'shni bog'lanishdagi elektron egallashi mumkin bo'lib, bunda kovak kristall bo'yicha erkin ko'chish imkonini oladi. Elektronni "qabul qiluvchi" bunday kirishmalarga akseptor kirishmalar deyiladi. (4.2 b -rasm)



**4.2-rasm. Donor va akseptor kirishmalar.**

U yoki bu tipdagi kirishmalar miqdori oshgan sari kristallning elektr o'tkazuvchanligi borgan sari ravshan ifodalanadigan elektron yoki kovak o'tkazuvchanlik bo'lib qoladi. Negativ va positiv degan lotin so'zlarining birinchi harflari bilan muvofiq ravishda elektron elektr o'tkazuvchanlikka n-tip (4.3-rasm) kovak elektr o'tkazuvchanlikka p-tip elektr o'tkazuvchanlik (4.4-rasm) deyiladi.



**4.3-rasm. Elektron elektr o'tkazuvchanlik n-tip.**



**4.4-rasm. Kovak elektr o'tkazuvchanlik p-tip.**



Shu yo'sinda mazkur yarimo'tkazgich uchun harakatchan zaryad tashuvchilarning qaysi tipi asosiy, qaysinisi asosiy emasligi ta'kidlanadi. Kirishmalar mavjudligidagi (ya'ni kirishmali) elektr o'tkazuvchanliklar kristallda avvalgidek ikki tipdagi tashuvchilar qolaveradi: yarimo'tkazgichga asosan kirishmalar kiritish hisobiga paydo bo'lgan asosiy tashuvchilar va issiqlik harakati taqozo qilgan asosiy bo'lmagan tashuvchilar bo'ladi. Muayyan yarimo'tkazgich uchun ma'lum temperaturada  $1 \text{ sm}^3$  dagi elektronlar soni (konsentratsiyasi)  $n$  va kovaklar soni  $p$  ko'paytmasi o'zgarmas miqdorlari soni bo'lishini ta'kidlab o'tish lozim. Bu kirishmalarni kiritish hisobiga mazkur tipdagi tashuvchilar konsentratsiyasini bir necha marta orttirib, boshqa tipdagi tashuvchilar konsentratsiyasini o'shancha marta kamaytirish demakdir. Yarimo'tkazgichlarning yuqorida bayon qilinganlardan kelib chiqadigan muhim xossasi ularning temperaturaga va nurlanishga kuchli sezgirligidir. Temperatura ko'tarilgan sari kristallda atomlarning tebranishlari o'rtacha energiyasi ortadi va tobora ko'proq miqdorda bog'lanishlar uziladi. Tobora yangi va yangi elektronlar hamda kovaklar juftlari paydo bo'ladi. Yetarlicha yuqori temperaturalarda xususiy issiqlik o'tkazuvchanlik kirishma o'tkazuvchanligi bilan tenglashadi, hatto undan oshib ketadi. Kirishmalar konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, bu effekt shuncha yuqoriroq temperaturada sodir bo'ladi.

Agar yorug'lik kvantlari energiyasi yarimo'tkazgichdagi bog'lanishlarni uzib yuborish uchun yetarli bo'lsa, u holda yarim o'tkazgichli yorug'lik bilan nurlantirib ham bog'lanishlarni uzib yuborish mumkin. Turli yarimo'tkazgichlarda bog'lanishlarni uzish energiyasi turlicha, shuning uchun ular nurlanish spektrining u yoki bu uchastkasini turlicha sezadi.

Yarimo'tkazgichlarning bu eng muhim xossalaridan vazifasi va qo'llanish sohasi turlicha bo'lgan yarimo'tkazgich asboblari yaratishda foydalaniladi. Birinchi bo'lib amaliy qo'llana boshlangan yarimo'tkazgich material selen bo'lgan edi. Hozirgi vaqtda germaniydek yarimo'tkazgichni ortda qoldirib eng ko'p qo'llanilayotgan yarimo'tkazgich — bu kremniydir. Selen, germaniy va kremniy

elementar yarimo'tkazgichlar, ya'ni D. I. Mendeleev davriy sistemasi elementlari bo'lgan yarimo'tkazgichlar turkumiga taalluqli.

Germaniy va kremniy bilan bir qatorda davriy sistemaning III va V, II va IV, II va VI guruhlarini elementlarining murakkab birikmalari tobora keng qo'llanilmoqda. Bu yerda, masalan, galliy bilan margimush (galliy arsenidi), galliy bilan fosfor, kadmiy, simob bilan tellur birikmalarini va boshqa birikmalarni esga olish lozim. Yarimo'tkazgichlarga zarur xossalarni beradigan kirishmalar sifatida bor, fosfor, indiy, margimush, surma va boshqa ko'p elementlar ishlatiladi. Yarimo'tkazgichga kiritiluvchi kirishmalarning odatdagi miqdori prosentning o'nli va yuzli ulushlari orasida bo'ladi.

Muntazam kristall panjarali (monokristall) hamda kirishmaning zarur miqdori va taqsimoti qat'iy nazorat qilinuvchi yarimo'tkazgich kristallarni hosil qilish - maxsus tozalikka rioya qilingan sharoitda yuqori darajada aniq va murakkab asbob-uskunalar ishlatiladigan juda ham murakkab texnologik jarayon. Yuqorida bayon qilingan barcha jarayonlarni zonalar nazariyasi yordamida tushuntirish mumkin. Qattiq jismlarning o'tkazuvchanligi kvant nazariyasi zonalar nazariyasiga asoslangan. Qattiq jismlarda elektronlar faqat muayyan qiymatli energiyalarga ega bo'la oladi. Sathlar zonalarni tashkil qiladi, ular bir-biridan zonaga tegishli energiya oraliqlari bilan ajralgan bo'ladi.

Metallarda zonalar yo o'zaro ustma-ust tushgan yoki elektronlar bilan chala to'ldirilgan bo'ladi. Metallarda ham elektr maydon ta'sirida elektron sathdan sathga erkin o'tadi, chunki zonadagi sathlar orasidagi masofa  $10^{-28}$  eV elektronning manbaning elektr maydonida oladigan energiyasi esa  $10^{-4} - 10^{-8}$  eV. Sathdan sathga o'tishning osonligi elektronning erkin harakatini bildiradi.

Yarimo'tkazgichlar va izolyatorlarda to'ldirilgan energiya zonasini bo'sh zonadan kengligi bir necha elektronvoltga yetadigan energiya tirqishi taqiqlangan zona ajratib turadi. Bu taqiqlangan zona orqali elektronlar issiqlik energiyasi hisobiga o'tib ketishi mumkin. Temperatura ortishi bilan bunday o'tishlar ehtimoli

ortadi. Shuning uchun temperatura ko'tarilgan sari yarimo'tkazgichlar va dielektriklarning o'tkazuvchanligi oshadi, bu ularning metallardan muhim farqidir. Izolyatorlar vayarimo'tkazgichlarning hir-biridan farqi quyidagicha: izolyatorlarda taqiqlangan zona yarimo'tkazgichlardagidan keng. Bundan tashqari, yarimo'tkazgichlarda kirishma o'tkazuvchanligi muhim rol o'ynaydi, bu holda yarimo'tkazgichning kristall panjarasiga kirib olgan kirishma atomlari tufayli taqiqlangan zonada qo'shimcha sathlar paydo bo'ladi.

Metallarda solishtirma qarshilik (odatda, xuddi shu kattalik bilan qattiq jismning o'tkazuvchanlik xossalari xarakterlanadi) xona temperaturasida  $1.6 * 10^{-8} \Omega * m$  dan (kumushda)  $3.6 * 10^{-8} \Omega * m$  gacha (vismutda) oraliqda bo'ladi. Yarimo'tkazgichlar turkumiga solishirma qarshiligi  $10^{-5}$  dan  $10^{-8} \Omega * m$  gacha bo'lgan materiallar kiradi. Izolyatorlar  $10^{-16} \Omega * m$  gacha solishtirma qarshilikka ega bo'ladi. SI da o'tkazuvchanlik siemens (Sm) birliklarda o'lchanadi.

#### 4.2. Rentgen strukturaviy tahlil.

Rentgen nurlanishi atom tabiatini o'rganishda muhim rol o'ynaydi. Bu nurlanish spektri  $\lambda = 1 \div 100 \text{ \AA}$  diapazonda yotishini bilamiz. Rentgen spektrlari atom nomerlarini, ya'ni yadro zaryadi  $N$  ni aniqlashga imkon beradi.

Rentgen nurlari tez elektronlar ta'sirida paydo bo'ladi. Ular 2 xil bo'ladi:

1. Tormozlanish nurlanishi katoddan chiqayotgan elektronlarning anodga kelib urilishida ularning tormozlanishi natijasida hosil bo'ladi. Tormozlanish nurlanishi, ya'ni elektronlar energiyasi ma'lum kritik ko'rsatkichdan past bo'lganda ular nurlanish spektri maksimumiga ega bo'ladi. Bu maksimum elektronlarni tezlatuvchi potentsial -  $V$  ga bog'liq bo'ladi.

$$\lambda = \frac{12,345}{V} \text{ \AA} \quad (4.1)$$

Tormozlanish nurlanishi tutash spektrga ega bo'ladi va antikatod (anod) materialiga bog'liq bo'lmaydi.

2. Xarakteristik nurlanish uyg'otuvchi elektronlar energiyasi biror kritik qiymatga teng yoki undan katta bo'lsa hosil bo'ladi. Bu nurlanish antikatod moddasini xarakterlaydi. Har bir element o'ziga xos spektr beradi. Xarakteristik nurlanish uzlukli spektrdan, ya'ni spektral chiziqlardan iborat bo'ladi.

Rentgen nurlari modda qatlamidan o'tganda kuchsizlanadi. Bunga 2 xil sabab bo'lishi mumkin:

1. Sochilish. Rentgen nurlari to'liq uzunliklari juda kichik bo'lgani uchun yorug'likka shaffof bo'lgan har qanday muhit Rentgen nurlari uchun xira hisoblanadi. Sochuvchi markazlar modda atomi yoki molekulasi bo'lishi mumkin. Bunday sochilish optik diapazondagi yorug'likda ham kuzatiladi, lekin bu juda kuchsiz bo'ladi. Masalan, yorug'lik intensivligi 1 km qalinlikdagi toza suvda 2,7 marta kamayadi. Rentgen nurlari esa 5 sm qalinlikdagi suv qatlamida shuncha kuchsizlanadi.

2. Yutilish. Rentgen nurlarining bir qismi moddada yutilib issiqlikka aylanadi. Agar  $dx$  - modda qalinligi,  $J$  - tushayotgan intensivlik,  $\mu$  - kuchsizlanishni xarakterlovchi koeffitsiyent bo'lsa, u holda  $-dJ = \mu J dx$  ifodadan  $d$  - qalinlikdagi moddada kuchsizlanish  $J = J_0 e^{-\mu d}$  kabi ifodalanadi, bu yerda  $\mu = \tau + \sigma$  bo'lib  $\tau$  - yutilish koeffitsienti va  $\sigma$  - sochilish koeffitsienti deyiladi.

Rentgen nurlari spektral chiziqlari chastotasi bilan bu chiziqlarni chiqaruvchi element atom nomeri orasidagi bog'lanishini ( $K_\alpha$  chiziq uchun) Mozeli topgan (1913-1914 yillar)

$$Q_{K_\alpha} = \sqrt{\frac{V_{K_\alpha}}{\frac{3}{4}R}}, \quad (4.2)$$

bu yerda,  $Q_{K_\alpha} = Z - 1$  va  $R = 109737,42 \text{ sm}^{-1}$  - Ridberg doimiysi. Yuqoridagi ifodadan rentgen nurlanish chastotasi bilan  $Z$  orasidagi quyidagi bog'lanishni topamiz:

$$\nu_{K\alpha} = R(Z-1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \quad (4.3)$$

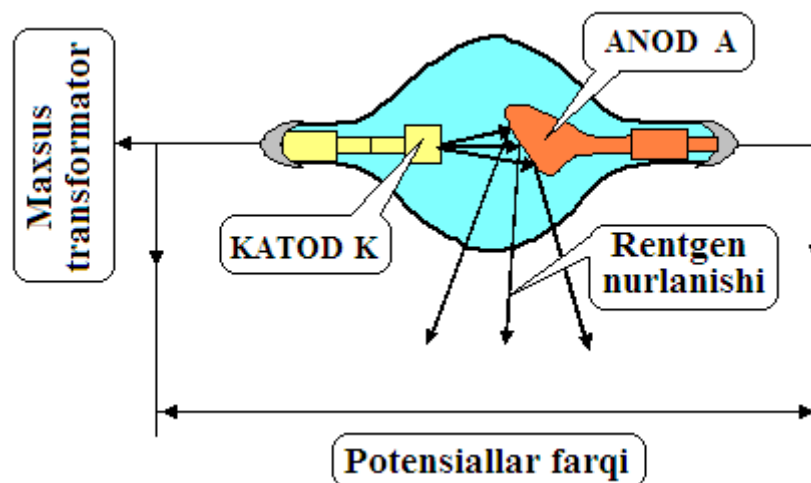
Boshqa seriyalar uchun ham shunga o'xshash bog'lanishlarni yozish mumkin. Rentgen nurlari yorug'likka o'xshaydi va faqat  $\lambda$ -to'lqin uzunligi kichikligi bilan farq qiladi. Shu sababli ham interferensiya va difraksiya hodisalari rentgen nurlarida ham kuzatiladi. Odatdagi rentgen qurilmalarida elektronlar energiyasi 100000 eV ga teng bo'ladi. Meditsinada ishlatiladigan rentgen nurlari to'lqin uzunligi bir angstrom -  $\lambda = 1 \overset{\circ}{\text{A}}$  atrofida bo'ladi. Umuman rentgen nurlari to'lqin uzunligi  $1 \div 100 \overset{\circ}{\text{A}}$  diapazonda yotadi.

Rentgen nurlanishi - bu elektromagnit to'lqinlar (kvantlar oqimi, fotonlar), ularning energiyasi ultrabinafsha nurlanish va gamma nurlanish o'rtasidagi energiya shkalasida joylashgan. Rentgen fotonlari 100 eV dan 250 keV gacha bo'lgan energiyaga ega, bu chastotasi  $3 \cdot 10^{16}$  Hz dan  $6 \cdot 10^{19}$  Hz gacha va to'lqin uzunligi 0,005-10 nm bo'lgan radiatsiyaga to'g'ri keladi. Rentgen va gamma nurlarining elektromagnit spektrlari katta darajada ustma-ust tushadi.

Ushbu ikki turdagi nurlanishning asosiy farqi ularning paydo bo'lish yo'lidir. Rentgen nurlari elektronlar ishtirokida (masalan, ularning oqimi sekinlashganda), gamma nurlari esa ba'zi elementlarning yadrolarining radioaktiv parchalanishi paytida hosil bo'ladi. Rentgen nurlari zaryadlangan zarrachalarning tezlashtirilgan oqimi sekinlashganda yoki atomlarning elektron qatlamlarida yuqori xarakterli o'tish sodir bo'lganda (xarakterli nurlanish) hosil bo'lishi mumkin. Tibbiy asboblarda rentgen nurlari hosil qilish uchun rentgen naychalari ishlatiladi.

Ularning asosiy tarkibiy qismlari katod va massiv anoddir. Anod va katod o'rtasidagi elektr potentsialining farqi tufayli chiqariladigan elektronlar tezlashib, sekinlashayotgan material bilan to'qnashganda anodga etib boradi. Natijada, xarakterli rentgen nurlanishi paydo bo'ladi. Elektronlarning anod bilan to'qnashuvi paytida ikkinchi jarayon ham sodir bo'ladi - elektronlar anod atomlarining elektron qobig'idan chiqarib yuboriladi. Ularning joylarini atomning boshqa qobiqlaridan elektronlar egallaydi. Ushbu jarayon davomida rentgenning ikkinchi turi - spektri

asosan anod materialiga bog'liq bo'lgan xarakterli rentgen nurlari hosil bo'ladi. Anodlar ko'pincha molibden yoki volframdan tayyorlanadi.



**4.5-rasm. Rentgen trubkasi sxemasi.**

Olingan tasvirlarni yaxshilash uchun rentgen nurlarini fokuslash va filtrlash uchun maxsus qurilmalar mavjud. Tibbiyotda ishlatilishini oldindan belgilab beradigan rentgen nurlarining xususiyatlari: penetratsion qobiliyat, lyuminesent va fotokimyoviy ta'sir.

Rentgen nurlarining penetratsion qobiliyati va ularni inson tanasi to'qimalari va sun'iy materiallar singdirishi ularning nurlanish diagnostikasida ishlatilishini belgilaydigan eng muhim xususiyatlardir. To'lqin uzunligi qancha qisqa bo'lsa, rentgen nurlanishi shunchalik penetratsion bo'ladi. Foton energiyasi va nurlanish chastotasi yuqori bo'lgan va qisqa to'lqin uzunligiga ega bo'lgan "yumshoq" rentgen nurlari past nurlanish chastotasi (mos ravishda, eng uzun to'lqin uzunligi bilan) va "qattiq" ni ajratib turing. Rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi (navbati bilan uning "qattiqligi" va penetratsion kuchi) rentgen naychasiga qo'llaniladigan kuchlanish kattaligiga bog'liq. Naychadagi kuchlanish qancha yuqori bo'lsa, elektron oqimining tezligi va energiyasi shunchalik katta bo'ladi va rentgen nurlarining to'lqin uzunligi qisqaradi. Modda orqali kirib boradigan rentgen nurlanishining o'zaro ta'siri jarayonida unda sifatli va miqdoriy o'zgarishlar yuz beradi. Rentgen nurlarining to'qimalar tomonidan so'rilish darajasi har xil va obyektning tashkil etuvchi elementlarning zichligi va atom og'irligi bilan belgilanadi.

Tekshirilayotgan obyekt (organ) tuzilgan moddaning zichligi va atomik og'irligi qancha ko'p bo'lsa, shuncha ko'p rentgen nurlari yutiladi. Inson tanasida turli zichlikdagi to'qimalar va organlar (o'pka, suyaklar, yumshoq to'qimalar va boshqalar) mavjud bo'lib, ular rentgen nurlarining har xil singishini tushuntiradi.

Ichki organlar va tuzilmalarni vizualizatsiya qilish turli organlar va to'qimalar tomonidan rentgen nurlarini yutilishidagi sun'iy yoki tabiiy farqlarga asoslanadi. Tana orqali uzatiladigan nurlanish uning ba'zi birikmalarning lyuminestensiyani keltirib chiqarish va plyonkaga fotokimyoviy ta'sir ko'rsatish qobiliyati yordamida qayd etiladi. Shu maqsadda fluoroskopiya uchun maxsus ekranlar va rentgenografiya uchun fotografik filmlar qo'llaniladi.

Zamonaviy rentgen apparatlarida susaytirilgan nurlanishni ro'yxatdan o'tkazish uchun raqamli elektron detektorlarning maxsus tizimlari - raqamli elektron panellar qo'llaniladi. Bunday holda rentgen usullari raqamli deb nomlanadi. Rentgen nurlarining biologik ta'siri tufayli tekshiruv vaqtida bemorlarni himoya qilish juda zarur. Bunga erishiladi: ta'sir qilishning eng qisqa vaqti, fluoroskopiyaning rentgenografiya bilan almashtirish, ionlashtiruvchi usullarni qat'iy asosda qo'llash, bemorni va xodimlarni radiatsiya ta'siridan himoya qilish.

Rentgen nurlanishi barcha moddalarga har xil darajada bo'lsa ham, kirib borish qobiliyatiga ega ko'rinmas nurlanish. Bu to'lqin uzunligi  $10^{-8}$  sm bo'lgan elektromagnit nurlanish, ko'zga ko'rinadigan yorug'lik singari rentgen nurlari ham fotoplyonkaning qorayishini keltirib chiqaradi. Ushbu xususiyat tibbiyot, sanoat va ilmiy tadqiqotlar uchun muhimdir. O'rganilayotgan obyektдан o'tib, keyin fotoplyonka ustiga tushganda rentgen nurlanishi uning ichki tuzilishini aks ettiradi.

Har xil materiallar uchun rentgen nurlanishining penetratsion kuchi har xil bo'lgani uchun, uning kamroq shaffof bo'lgan qismlari nurlanish yaxshi tushadigan qismlarga qaraganda fotosuratda yengilroq joylarni beradi. Shunday qilib, suyak to'qimasi rentgen nurlari uchun teri va ichki organlarni tashkil etadigan to'qimalarga qaraganda kamroq shaffofdir. Shuning uchun rentgenografiyada suyaklar yengilroq joylar sifatida ko'rsatiladi va nurlanish uchun shaffofroq bo'lgan sinish joyini osongina aniqlash mumkin.

Shuningdek, rentgen nurlari stomatologiyada tishlarning ildizlaridagi kariesni aniqlashda, sanoatda esa qoliplar, plastmassa va kauchuklarning yoriqlarini aniqlashda ishlatiladi.



**4.6-rasm. Tishning rentgen tasviri.**

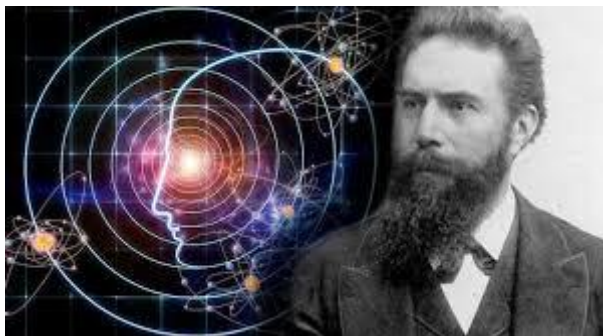
Rentgen nurlari kimyoda birikmalarni tahlil qilishda va fizikada kristallarning tuzilishini o'rganish uchun ishlatiladi. Kimyoviy birikma orqali o'tadigan rentgen nurlanishining o'ziga xos xususiyati ikkinchi darajali nurlanishni keltirib chiqaradi, uning spektroskopik tahlili kimyogarga birikma tarkibini aniqlashga imkon beradi. Kristalli moddaga tushganda rentgen nurlari kristall atomlari tomonidan tarqalib, fotografik plastinkada dog'lar va chiziqlarning aniq, to'g'ri naqshini beradi, bu esa kristalning ichki tuzilishini o'rnatishga imkon beradi. Saraton kasalligini davolashda rentgen nurlaridan foydalanish uning saraton hujayralarini o'ldirishiga asoslanadi. Biroq, bu normal hujayralarga ham kiruvchi ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuning uchun rentgen nurlaridan shu tarzda foydalanishda juda ehtiyot bo'lish kerak.

Rentgen nurlarini nemis fizigi V.Rentgen (1845-1923) kashf etgan. Uning ismi, shuningdek, ushbu nurlanish bilan bog'liq bo'lgan boshqa bir necha fizik atamalarda ham abadiylashtirilgan: rentgen - bu ionlashtiruvchi nurlanish dozasining xalqaro birligi; rentgen apparatida olingan rasm rentgen deyiladi; rentgen nurlaridan kasalliklarni aniqlash va davolash uchun foydalanadigan radiologik tibbiyot sohasi radiologiya deb ataladi.

Rentgen 1895-yilda Vyursburg universitetida fizika professori bo'lganida nurlanishni kashf etdi. Katod nurlari bilan tajriba o'tkazayotganda (u bo'shatish naychalarida joylashgan elektronlar oqimlari) vakuum trubkasi yaqinida



joylashgan, kristalli siyanoplatinit bariy bilan qoplangan ekran yorqin porlayotganini payqadi, ammo kolba o'zi qora karton bilan qoplangan bo'lsa ham.



### **V.Rentgen (1845-1923)**

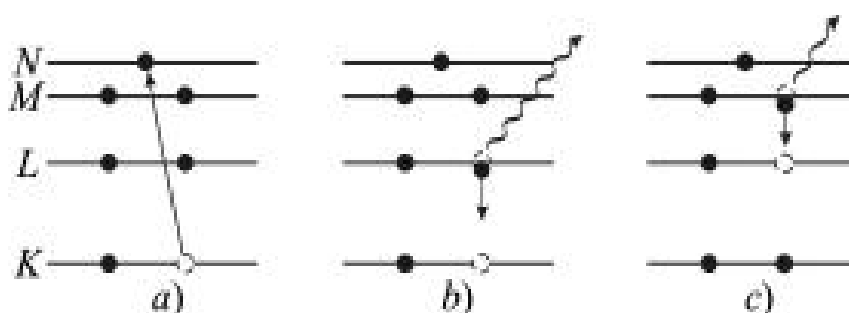
Keyinchalik Rentgen u kashf etgan noma'lum nurlarning qobiliyatini u rentgen nurlari deb ataganligi yutuvchi material tarkibiga bog'liqligini aniqladi. Shuningdek, u katod nurlarini chiqarish naychasi va bariy siyanoplatinit bilan qoplangan ekran o'rtasida joylashtirib, o'z qo'li suyaklarining rasmini oldi. Rentgenning kashf etilishi ushbu tadqiqotning ko'plab yangi xususiyatlarini va qo'llanilishini kashf etgan boshqa tadqiqotchilar tomonidan o'tkazilgan tajribalar bilan davom etdi.

- 1912-yilda rentgen nurlanishining kristaldan o'tishi bilan difraksiyasini namoyish etgan M. Laue, V. Fridrix va P. Knipping katta hissa qo'shdilar;
- 1913-yilda isitilgan katodli yuqori vakuumli rentgen naychasini ixtiro qilgan V.Kulidj;
- 1913-yilda nurlanish to'lqin uzunligi va elementning atom raqami o'rtasidagi munosabatni o'rnatgan G.Mozli;
- 1915-yilda rentgen strukturaviy tahlil asoslarini yaratgani uchun Nobel mukofotini olgan G. va L. Braggi.

***Rentgen nurlanishini olish.*** Rentgen nurlari yuqori tezlikda harakatlanadigan elektronlarning moddalar bilan o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Elektronlar har qanday moddaning atomlari bilan to'qnashganda, kinetik energiyasini tezda yo'qotadi. Bunday holda, uning aksariyati issiqlikka aylanadi va odatda 1% dan kam bo'lgan kichik bir qism rentgen energiyasiga aylanadi. Ushbu

energiya kvantlar shaklida chiqariladi - energiyaga ega, ammo tinchlik massasi nolga teng bo'lgan fotonlar deb nomlangan zarralar.

Rentgen fotonlari energiyasi bilan farq qiladi, bu ularning to'liq uzunligiga teskari proportsionaldir. An'anaviy rentgen ishlab chiqarish usuli keng to'liq uzunliklarini hosil qiladi, bu rentgen spektri deb ataladi. Shaklda ko'rsatilganidek, spektrda aniq tarkibiy qismlar mavjud. Keng "doimiylik" doimiy spektr yoki oq nurlanish deb ataladi. Uning ustiga qo'yilgan keskin tepaliklar xarakterli rentgen nurlanish liniyalari deb ataladi. Garchi butun spektr elektronlarning materiya bilan to'qnashuvi natijasi bo'lsa-da, uning keng qismi va chiziqlarining paydo bo'lish mexanizmlari boshqacha. Materiya juda ko'p miqdordagi atomlardan iborat bo'lib, ularning har biri elektronlar qobig'i bilan o'ralgan yadroga ega va ma'lum bir element atomining qobig'idagi har bir elektron ma'lum bir diskret energiya darajasini egallaydi. Odatda bu chig'anoqlar yoki energiya sathlari yadroga eng yaqin qobiqdan boshlab K, L, M va boshqalar belgilar bilan belgilanadi. Yetarli darajada yuqori energiyaga ega bo'lgan hodisa sodir bo'lgan elektron atomga bog'langan elektronlardan biriga to'qnashganda, u elektronni o'z qobig'idan chiqarib tashlaydi. Bo'sh joyni katta energiyaga mos keladigan qobiqdan boshqa elektron egallaydi. Bu ikkinchisi rentgen fotonini chiqarib ortiqcha energiyadan voz kechadi.



**4.7-rasm. Elektronning qobiqlari.**

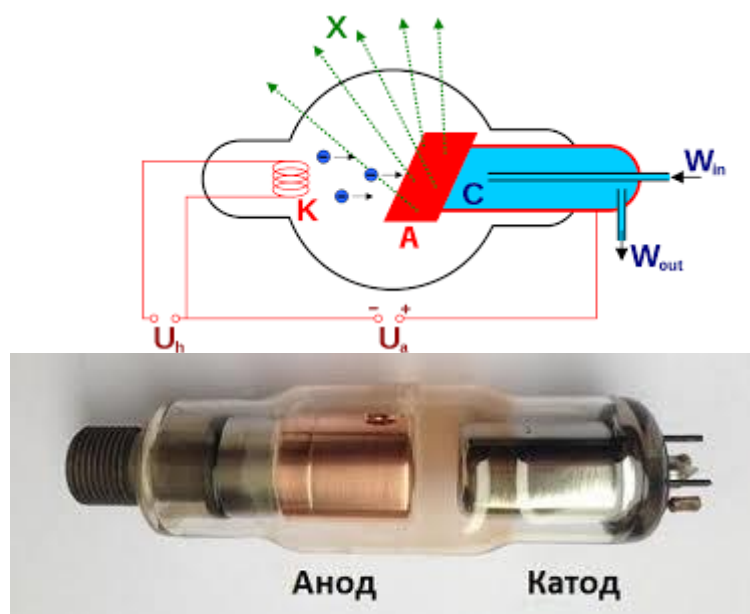
Qobiqlarning elektronlari diskret energiya qiymatlariga ega bo'lganligi sababli, paydo bo'layotgan rentgen fotonlari ham alohida spektrga ega. Bu muayyan to'liq uzunliklari uchun keskin tepaliklarga to'g'ri keladi, ularning o'ziga xos qiymatlari maqsad elementga bog'liq.

Xarakterli chiziqlar elektronning qaysi qobig'idan (K, L yoki M) olib tashlanganiga qarab K-, L- va M-qatorlarni hosil qiladi. Rentgen nurlarining to'liq uzunligi va atom raqami o'rtasidagi bog'liqlik Mozeli qonuni deb ataladi.

Agar elektron nisbatan og'ir yadro bilan to'qnashsa, u sekinlashadi va uning kinetik energiyasi taxminan bir xil energiyaga ega rentgen foton shaklida chiqadi. Agar u yadro yonidan uchib o'tsa, u energiyasining faqat bir qismini yo'qotadi, qolgan qismi esa uning yo'lida uchraydigan boshqa atomlarga o'tkaziladi. Energiya yo'qotishining har bir harakati bir oz energiya bilan foton chiqishiga olib keladi. Uzlüksiz rentgen spektri paydo bo'ladi, uning yuqori chegarasi eng tezkor elektronning energiyasiga to'g'ri keladi. Bu uzlüksiz spektrni hosil qilish mexanizmi va uzlüksiz spektr chegarasini o'rnatadigan maksimal energiya (yoki minimal to'liq uzunligi) tushayotgan elektronlarning tezligini aniqlaydigan tezlashtiruvchi kuchlanishga mutanosibdir. Spektral chiziqlar bombardimon qilingan nishon materialini tavsiflaydi va uzlüksiz spektr elektron nurining energiyasi bilan aniqlanadi va maqsad materialdan amalda mustaqildir.

Rentgen nurlarini nafaqat elektron bombardimon qilish bilan, balki boshqa manbadan rentgen nurlari bilan nishonga olish orqali ham olish mumkin. Biroq, bu holda tushadigan nur energiyasining katta qismi xarakterli rentgen spektriga o'tadi va uning juda kichik qismi uzlüksizga tushadi. Shubhasiz, voqea sodir bo'lgan rentgen nurida fotonlar bo'lishi kerak, ularning energiyasi bombardimon qilingan elementning xarakterli chiziqlarini qo'zg'atish uchun yetarli. Xarakterli spektrdagi energiyaning yuqori ulushi bu rentgen qo'zg'atish usulini ilmiy izlanishlar uchun qulay qiladi.

Rentgen naychalari. Elektronlarning moddalar bilan o'zaro ta'siri tufayli rentgen nurlanishini olish uchun sizda elektronlar manbai, ularni yuqori tezlikka tezlashtiruvchi vosita va elektronlar bombardimoniga dosh bera oladigan va kerakli intensivlikdagi rentgen nurlarini hosil qiladigan maqsad bo'lishi kerak. Hammasiga ega bo'lgan qurilma rentgen trubkasi deb ataladi.



**4.8-rasm. Rentgen trubkasi.**

Dastlabki tadqiqotchilar zamonaviy gaz chiqarish quvurlari tipidagi “chuqur evakuatsiya qilingan” naychalardan foydalanganlar. Ularda vakuum unchalik katta bo’lmagan. Gaz chiqarish naychalarida oz miqdordagi gaz bor va trubaning elektrodlariga katta potensial farqi tatbiq etilganda, gaz atomlari musbat va manfiy ionlarga aylanadi. Ijobiy bo’lganlar salbiy elektrodga (katod) o’tishadi va ustiga tushib, undan elektronlarni chiqarib tashlashadi va ular o’z navbatida musbat elektrodga (anod) o’tadilar va uni bombardimon qilib, rentgen fotonlari oqimini yaratadilar. Kulidj tomonidan ishlab chiqilgan zamonaviy rentgen trubkasida elektronlarning manbai yuqori haroratgacha qizdirilgan volfram katodidir. Elektronlar anod (yoki katodga qarshi) va katod o’rtasidagi potensialning katta farqi bilan yuqori tezlikka qadar tezlashadi. Elektronlar anodga atomlar bilan to’qnashmasdan yetib borishi kerakligi sababli juda yuqori vakuum talab qilinadi, bu esa trubkani yaxshi evakuatsiya qilishni talab qiladi. Bu, shuningdek, qolgan gaz atomlari va ular bilan bog’liq yon oqimlarning ionlanish ehtimolini pasaytiradi.

Elektronlar katodni o’rab turgan maxsus shakldagi elektrod yordamida anodga yo’naltirilgan. Ushbu elektrod fokuslanish deb ataladi va katod bilan birgalikda trubaning “elektron yoritgichi” ni hosil qiladi. Elektron bombardimon qilingan anod olovga chidamli materialdan tayyorlanishi kerak, chunki bombardimon qiladigan elektronlarning kinetik energiyasining katta qismi

issiqlikka aylanadi. Bunga qo'shimcha ravishda anodning yuqori atom raqami bo'lgan materialdan tayyorlanishi maqsadga muvofiqdir atom sonining ko'payishi bilan rentgen rentabelligi oshadi. Volfram anod moddasi sifatida ko'pincha tanlanadi, uning atom raqami 74. Foydalanish shartlari va talablariga qarab rentgen naychalarining dizayni har xil bo'lishi mumkin.

Rentgen nurlanishini aniqlash. Barcha rentgen nurlarini aniqlash usullari ularning materiya bilan o'zaro ta'siriga asoslangan. Detektorlar ikki xil bo'lishi mumkin: tasvir beradiganlar va bermaydiganlar. Birinchisi, rentgen nurlari o'rganilayotgan obyekt orqali o'tadigan va uzatiladigan nurlanish lyuminescent ekranga yoki fotoplyonkaga tushadigan rentgen florografi va floreskopiya uchun moslamalarni o'z ichiga oladi. Tasvir o'rganilayotgan obyektning turli qismlari nurlanishni turli xil - moddaning qalinligi va uning tarkibiga qarab singdirishi tufayli paydo bo'ladi. Luminestent ekranli detektorlarda rentgen nurlanishining energiyasi to'g'ridan-to'g'ri kuzatiladigan tasvirga aylanadi, rentgen diffraksiyasida esa u sezgir emulsiyada yoziladi va faqat plyonka rivojlangandan keyin kuzatilishi mumkin.

Detektorlarning ikkinchi turiga rentgen nurlanishining energiyasi nurlanishning nisbiy intensivligini tavsiflovchi elektr signallariga aylanadigan turli xil qurilmalar kiradi. Bunga ionlash kameralari, Geyger hisoblagichi, mutanosib hisoblagich, tsintilyatsiya hisoblagichi va ba'zi bir maxsus kadmiy sulfid va selenid detektorlari kiradi. Hozirgi vaqtda eng samarali detektorlarni turli xil energiyalarda yaxshi ishlaydigan tsintilyatsion hisoblagichlar deb hisoblash mumkin.

Detektor muammoning shartlarini hisobga olgan holda tanlanadi. Masalan, diffraksiyalangan rentgen nurlanishining intensivligini aniq o'lchash zarur bo'lsa, u holda o'lchovlarni foiz fraksiyalarining aniqligi bilan amalga oshirishga imkon beradigan hisoblagichlardan foydalaniladi. Agar ko'plab diffraksiyalangan nurlarni ro'yxatdan o'tkazish zarur bo'lsa, unda rentgen plyonkasidan foydalanish maqsadga muvofiqdir, ammo bu holda intensivlikni bir xil aniqlik bilan aniqlash mumkin emas.

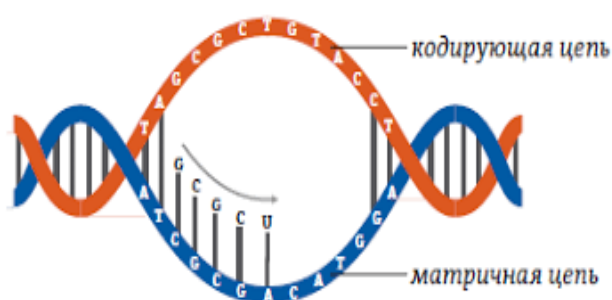
Rentgen va gamma defektoskopiyasi. Rentgen nurlarining sanoatdagi eng keng tarqalgan qo'llanmalaridan biri bu material sifatini nazorat qilish va nuqsonlarni aniqlashdir. Roentgen nurlantirish usuli zararli emas, shuning uchun sinovdan o'tkazilayotgan material, agar talabga javob berishi aniqlansa, undan keyin maqsadga muvofiq foydalanilishi mumkin. Ham rentgen nurlari, ham gamma nurlari nuqsonlarini aniqlash rentgen nurlanishining penetratsion kuchiga va uning materiallarga singib ketish xususiyatlariga asoslangan. Penetratsiya rentgen fotonlarining energiyasi bilan aniqlanadi, bu rentgen naychasidagi tezlashayotgan kuchlanishga bog'liq. Shuning uchun, masalan, oltin va uran kabi quyuq namunalari va og'ir metallarning namunalari ularni o'rganish uchun yuqori voltajli rentgen manbasini talab qiladi va ingichka namunalari uchun past kuchlanishli manba yetarli. Juda katta to'qimalarni va katta prokatlarni gamma-nurli nuqsonini aniqlash uchun zarrachalarni 25 MeV va undan yuqori energiyagacha tezlashtiradigan betatronlar va chiziqli tezlatgichlar qo'llaniladi.

Shu bilan birga, rentgen nurlanish manbasining nurlanishi monoxromatik emas, balki to'liq uzunliklarining keng spektrini o'z ichiga oladi, natijada bir xil absorber qalinligida yutilish nurlanishning to'liq uzunligiga (chastotasiga) bog'liqdir. Rentgen nurlari barcha metallarni shakllantirish sanoatida keng qo'llaniladi. Shuningdek, u artilleriya bochkalarini, oziq-ovqat mahsulotlarini, plastmassalarni tekshirish va elektron texnikada murakkab qurilmalar va tizimlarni tekshirish uchun ishlatiladi. (Neytron difraksiyasi shu kabi maqsadlarda ham qo'llaniladi, ularda neytron nurlari rentgen nurlari o'rniga ishlatiladi.) Shuningdek, rentgen nurlari boshqa vazifalar uchun, masalan, rasmlarning haqiqiylikini aniqlash maqsadida ularni tekshirish yoki asosiy qavatning yuqori qismida qo'shimcha bo'yoq qatlamlarini aniqlash uchun ishlatiladi.

Rentgen nurlanishining farqlanishi. Rentgen difraksiyasi qattiq moddalar - ularning atom tuzilishi va kristall shakli, shuningdek suyuqliklar, amorf jismlar va yirik molekulalar haqida muhim ma'lumot beradi. Difraksiya usuli, shuningdek, atomlararo masofalarni yuqori aniqlikda aniqlashda (xatoligi  $10^{-5}$  dan kam), stress

va nuqsonlarni aniqlashda hamda bitta kristallarning yo'nalishini aniqlashda qo'llaniladi.

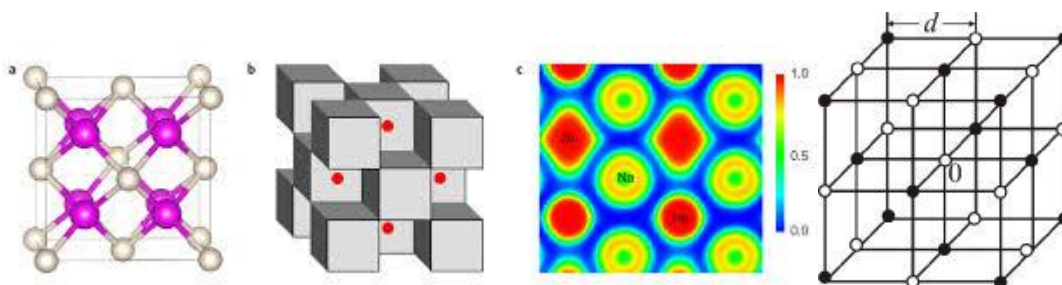
Difraksiya sxemasi noma'lum materiallarni aniqlashi, shuningdek namunada aralashmalar mavjudligini aniqlashi mumkin. Zamonaviy fizikaning rivojlanishi uchun rentgen difraksiyon usulining ahamiyatini deyarli baholab bo'lmaydi, chunki materiyaning xossalarini zamonaviy anglash oxir-oqibat turli xil kimyoviy birikmalardagi atomlarning joylashishi, ular orasidagi bog'lanish xususiyati va tuzilish nuqsonlari to'g'risidagi ma'lumotlarga asoslanadi. Ushbu ma'lumotni olishning asosiy vositasi rentgen difraksiyasi usuli hisoblanadi. Rentgen difraksiyon kristallografiya tirik organizmlarning genetik moddasi bo'lgan deoksiribonuklein kislotasi (DNK) kabi murakkab yirik molekulalarning tuzilishini aniqlash uchun juda muhimdir.



#### 4.9-rasm. DNK ko'rinishi.

Rentgen nurlanishi kashf etilganidan so'ng darhol ilmiy va tibbiy qiziqish ushbu nurlanishning tanaga kirish qobiliyatiga va uning tabiatiga qaratildi.

Rentgen nurlanishini yoriqlar va difraksiyon panjaralar bilan difraksiyasi bo'yicha o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, u elektromagnit nurlanishga tegishli va  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  sm gacha bo'lgan to'lqin uzunligiga ega. Ba'zi hollarda Barlow kristall tuzilishini to'g'ri bashorat qila oldi. Bashorat qilingan atomlararo masofalarning kattaligi  $10^{-8}$  sm ni tashkil etishi, atomlararo masofalarning rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi tartibida bo'lishi, asosan, ularning difraksiyasini kuzatish imkonini berdi. Natijada fizika tarixidagi eng muhim tajribalardan biri haqida fikr paydo bo'ldi.

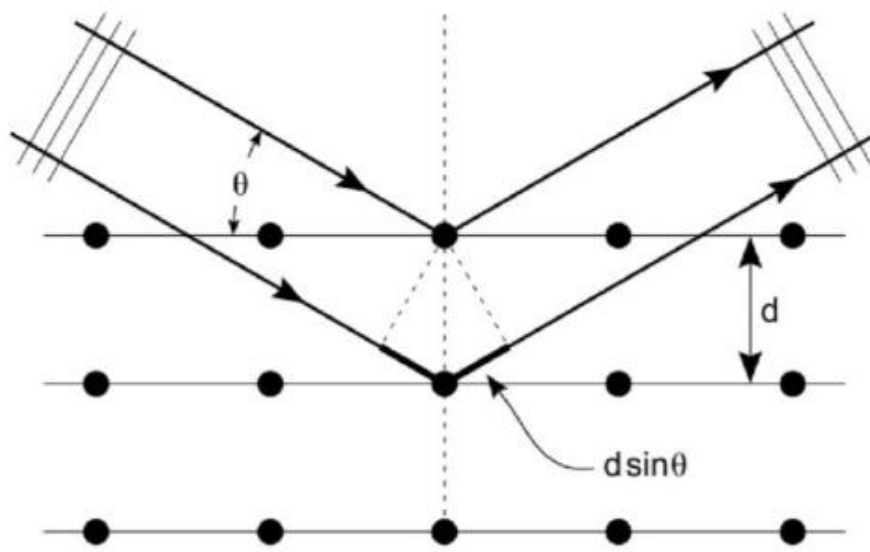


**4.10-rasm. Rentgen difraksiyasi orqali kristal panjara tuzilishini aniqlash.**

M. Laue ushbu g'oyani eksperimental sinovini tashkil etdi, uni uning hamkasblari V.Fridrix va P. Knipping amalga oshirdilar. 1912-yilda ularning uchtasi rentgen difraksiyasi natijalari bo'yicha o'z maqolalarini nashr etishdi.

Rentgen difraksiyasi prinsiplari. Rentgen difraksiyasi hodisasini tushunish uchun quyidagi tartibda ko'rib chiqish kerak:

- birinchi navbatda rentgen spektri,
- ikkinchidan, kristal strukturasi va tabiati va
- uchinchidan, difraksiya hodisasi.

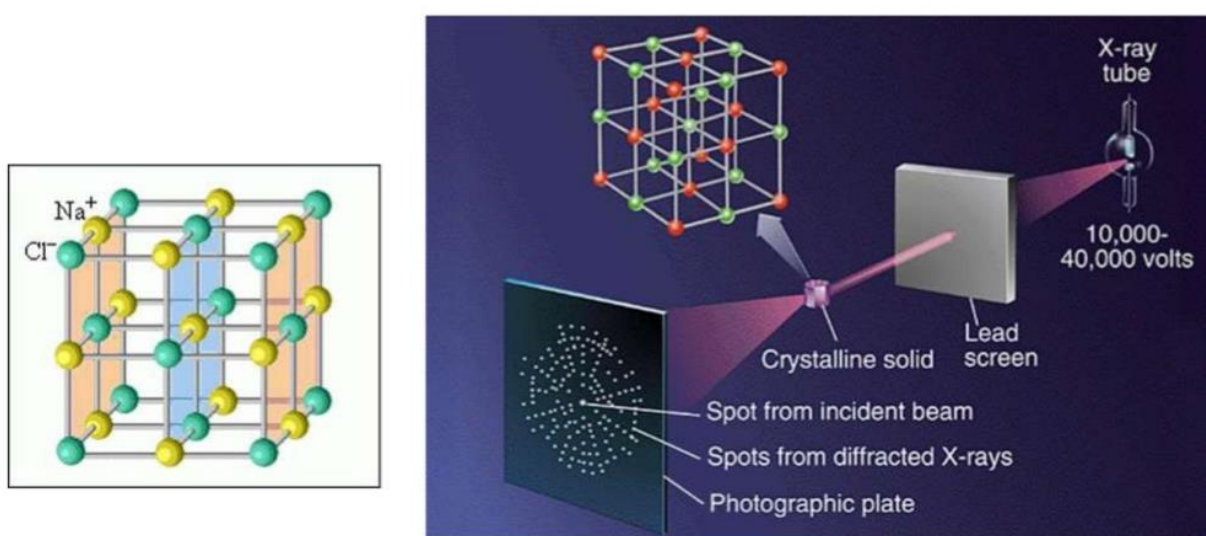


**4.11-rasm. Kristallografik tekisliklardan nurlarning aks etishi**  
**d - kristalldagi yo'l farqi.**

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, xarakterli rentgen nurlanishi anod materiallari tomonidan aniqlangan yuqori darajadagi monoxromatiklik spektral chiziqlaridan iborat. Filtrlar yordamida siz eng qizg'inlarini tanlashingiz mumkin. Shuning uchun, anod materialini to'g'ri tanlab, juda aniq belgilangan to'lqin



uzunligiga ega deyarli monoxromatik nurlanish manbasini olish mumkin. Xarakterli nurlanish to'liq uzunliklari odatda xrom uchun 2,285 dan kumush uchun 0,558 gacha (har xil elementlarning qiymatlari oltita muhim raqamlar ichida ma'lum). Xarakterli spektr anodda tushayotgan elektronlarning sekinlashishi tufayli ancha past intensivlikdagi doimiy "oq" spektrga joylashtirilgan. Shunday qilib, har bir anoddan ikki xil nurlanishni olish mumkin: xarakterli va tormozlovchi. Ularning har biri o'z yo'lida muhim rol o'ynaydi. Kristal tuzilishidagi atomlar to'g'ri davriylik bilan joylashtirilgan bo'lib, bir xil hujayralar ketma-ketligini – fazoviy panjarani hosil qiladi.



**4.12-rasm. NaCl ning kristall panjarasi.**

Ba'zi panjaralar (masalan, eng keng tarqalgan metallar uchun) juda oddiy, boshqalari (masalan, oqsil molekullari uchun) juda murakkab. Kristal tuzilishi uchun quyidagilar xarakterlidir: agar bitta hujayraning berilgan nuqtasidan tutashgan hujayraning mos keladigan nuqtasiga o'tsa, aynan o'sha atom muhiti topiladi. Va agar biron bir atom bitta yoki boshqa bir hujayraning bir nuqtasida joylashgan bo'lsa, u holda bir xil atom har qanday qo'shni hujayraning ekvivalent nuqtasida joylashgan bo'ladi. Ushbu tamoyil mukammal buyurtma qilingan Kristal uchun mutlaqo to'g'ri keladi. Shu bilan birga, ko'plab kristallar (masalan, metall qattiq eritmaları) bir daraja yoki boshqacha tartibsiz, ya'ni, kristallografik jihatdan ekvivalent joylarni har xil atomlar egallashi mumkin.



a)



b)

#### 4.13-rasm. Kristall panjaraning tuzilishi: a) mis; b) temir.

Bunday hollarda, har bir atomning pozitsiyasi emas, balki faqat ko'p sonli zarralar (yoki hujayralar) bo'yicha "o'rtacha statistik" atomning pozitsiyasi aniqlanadi. Bu shuni ko'rsatadiki, agar to'lqinlar (masalan, tovush, yorug'lik, rentgen nurlari) kichik yoriq yoki teshikdan o'tib ketsa, ikkinchisini to'lqinlarning ikkilamchi manbai deb hisoblash mumkin va yoriq yoki teshik tasviri o'zgaruvchan yorug'lik va qorong'u chiziqlardan iborat. Bundan tashqari, agar teshiklar yoki yoriqlarning davriy tuzilishi mavjud bo'lsa, u holda turli xil teshiklardan keladigan nurlarning kuchaytiruvchi va susaytiruvchi aralashuvi natijasida aniq difraksiya naqsh paydo bo'ladi. Rentgen difraksiyasi - bu kristal strukturasi davriy atomlari teshik va sochilish markazlari rolini o'ynaydigan kollektiv tarqalish hodisasi. Ularning tasvirlarini ma'lum burchak ostida o'zaro yaxshilashi, uch o'lchovli difraksiya panjarasi bilan yorug'lik diffraksiyasida paydo bo'ladiganga o'xshash difraksiya naqshini beradi. Yoyilish rentgen nurlanishining kristaldagi elektronlar bilan o'zaro ta'siri tufayli sodir bo'ladi. Rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi atomning o'lchamlari bilan bir xil tartibda bo'lganligi sababli, tarqalgan rentgen nurlanishining to'lqin uzunligi tushayotgan nurlanish bilan bir xil. Bu jarayon tushayotgan rentgen nurlanishi ta'sirida elektronlarning majburiy tebranishlari natijasidir.

Endi bog'langan elektronlar buluti (yadroni o'rab turgan) atomni ko'rib chiqing, unga rentgen nurlari tushadi. Elektronlar barcha yo'nalishlarda bir vaqtning o'zida hodisani tarqatib yuboradi va har xil intensivlikda bo'lishiga qaramay o'zlarining bir xil to'lqin uzunlikdagi rentgen nurlarini chiqaradi. Tarqoq nurlanishning intensivligi elementning atom raqami bilan bog'liq, chunki atom raqami tarqalishda ishtirok etishi mumkin bo'lgan orbital elektronlar soniga teng.

(Bu intensivlikning sochuvchi elementning atom soniga va intensivlikni o'lcaydigan yo'nalishga bog'liqligi kristallarning tuzilishini tahlil qilishda o'ta muhim rol o'ynaydigan atomlarning tarqalish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi.)

**Suyuqliklar va gazlarni o'rganish.** Ma'lumki, suyuqliklar, gazlar va amorf jismlar to'g'ri kristalli tuzilishga ega emas. Ammo bu yerda ham molekulalardagi atomlar o'rtasida kimyoviy bog'lanish mavjud, shuning uchun ularning orasidagi masofa deyarli doimiy bo'lib qoladi, garchi fazodagi molekulalarning o'zlari tasodifiy yo'naltirilgan. Bunday materiallar, shuningdek, nisbatan kam miqdordagi diffuz maksimal darajaga ega bo'lgan diffraksiya naqshini beradi. Bunday rasmni zamonaviy usullar bilan qayta ishlash, hatto bunday kristall bo'lmagan materiallarning tuzilishi to'g'risida ma'lumot olishga imkon beradi.

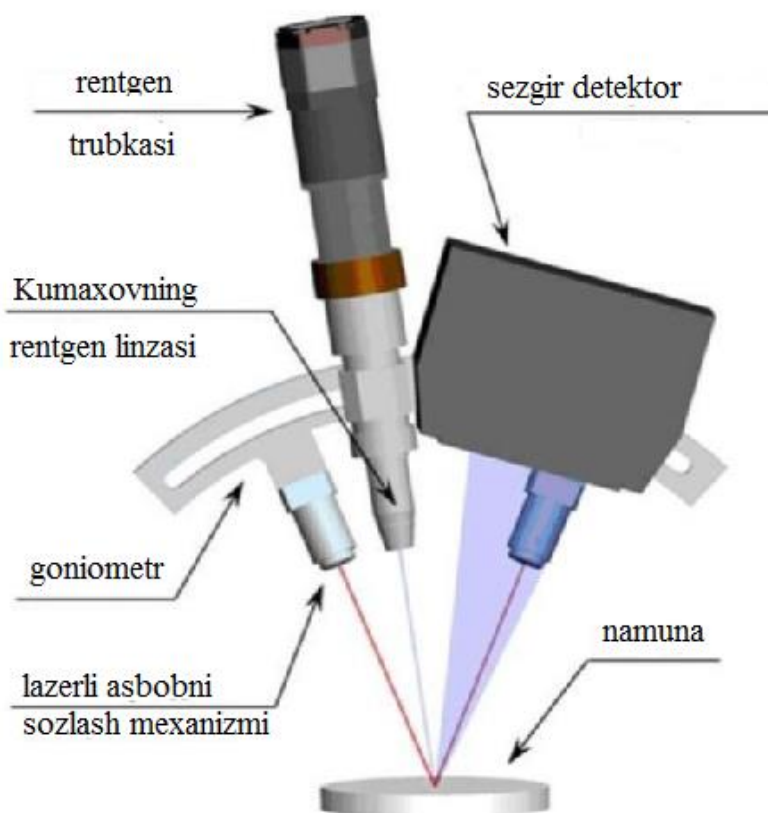
Rentgen nurlari kashf etilganidan bir necha yil o'tgach, Ch.Barkla (1877-1944) moddaning yuqori energiyali rentgen nurlanish oqimiga duch kelganda, o'rganilayotgan elementga xos bo'lgan ikkinchi darajali lyuminesstent rentgen nurlari paydo bo'lishini aniqladi. Ko'p o'tmay, G.Mozeli o'zining bir qator tajribalarida turli xil elementlarni elektron bombardimon qilish yo'li bilan olingan birlamchi xarakterli rentgen nurlanishining to'lqin uzunliklarini o'lhadi va to'lqin uzunligi va atom raqami o'rtasidagi bog'liqlikni keltirib chiqardi.

Ushbu tajribalar, shuningdek Bragg tomonidan rentgen spektrometrining ixtirosi spektrokimyoviy rentgen tahliliga asos yaratdi. Rentgen nurlarining kimyoviy tahlil qilish imkoniyatlari darhol tan olindi.

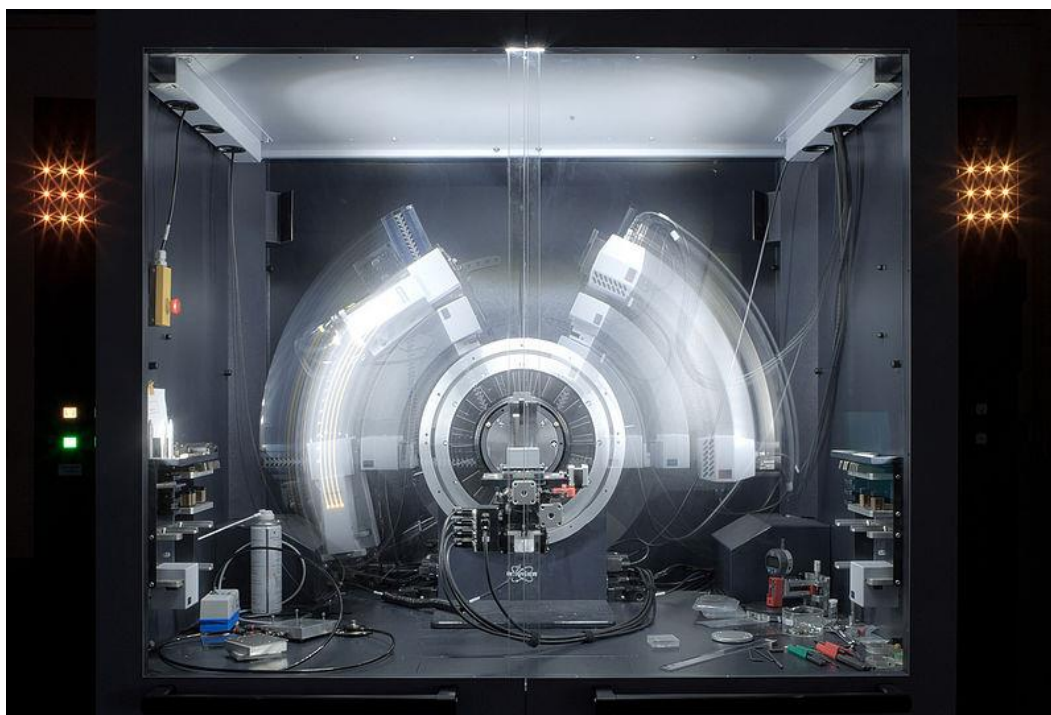
Fotografik plastinkada yozib olinadigan spektrograflar yaratilgan bo'lib, ularda o'rganilayotgan namuna rentgen naychasining anodi bo'lib xizmat qilgan. Afsuski, ushbu texnika juda mashaqqatli bo'lib chiqdi va shuning uchun faqat kimyoviy tahlilning odatiy usullari qo'llanilmaganda ishlatilgan. Analitik rentgen-spektroskopiya sohasidagi innovatsion izlanishlarning ajoyib namunasi 1923-yilda G. Xvesi va D. Koster tomonidan yangi element - gafniyumning kashf etilishi bo'ldi. Ikkinchi Jahon urushi davrida rentgenografiya uchun yuqori quvvatli rentgen naychalari va radiokimyoviy o'lchovlar uchun sezgir detektorlarning yaratilishi asosan keyingi yillarda rentgen spektrografiyasining tez o'sishiga

yordam berdi. Ushbu usul tezkorligi, qulayligi, tahlilning buzilmaydigan xususiyati va to'liq yoki qisman avtomatlashtirish imkoniyati tufayli keng tarqaldi. Atom raqami 11 (natriy) dan katta bo'lgan barcha elementlarning miqdoriy va sifat tahlili masalalarida qo'llaniladi. Odatda namunadagi eng muhim tarkibiy qismlarni aniqlash uchun rentgen-spektrokimyoviy tahlildan foydalanilsa ham (0,1-100%), ba'zi hollarda u 0,005% va undan ham past konsentratsiyalarga mos keladi.

Rentgen spektrometri. Zamonaviy rentgen-spektrometr uchta asosiy tizimdan iborat: qo'zg'alish tizimi, ya'ni volfram yoki boshqa olovga chidamli materialdan tayyorlangan anodli va quvvat manbai bo'lgan rentgen trubkasi; tahlil tizimlari, ya'ni ikkita ko'p qirrali kollimatorli analizator kristallari, shuningdek aniq tekislash uchun spektrogoniometr va Geyger hisoblagichi yoki proportsional yoki sintilatsion hisoblagich, shuningdek rektifikator, kuchaytirgich, hisoblagichlar va yozib olish moslamasi yoki boshqa ro'yxatga olish moslamasi bilan ro'yxatga olish tizimlari.

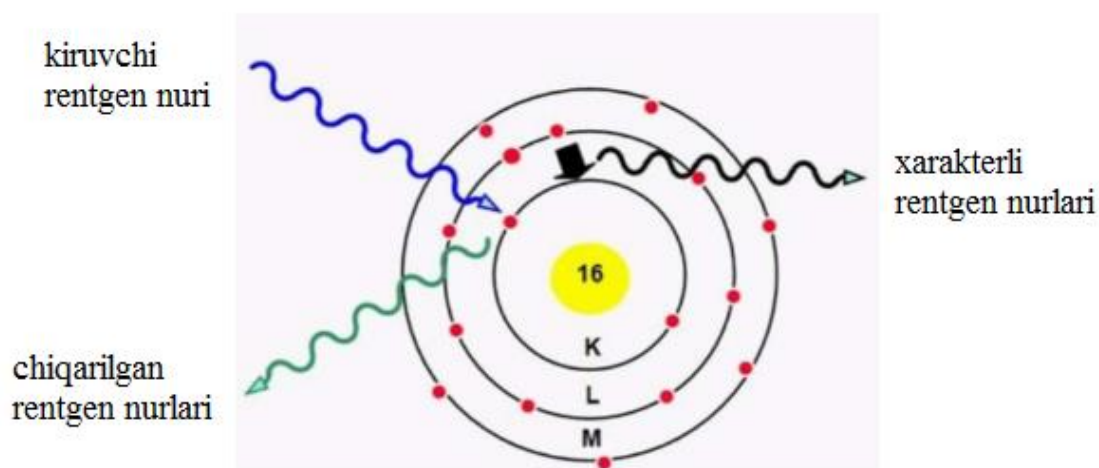


**4.13-rasm. Rentgen difraktometrning tuzilishi.**



**4.14-rasm. Kukunli rentgen difraktometri ish paytida.**

*Rentgen nurli lyuminesentsiya tahlili.* Tahlil qilinadigan namuna g'alayonlangan rentgen nurlanishining yo'lida joylashgan. Tekshiriladigan namunaning maydoni, odatda, kerakli diametrli teshikka ega niqob bilan ajralib turadi va radiatsiya parallel nur hosil qiluvchi kollimator orqali o'tadi. Analizator kristalining orqasida yorilgan kollimator detektor uchun difraksiyalangan nurlanishni chiqaradi. Odatda maksimal burchak  $80-85^\circ$  qiymatlari bilan cheklanadi, shuning uchun analizator kristalida faqat bitta to'lqin uzunligi  $\lambda$  masofaga bog'liq bo'lgan rentgen nurlanishini sindirish mumkin.

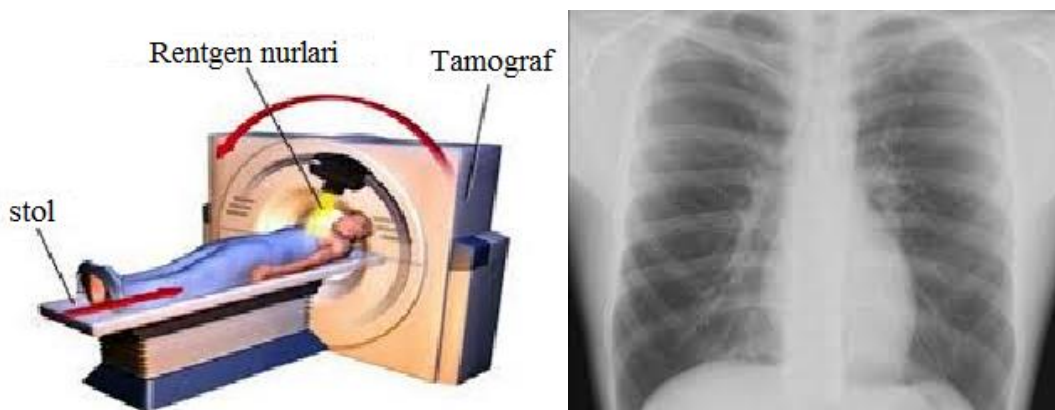


**4.15-rasm. Xarakteristik rentgen nurlanish.**



**Tibbiy rentgen nurlari diagnostikasi.** Rentgen nurlari texnologiyasining rivojlanishi ta'sirlanish vaqtini sezilarli darajada qisqartirishga va tasvirlarning sifatini yaxshilashga imkon berdi, bu hatto yumshoq to'qimalarni ham o'rganishga imkon berdi.

**Florografiya.** Ushbu diagnostika usuli shaffof ekrandan soya tasvirini suratga olishdan iborat. Bemor rentgen nurlari manbai va fosfordan (odatda sezyum yodid) yasalgan tekis ekran o'rtasida joylashgan bo'lib, u rentgen nurlari ta'sirida yonib turadi. Har xil zichlikdagi biologik to'qimalar intensivligi har xil bo'lgan rentgen soyalarini hosil qiladi. Rentgenolog lyuminestsent ekrandagi soyali tasvirni tekshiradi va tashxis qo'yadi. Ilgari rentgenolog tasvirlarni tahlil qilish uchun ko'rishga tayangan. Endi tasvirni kuchaytiradigan, televizor ekranida aks ettiradigan yoki kompyuter xotirasida ma'lumotlarni yozib oladigan turli xil tizimlar mavjud.



**4.16-rasm. Rentgen tasviri.**

**Radiografiya.** To'g'ridan-to'g'ri fotografik plyonkada rentgen tasvirini yozib olish rentgenografiya deb ataladi. Bunday holda, tekshirilgan organ rentgen manbai va organning ma'lum bir vaqtdagi holati to'g'risidagi ma'lumotlarni yozib turadigan fotografik film o'rtasida joylashgan. Takroriy rentgenografiya uning keyingi evolyutsiyasini baholashga imkon beradi. Radiografiya asosan kaltsiydan iborat bo'lgan va rentgen nurlanishida xira bo'lgan suyak to'qimalarining yaxlitligini, shuningdek mushaklarning ko'z yoshlarini juda aniq tekshirishga imkon beradi. Uning yordami bilan stetoskopdan yoki tinglashdan ko'ra o'pkaning holati yallig'lanish, sil kasalligi yoki suyuqlik mavjudligida tahlil qilinadi.

Radiografiya yurakning hajmi va shaklini, shuningdek, yurak xastaligi bilan ogʻrigan bemorlarda uning oʻzgarishi dinamikasini aniqlash uchun ishlatiladi.

Kontrast moddalar. Tananing qismlari va rentgen nurlanishi uchun shaffof boʻlgan ayrim organlarning boʻshliqlari, agar ular tanaga zararsiz boʻlgan kontrast moddalar bilan toʻldirilgan boʻlsa, lekin ichki organlarning shaklini tasavvur qilish va ularning ishlashini tekshirishga imkon beradigan boʻlsa, koʻrinadi. Bemor yo kontrast moddalarni ogʻiz orqali qabul qiladi (masalan, oshqozon-ichak traktini tekshirishda bariy tuzlari), yoki ular tomir ichiga yuboriladi (masalan, buyraklar va siydik yoʻllarini tekshirishda yod oʻz ichiga olgan eritmalar). Ammo soʻnggi yillarda ushbu usullar radioaktiv atomlar va ultratovush tekshiruvlaridan foydalanishga asoslangan diagnostika usullari bilan almashtirildi.

KTni tekshirish. 1970-yillarda tanani yoki uning qismlarini toʻliq tekshirishga asoslangan rentgen diagnostikasining yangi usuli ishlab chiqildi. Yupqa qatlamlarning tasvirlari (“tilimlar”) kompyuter tomonidan qayta ishlanadi va yakuniy tasvir monitor ekranida aks etadi. Ushbu usul kompyuter rentgenografiyasi deb ataladi. U zamonaviy tibbiyotda infiltratlar, oʻsmalar va boshqa miya kasalliklarini aniqlashda, shuningdek tanadagi yumshoq toʻqimalar kasalliklarini aniqlashda keng qoʻllaniladi. Ushbu uslub chet el kontrasti vositalarini kiritishni talab qilmaydi va shuning uchun anʼanaviy texnikalarga qaraganda tezroq va samaraliroq.

Rentgen nurlanishining biologik taʼsirlari. Rentgen nurlarining zararli biologik taʼsiri uni Rentgen kashf etganidan koʻp oʻtmay kashf etilgan. Maʼlum boʻlishicha, yangi nurlanish terining chuqurroq va doimiy ravishda shikastlanishi bilan birga kuchli quyosh yonishi (eritema) kabi narsalarni keltirib chiqarishi mumkin. Yara paydo boʻlishi koʻpincha saratonga aylandi. Koʻp hollarda barmoqlarni yoki qoʻllarni kesib tashlash kerak edi. Shuningdek, halok boʻlganlar ham boʻlgan. Himoya (masalan, qoʻrgʻoshin) va masofadan boshqarish pultrlari yordamida nurlanish vaqtini va dozasini kamaytirish orqali terining shikastlanishidan saqlanish mumkinligi aniqlandi. Ammo asta-sekin rentgen nurlanishining boshqa uzoqroq taʼsirlari paydo boʻldi, ular tasdiqlandi va

eksperimental hayvonlarda o'rganildi. Rentgen nurlari va boshqa ionlashtiruvchi nurlanish (radioaktiv materiallar chiqaradigan gamma nurlanish kabi) ta'siriga quyidagilar kiradi:

- 1) nisbatan ozgina ortiqcha ta'sirdan keyin qon tarkibidagi vaqtinchalik o'zgarishlar;
- 2) uzoq vaqt davomida haddan tashqari ta'sir qilishdan keyin qon tarkibidagi qaytarilmas o'zgarishlar (gemolitik anemiya);
- 3) saraton kasalligining ko'payishi (shu jumladan leykemiya);
- 4) tezroq qarish va erta o'lim;
- 5) katarakta paydo bo'lishi.

Bundan tashqari, sichqonlar, quyonlar va pashshalar ustida o'tkazilgan biologik tajribalar shuni ko'rsatdiki, mutatsiya darajasining oshishi sababli katta populyatsiyalarning oz miqdordagi sistematik nurlanishi ham zararli genetik ta'sirga olib keladi. Ko'pgina genetiklar ushbu ma'lumotlarning inson tanasiga tatbiq etilishini tan olishadi. Rentgen nurlanishining inson organizmiga biologik ta'siriga kelsak, u nurlanish dozasi darajasi bilan, shuningdek, tananing qaysi a'zosi nurlanish ta'sirida bo'lganligi bilan belgilanadi.

Masalan, qon kasalliklari qon hosil qiluvchi organlarning, asosan suyak iligi nurlanishidan kelib chiqadi va genetik oqibatlar jinsiy a'zolar nurlanishidan kelib chiqadi, bu ham bepushtlikka olib kelishi mumkin. Rentgen nurlanishining inson organizmiga ta'siri haqida bilimlarning to'planishi turli xil ma'lumotnomalarda nashr etilgan nurlanishning ruxsat etilgan dozalari bo'yicha milliy va xalqaro standartlarni ishlab chiqishga olib keldi. Odamlar tomonidan maqsadli foydalaniladigan rentgen nurlanishidan tashqari, turli xil sabablarga ko'ra paydo bo'ladigan, masalan, qo'rg'oshin himoya ekranining nomukammalligi sababli tarqalish natijasida paydo bo'ladigan, bu nurlanishni to'liq o'zlashtirmaydigan, tarqalgan, soxta nurlanish ham mavjud. Bundan tashqari, rentgen nurlarini ishlab chiqarishga mo'ljallanmagan ko'plab elektr qurilmalari, shunga qaramay, uni yon mahsulot sifatida ishlab chiqaradi. Bunday qurilmalarga elektron mikroskoplar, yuqori voltli rektifikator lampalar (kenotronlar), shuningdek eskirgan rangli



televizorlarning rasm naychalari kiradi. Ko'pgina mamlakatlarda zamonaviy rangli rasm naychalarini ishlab chiqarish hozirda hukumat nazorati ostida.

#### 4.1-jadval.

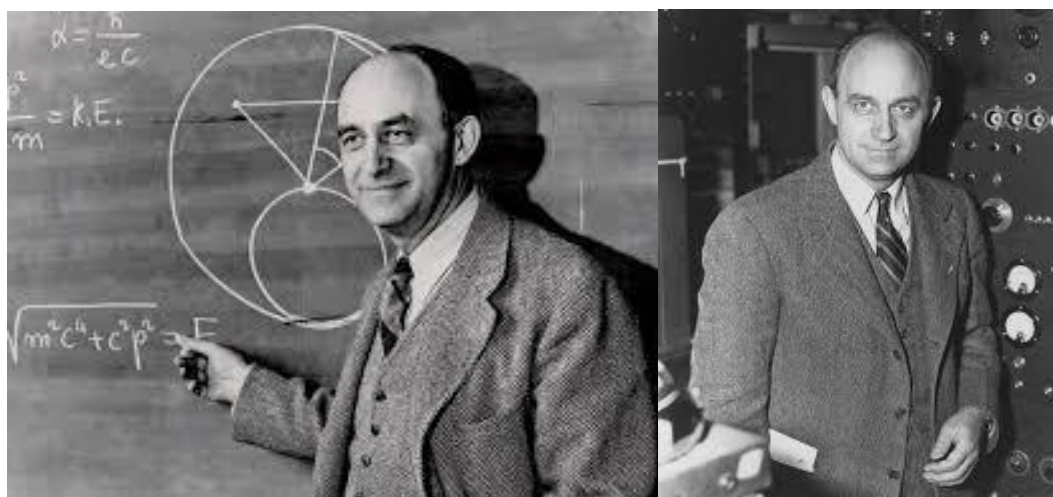
#### Rentgen nurlarining qo'llanilish sohasi.

<b>Ishchi kuchlanish chegarasi, kV</b>	<b>Rentgen nurlanishining qo'llanilish sohasi.</b>
5-15	Tibbiyotda teri yuza qatlamini davolash uchun; Nurlanish yutish xususiyati zaif materiallarni tekshirish (nuqsonlarini aniqlash)
30-60 gacha	Nanometall buyumlarni, (masalan plastmassalarni), yengil qotishmalarni (6-30 mm gacha qalinlikdagi alyuminiyli, magniyli qotishmalar) tekshirilishi; Rentgenostrukturali tahlil.
110-125 gacha	Tibbiyotda tashxis qo'yish uchun va yuza qatlamlarni davolash uchun statsionar qurilmalarda; Qalinligi 100 mm gacha Alyuminiy va 20-30 mm gacha Po'lat materiallarni nazorat qilish
200-250 gacha	Tibbiyotda chuqur qatlamlarni davolash uchun; 350 mm qalinlikkacha bo'lgan Alyuminiy va 70 mm gacha bo'lgan Po'latni nazorat qilish uchun.
300-400	100-120 mm qalinlikkacha bo'lgan P'olatni nazorat qilish uchun
1000 gacha	200 mm gacha bo'lgan Po'latni nazorat qilish uchun. Ekspozitsiya vaqti 3 soat.
2000 gacha	300 mm gacha bo'lgan Po'latni nazorat qilish uchun. Ekspozitsiya vaqti 1soat 35 daqiqa.

### 4.3. Neytronografiya.

Neytronografiya (neytron va ...ografiya) — neytronlarning sochilishi asosida molekula, suyuqlik va kristallarning tuzilishini o'rganish usuli. Kristallarning atom va magnit tuzilishi to'g'risidagi ma'lumotlar neytronlar difraksiyasini kuzatishdan, molekula va kristalldagi atomlarning issiqlik tebranishlari haqidagi ma'lumotlar esa neytronlarning sochilishini kuzatishdan olinadi. Neytronlar elektr zaryadsiz zarra bo'lganligi tufayli ularning moddalarda sochilishi rentgen nurlari va elektronlarga nisbatan boshqacharoq bo'ladi. Magnitlanuvchi moddalar neytronografiyasini maxsus bo'lim - magnit neytronografiyasi o'rganadi. Ba'zi hollarda neytronografiya rentgenografiya va boshqa usullarga nisbatan samaraliroq natija beradi.

Masalan, neytronografiya yo'li bilan yengil va og'ir elementlardan tashkil topgan kristallardagi vodorod va boshqa yengil element atomlarining o'rnini bevosita aniqlash mumkin. Neytronografiya sohasiga oid dastlabki ishlar (1946-48) E. Fermi nomi bilan bog'liq bo'lib, uning asosiy yo'nalishlari amerikalik olimlar E. Uollan va K. Shall tomonidan yoritilgan (1948).



**Enriko Fermi.**

Neytronografiyada asosiy vosita yadro reaktorlari devorlaridan maxsus tirqish orqali chiqarilgan issiqlik neytronlari (sekin neytronlar) dastasidir. Dasta ro'parasiga tekshiriladigan nishon - modda qo'yiladi. Nishondan sochilgan neytronlar maxsus hisoblagichlar yordamida qayd qilinadi. Yadro reaktorlari energiya spektri 0,06 eV sohasida maksimumga ega issiqlik neytronlari manbai

hisoblanadi. Ushbu energiyaga mos de-Broyl to'liqin uzunligi kondensirlangan moddalardagi atomlararo masofalar bilan qiyoslanadi. Neytronlar bu moddadagi atomlarning o'zaro joylashishini difraksiya yordamida tadqiq qilishga imkon beradi. Issiklik neytronlari energiyasining atomlarning issiqlik tebranishlari energiyasi bilan qiyoslanishi moddaning dinamik xossalarini o'rganishga imkon beradi.

Neytronning atomlarning magnit momentlari bilan o'zaro ta'sirlasha oladigan magnit momenti mavjudligi atomlarning kattaligini, joylashishini va magnit momentlarning o'zaro yo'nalishini tadqiq qilishga imkon beradi. Sochuvchi modda (nishon) sifatida polikristall va monokristallar ishlatiladi. Neytronografiya yordamida vodorodli birikmalar (xususan, osh tuzi, organik birikmalar), tartib raqamlari bir-biridan keskin farq qiluvchi elementlar birikmalari (PbS, ThO<sub>2</sub>, va h. k.), tartib raqamlari bir-biriga yaqin elementlar birikmalari (Ni<sub>3</sub>Mn va h. k.), bir elementning ma'lum izotoplaridan tuzilgan birikmalar va boshqa ko'pgina murakkab birikmalarning tuzilishi o'rganiladi. Birikmalar tuzilishini o'rganish uchun struktura neytronografiyasi mavjud. Suyuq moddalarni tahlil qilishda ham neytronografiya juda qo'l keladi. Bunda tahlil qilinadigan modda solingan idish devorlaridan neytronlar deyarli susaymasdan o'tadi va rentgen nurlariga nisbatan 103-104 marta kam yutiladi. Tajribalarning keng temperatura (1 dan 1500 K gacha) va bosim oralig'ida olib borilishi va boshqa omillar neytronografiya usulining boshqa usullardan afzalligini ko'rsatadi.

***Neytron ta'sirida yadrolarning bo'linishi.*** Tabiatda uran asosan ikki izotop aralashmasi sifatida uchraydi:  $^{235}_{92}\text{U}$  (0,7%) va  $^{238}_{92}\text{U}$  (99,3%). Neytronlar ta'sirida uran yadrosi bo'linish kesimi izotop turi va neytron energiyasiga bog'liq ravishda har xil bo'ladi. Neytronlar energiyasiga qarab quyidagicha toifalarga bo'linadi: energiyasi 0,025 eV dan 0,5 eV ga qadar bo'lgan neytronlar issiq neytronlar; 0,5 eV dan 1 keV gacha energiyali neytronlar rezonans neytronlar; 1 keV dan 100 keV gacha energiyali neytronlar oraliq neytronlar; 100 keV dan 14 MeV gacha energiyali neytronlar esa tez neytronlar deb ataladi.

Bo'linish kompaund yadro hosil bo'lish bilan yuz berganda yadrolarning bo'linishi yadro vaqtiga ( $10^{-22} - 10^{-23}$  s) nisbatan ancha sekin yuz beradi. Kinetik energiyasi  $T_n$  bo'lgan neytronni yutgan yadroning uyg'onish energiyasi  $E_{uyg'} = T_n + \epsilon_{A+1}$  bo'ladi. Bu yerda  $\epsilon_{A+1}$  - neytronning kompaund yadro bog'lanish energiyasi. Demak, biror  ${}^A_ZX$  yadroning  $T_n$  kinetik energiyali neytron ta'sirida bo'linish sharti

$$T_n > E_f = E_{akt} - \epsilon_{A+1} \quad (4.4)$$

bu yerda  $E_f$  –bo'linishning effektiv chegarasi deyiladi. Aktivatsiya energiyasi  $E_{akt}$  bo'linish parametriga bog'liq bo'lib, uncha og'ir bo'lmagan yadrolar uchun bo'linish parametri kritik qiymatdan kichik  $\left(\frac{Z^2}{A}\right)_{kr} > \frac{Z^2}{A}$ , aktivatsiya energiyasi  $E_{akt}$  katta bo'ladi.

Shuning uchun bunday yadrolarni bo'lish uchun neytron energiyasi yetarli darajada katta bo'lishi lozim. Og'ir yadrolarda esa bo'linish parametri oshib, aktivatsiya energiyasi  $E_{akt}$  kamayib boradi. Nihoyat, ba'zi yadrolar uchun  $E_{akt} < \epsilon_{A+1}$  ya'ni ular uchun  $E_f$  – manfiy. Bunday yadrolar issiq neytronlar ta'sirida ham bo'linadi. 4.2 va 4.3-jadvallarda ba'zi yadrolar bo'linishining aktivatsiya energiyasi va neytronning yadroga bog'lanish energiyasi keltirilgan.

#### 4.2-jadval

**Ba'zi yadrolar bo'linishining aktivatsiya energiyasi**

<i>Yadro</i>	${}^{207}\text{Tl}$	${}^{207}\text{Bi}$	${}^{210}\text{Po}$	${}^{233}\text{Th}$	${}^{236}\text{U}$	${}^{239}\text{U}$	${}^{239}\text{Pu}$	${}^{240}\text{Pu}$
<i><math>E_f</math>, (MeV)</i>	19,8	22,2	19,7	5,4	6,6	7,1	5,3	5,1

#### 4.3-jadval

**Neytronning yadroga bog'lanish energiyasi**

<i>Boshlang'ich yadro</i>	${}^{238}\text{U}$	${}^{235}\text{U}$	${}^{239}\text{Pu}$	${}^{232}\text{U}$	${}^{232}\text{Th}$
<i>Boshlang'ich yadro+n</i>	${}^{239}\text{U}$	${}^{236}\text{U}$	${}^{240}\text{Pu}$	${}^{233}\text{U}$	${}^{235}\text{Th}$
<i>Boshlang'ich energiyasi, MeV</i>	6,0	6,8	5,3	5,1	5,1

Jadvallardan ko'rinib turibdiki,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{239}\text{Pu}$  yadrolar uchun bo'linish energiyasi  $E_f$  –manfiy, istalgan issiq neytronlar ta'sirida bo'linsa,  ${}^{238}\text{U}$  uchun  $E_f$

neytron energiyasi hech bo'lmaganda  $T_n > 1,1 \text{ MeV}$  bo'lgan tez neytronlar bilan bo'linishi mumkin.

Haqiqatdan ham,  $^{235}\text{U}$  neytron yutib  $^{236}\text{U}$  ga aylanadi,  $^{236}\text{U}$  juft-juft yadro bo'lgani uchun bog'lanish energiyasi nisbatan yuqori,  $6,8 \text{ MeV}$ .  $^{238}\text{U}$  esa neytron yutib  $^{239}\text{U}$  ga aylanadi, bu yadro juft-toq yadro bo'lgani uchun bog'lanish energiyasi past,  $6,0 \text{ MeV}$ . Aktivatsiya energiyalari bo'linish parametriga  $Z^2/A$  bog'liq bo'lganida  $^{236}\text{U}$  uchun  $6,6 \text{ MeV}$ ,  $^{239}\text{U}$  uchun  $7,1 \text{ MeV}$ .

Og'ir yadrolarning issiq neytronlar ta'sirida bo'linishi energiya nuqtai nazaridan juda qulaydir. Undan tashqari  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  va  $^{239}\text{Pu}$  izotoplar uchun bo'linish reaksiyasining kesimi juda katta va nihoyat issiq neytronlar ta'sirida bo'linish reaksiyalari ekzotermik bo'lganida n yuqoridagi yadrolar uchun kichik energiya sohasida « $1/v$  qonun» bajariladi. Neytron energiyasi  $T_n=0,025 \text{ eV}$  bo'lsa,  $\sigma_{nf}=600 \text{ bn}$ ;  $T_n=1 \text{ MeV}$  da  $\sigma_{nf}=1,5 \text{ bn}$ .

Og'ir yadrolar bo'linishida katta energiya ajralib chiqadi. Og'ir yadrolar bo'linishida massa sonlari  $A=100$  yaqin bo'lgan bo'lakchalarning har bir nuklonga to'g'ri keluvchi solishtirma bog'lanish energiyasi  $A \geq 325$  katta bo'lgan bo'linuvchi og'ir yadrolar solishtirma bog'lanish energiyalaridan taxminan  $0,85 \text{ MeV}$  katta. Demak, bo'linish natijasida har bir nuklonga  $0,85 \text{ MeV}$  ga teng bo'lgan energiya ajraladi, ya'ni har bir yadroga to'g'ri keladigan bo'linish energiyasi  $Q=235 \cdot 0,85 = 200 \text{ MeV}$ . Masalan,  $1 \text{ kg } ^{235}\text{U}$  bo'linganda ajralgan energiya:  $1 \text{ kg}$  da  $N = \frac{mN_A}{A}$  uran yadrosi. To'la ajralgan energiya

$$Q = NQ_1 = \frac{1\text{kg} \cdot 6,023 \cdot 10^{26}}{235} 200\text{MeV} = 5,125 \cdot 10^{26} \text{ MeV} = 8,2 \cdot 10^{10} \text{ kJ}$$

Bu –  $1800 \text{ t}$  benzin,  $2700 \text{ t}$  ko'mir yonganda beradigan issiqlikka teng. Bo'linish energiyasi – asosiy qismi: bo'lakchalar kinetik energiyasiga –  $169 \text{ MeV}$ , oniy gamma-nurlar energiyasiga –  $8 \text{ MeV}$ , bo'linishda vujudga kelgan neytronlar

energiyasiga – 5 MeV,  $\beta$  –yemirilish energiyasiga  $\sim 9$  MeV,  $\gamma$ -nurlar energiyasiga – 7 MeV, neytrino energiyasiga  $\sim 11$  MeV sarf bo'ladi.

Bo'linish energiyasining neytrino energiyasidan tashqari hamma qismini issiqlikka aylantirish mumkin. Bo'linishda ajralgan energiya uran yadrosi massasining  $\sim 0,1$  foizini tashkil etadi.

Bo'linish reaksiyasi (n,f) bilan bo'linishga xalaqit beruvchi noelastik sochilish (n,n'), elastik sochilish (n,n), radiatsion qamrash (n, $\gamma$ ) jarayonlari raqobatlashadi. Ammo kichik energiyalarda noelastik, elastik sochilishlar bo'lmasdan  $^{235}\text{U}$  yadrosi 16 foiz – radiatsion qamrash,  $\sim 84$  foiz – hollarda yutilgan neytronlar bo'linishni vujudga keltiradi.

Uran  $^{235}\text{U}$  yadrosi sekin neytronlar ta'sirida nuklonlar soni  $A=90$  va  $A=140$  atrofida bo'lgan ikki bo'lakchalarga bo'linadi. Bu bo'lakchalar kripton ( $_{36}\text{Kr}$ ) va ksenon ( $_{54}\text{Xe}$ ) yoki shu yadrolar atrofidagi yadro izotoplari bo'lib bo'lakchalar biri ikkinchisidan taxminan 1,5 marta og'irroqdir. Bo'linishda taxminan  $\sim 1\%$  lar teng bo'lakka bo'linadilar. Sifat jihatdan bo'linishning assimetrik bo'linishi qobiq modeli bilan tushuntiriladi. Yadro uchun neytronlar soni 50 va 82 “sehrli” sonlaridan biriga yaqin bo'lgan bo'lakchalarga bo'linishi afzaldir. Birinchi bo'lakcha neytroni 50 ga, ikkinchi bo'lakcha neytroni 82 ga yaqindir

$^{235}\text{U}$  yadrosida neytronlarning protonlarga nisbati 1,6 ga teng. Lekin bo'linishda hosil bo'lgan bo'lakchalarga bu nisbat ancha kamdir. Masalan,  $^{108}_{47}\text{Ag}$ ,  $^{137}_{56}\text{Ba}$  yadrolari uchun 1,3 va 1,45 ga teng. Demak har bir bo'linish jarayonida bir necha neytronlar hosil bo'lishi kerak. Haqiqatdan,  $^{235}\text{U}$  bo'linishining har bir aktida o'rta hisobda 2-3 ta oniy neytron hosil bo'ladi. Oniy neytronlarning o'rtacha kinetik energiyasi 2 MeV bo'lib, ular bo'linish enrgiyasining 30% ini olib ketadi.

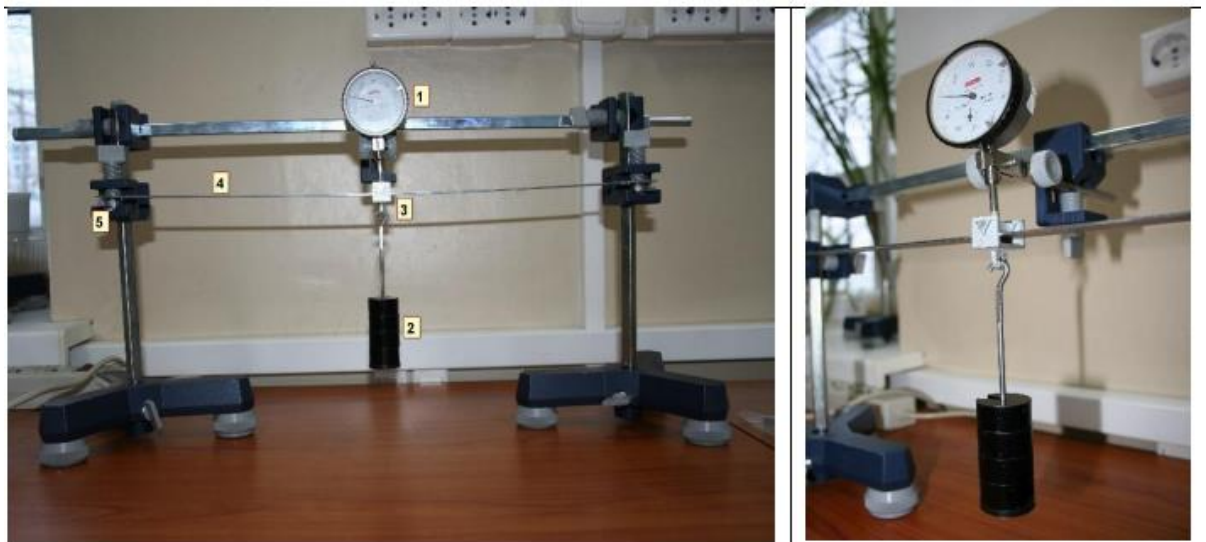
Oniy neytronlar chiqarganidan keyin bo'lakchalar uyg'ongan holatlarda bo'ladi. Ular tezda oniy gamma-kvantlarni chiqarish bilan asosiy holatga o'tadi. Har bir bo'linishda  $\sim 1\text{MeV}$  li qariyb 8 foton chiqaradi, bu bilan bo'linish energiyasining taxminan 3,5% ni olib ketadi.

## V BOB. MEXANIK XOSSALARNI ANIQLASH.

### 5.1. Mexanik mustahkamlik, deformatsiya, destruksiya, mexanokimyoviy jarayonlar.

#### *Qattiq jismlarning va biologik to'qimalarning Yung modulini aniqlash.*

“Deformatsiya” deb tashqi kuch ta’sirida qattiq jism zarralarining bir-biriga nisbatan vaziyatli o’zgarishi tushuniladi. Tashqi kuch ta’sirida qattiq jismning shakli va hajmi o’zgarishiga deformatsiya deyiladi. Deformatsiya elastik va plastik bo’ladi. Elastik deformatsiya deb, tashqi kuch olib tashlanganda, jism avvalgi shakli va o’lchamini tiklashiga aytiladi. Agar jism avvalgi shakli va o’lchamini tiklay olmasa, plastik deformatsiya deyiladi. Deformatsiya bir necha ko’rinishda bo’ladi: cho’zilish, qisilish, siljish, burilish, egilish.



**5.1-rasm. Yung modelini aniqlash qurilmasi.**

Cho’zilish deformatsiyasida jism bo’ylama yo’nalishda uzayadi, ko’ndalang yo’nalishda esa torayadi. Cho’zilish deformatsiyasi jismning ikki asosiga uning o’qi bo’ylab ikkita bir-biriga teng va jismdan qarama-qarshi tomonlarga yo’nalgan kuchlar ta’sir qilganda yuzaga keladi.

Qisilish deformatsiyasi cho’zilish deformatsiyasidan shunisi bilan farq qiladiki, bunda jisimga qo’yilgan kuchlar unga qarab yo’nalgan bo’ladi.

Siljish deformatsiyasi jismning asosiga parallel qatlamlar jism yuqori va pastki asoslariga jismga tomon yo'nalishda qo'yilgan kuchlar ta'sirida suriladi.

Buralish deformatsiyasi jismning o'qiga perpendikulyar olingan o'zaro parallel kesimlarining bir-biriga nisbatan burilishidan iboratdir. Agar jismning bir uchi mahkamlangan va uning erkin uchiga jismning o'qiga perpendikulyar tekislikda juft kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, buralish deformatsiyasi yuzaga keladi.

Egilish deformatsiyasi o'qi neytral bo'lgan, o'qning qarama-qarshi tomonlaridagi yon sirlarga son qiymati jihatidan ortib boruvchi o'qqa parallel kuchlar ta'sir qilayotgan jismga hosil bo'ladi: bunda o'qdan bir tomonda kuchlar jismni siqadi, ikkinchi tomonidan esa jismni cho'zadi.

Deformatsiya o'lchovi sifatida nisbiy deformatsiya  $\varepsilon$  kiritilgan bo'lib, u absolyut deformatsiyani jismning boshlang'ich uzunligiga nisbati bilan aniqlanadi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon = \frac{\Delta x}{x} \quad (5.1)$$

Deformatsiya hosil qiluvchi  $P$  kuchni shu kuch ta'sir etayotgan ko'ndalang kesim yuzasi  $S$  ga nisbatan deformatsiya kuchlanganligi deyiladi, ya'ni,

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad (5.2)$$

Bunda  $\sigma$  - kuchlanganlik (birligi SI sistemasida  $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ ). Nisbatan kichik kuchlar ta'sir etganda, deformatsiya elastiklik xarakteriga ega bo'ladi. Bu holda nisbiy deformatsiya kuchlanganlikka to'g'ri proporsional bo'ladi va Guk qonuni deyiladi.

$$\varepsilon = k\sigma = \frac{1}{E}\sigma \quad \text{va} \quad \sigma = \varepsilon E \quad (5.3)$$

Bu yerda  $E$  - elastiklik moduli yoki Yung moduli. Bundan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.4)$$

(5.1) dagi  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  qiymatni va (5.2) dagi  $\sigma = \frac{P}{S}$  qiymatni (5.4) dagi

kattaliklarning o'rniga qo'ysak

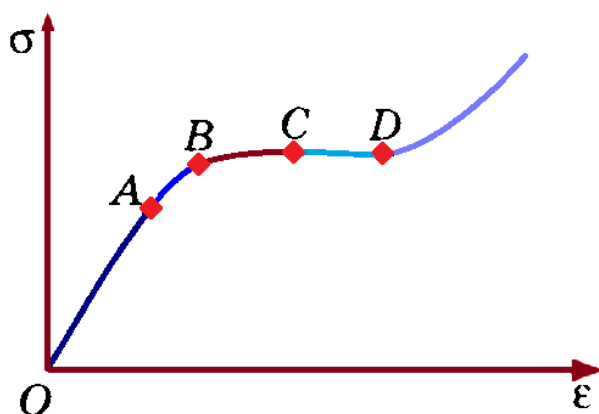


$$E = \frac{P/S}{\Delta l/l} \quad (5.5)$$

hosil bo'ladi.

Elastik moduli birligi SI sistemasida  $[E]=[N/m^2]=[Pa]$  bilan o'lchanadi.

**Yung modulining fizik ma'nosi:**



**5.2-rasm. Elastiklik chegarasi.**

Elastiklik moduli materialning cho'zilishga (siqilishga) qarshilik ko'rsata olish xususiyatini bildiradi va kuchlanish o'lchamlarida ( $kg/m^2$ ,  $kg/cm^2$  da) ifodalanadi.

Yung moduli son jihatidan jismga qo'yilgan kuchlanganlikka tengki, u jism uzunligini ikki marta uzaytiradi, ya'ni,  $\varepsilon=1$  bo'ladi.

$\sigma$  - kuchlanishning  $\varepsilon$  - nisbiy deformatsiyaga bog'lanishini ko'rib chiqaylik (5.2-rasm)

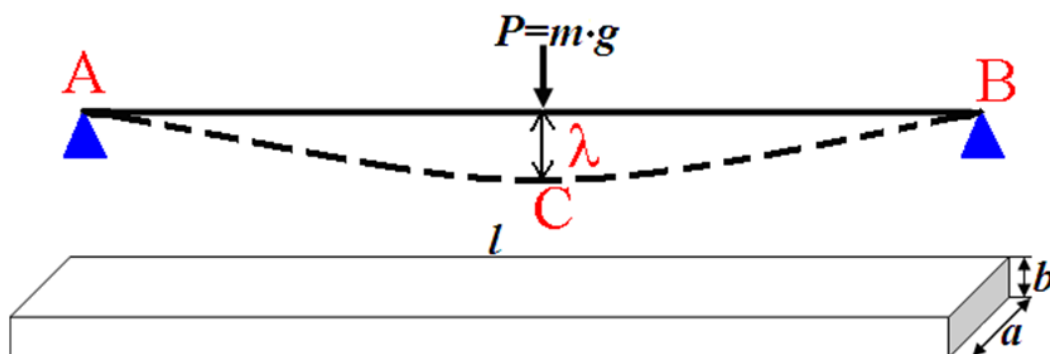
$\varepsilon$  - oshganda  $\sigma$  ham proportsional ravishda elastiklik chegarasigacha  $\sigma_{el}$  oshib boradi. (OA qism) Jism deformatsiya ta'sirida hali elastiklik hususiyatini yo'qotmagan bo'lsa, bunda hosil bo'lgan eng katta mexanik kuchlanishga elastiklik chegarasi  $\sigma_{el}$  deyiladi.

Bu chegaradan keyingi mexanik kuchlanishni o'sishida deformatsiya plastik xarakterga ega va Guk qonuniga bo'ysunmaydi. Kuchlanishni mustahkamlik chegarasidan  $B_{cheg}$  oshsa (B nuqta) jism buziladi. Yuqori mustahkamlik chegarasi ega bo'lgan jismlar elastik jismlardir (metallar). Mo'rt jismlarning (cho'yan, shisha, muz) elastiklik chegarasi kichik bo'ladi. Jismning mexanik xossalari temperaturaga bog'liq. Temperatura ortishi bilan jismning plastikligi ortadi, temperatura kamayishi bilan mo'rtligi oshadi.

Organizm to'qimalarining mexanik hossalari ularning tuzilishiga va tabiatiga bog'liq. Suyakning biriktiruvchi asosidagi to'qima suyakka elastiklik bersa, undagi fosfor va kalsiyning asosga shimiluvchi tuzlari qattiq va puxta qiladi. Suyak tuzilishini shakllanishi tashqaridan qo'yiladigan yukka moslashgan bo'ladi.

Yumshoq to'qimalar asosan oqsil polimerlardan tuzilgan bo'lib, yuqori elastikligi va yopishqoqligi bilan farq qiladi. Bu xususiyat deformatsiyaning oshishiga olib keladi. Bunday jismlar elastomerlar deyiladi, ular Guk qonuniga bo'ysinmaydi.

Egilish metodi bilan sterjinning elastiklik modulini aniqlash mumkin. Sterjen qattiq tayanchga o'rnatilib, uning o'rtasiga ma'lum og'irlikka ega bo'lgan toshlar yuklatiladi. (5.3-rasm). Toshlar kuch sifatida ishlatiladi va uning ta'sirida egilish deformatsiyasi ro'y beradi. Bu holda deformatsiya kattaligi  $\lambda$  "egilish o'qi" bilan, ya'ni sterjenga ta'sir etuvchi kuchning qo'yilish nuqtasi siljiydigan masofa bilan xarakterlanadi.



**5.3-rasm. Yog'och sterjenning og'ish o'qi va unga ta'sir qiluvchi og'irlik kuchi.**

Egilish o'qi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{Pl^3}{4Eab^3} \quad (5.6)$$

Bunda:

$l$  – qurilmadagi tayanch nuqtalar (prizma) orasidagi masofa

$P$  – egilish deformatsiyasini hosil qiluvchi kuch (og'irlik kuchi).  $P=m \cdot g$

$E$  – elastiklik moduli

$a$  – sterjenning eni

b – sterjenning qalinligi

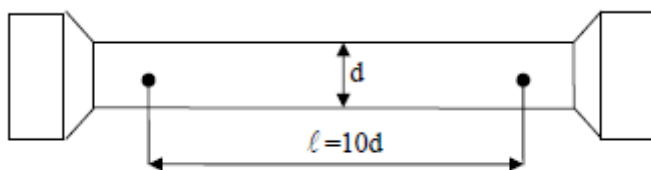
Agar sterjenning kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'lsa (5.6) formulani qo'llash mumkin. (5.6) formuladan elastik modulni quyidagicha topish mumkin.

$$E = \frac{mgl^3}{4\lambda ab^3} \quad (5.7)$$

Ushbu formuladagi o'zgarmas kattaliklarni alohida hisoblab C (const) bilan belgilab olamiz:  $C = \frac{g \cdot l^3}{4 \cdot a \cdot b^3}$  natijada (5.7) formula quyidagicha bo'ladi:  $E = \frac{m}{\lambda} \cdot C$

C (const) ni hisoblashda birlikni to'g'ri bo'lishi uchun hamma o'lchovlar mm hisobida olinadi, erkin tushish tezlanish esa o'z holida qoladi:  $g=9.8 \text{ m/s}^2$ .

**Cho'zilish va siqilish diagrammalari.** Konstruksiya elementlarini mustahkamlikka hisoblashda va deformatsiyalarini aniqlashda materialning mexanik xarakteristikalarini – ruxsat etilgan kuchlanishning va elastiklik modulining qiymatlari ishlatiladi. Ushbu xarakteristikalar tekshirilayotgan materialdan olingan namunalarni tajribada sinab, olingan natijalarni tahlil qilish asosida topiladi. Namunalarni tajribada sinashning eng ko'p tarqalgan usuli bu cho'zilish va siqilishga sinashdir. Buning uchun ma'lum miqdordagi yuklanishni berilgan tezlik bilan namunaga bera oladigan turli xildagi sinov mashinalaridan foydalaniladi. Bu holda namunaga (5.4-rasm) beriladigan zo'riqishni, sinov mashinasining turiga qarab bir necha grammdan yuzlab tonnagacha o'zgartirish mumkin.

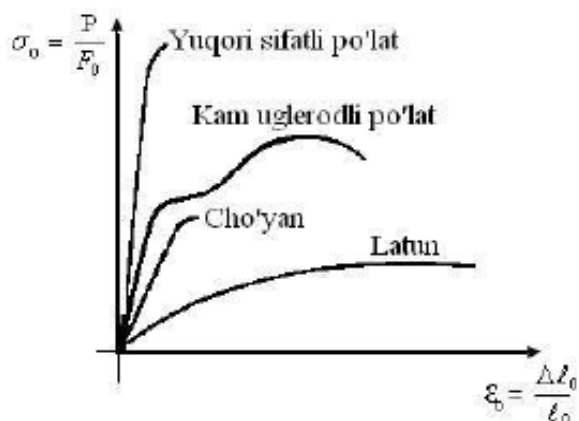


#### 5.4-rasm. Cho'zilish va siqilishga sinash uchun namuna.

Cho'zilish deformatsiyasiga sinash uchun namuna. Zo'riqishga mos keluvchi absolyut deformatsiyalar esa namunaga (sterjenlarga) o'rnatilgan tenzometrlar yordamida aniqlanadi. Hozirgi zamon sinov mashinalari zo'riqishga mos keluvchi deformatsiyani aniqlash bilan birga avtomatik ravishda  $P = f(\Delta l)$  yoki  $\sigma = f(\epsilon)$  grafiklarini ham chizib boradi. Bu funktsiya grafiklari  $\sigma \sim \epsilon$  ning shartli

diagrammalari deyilib, materialning mexanik xarakteristikalari shu diagrammalardan aniqlanadi.

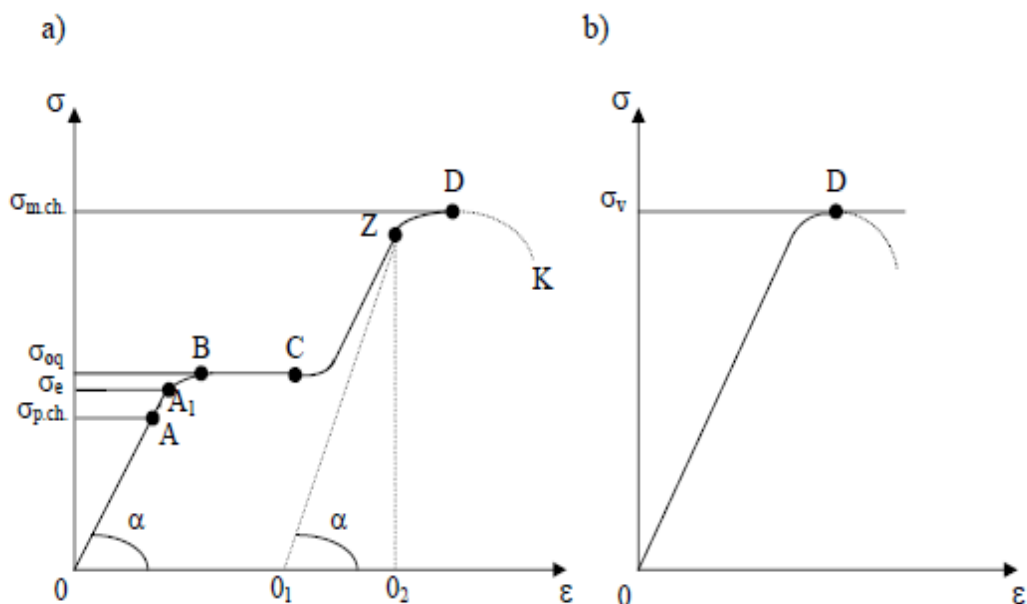
Turli xil materiallar uchun  $\sigma$  va  $\varepsilon$  diagrammalari 5.5 – rasmda keltirilgan. Bu yerda  $l$  namunaning (sterjenning) boshlang'ich uzunligi,  $F$  – sterjenning boshlang'ich ko'ndalang kesim yuzasi. 5.5-rasmda tasvirlangan diagrammalar turli xil masshtablarda keltirilgan.



**5.5-rasm. Turli materiallar uchun cho'zilish diagrammalari.**

Diagrammalarning xilma-xilligi materiallarning xossalarini aniqlashda asosiy ma'lumot beruvchi manba bo'lib, ularni sinflarga ajratishda va ko'rgazmali namoyish etishda kerakli ma'lumot hisoblanadi. Odatda diagrammalar shartli ravishda plastik materiallar diagrammasi va mo'rt materiallar diagrammasiga ajratiladi. 5.6-a,b rasmlarda plastik va mo'rt materiallar uchun har xil masshtablarda qurilgan va shartli soddalashtirilgan diagrammalar keltirilgan.

Digamma bir qator o'ziga xos bo'laklardan iborat. OA bo'lakda digamma to'g'ri chiziqdan iborat. A nuqtada proporsionallik chegarasiga mos keluvchi kuchlanish  $\sigma_{p.ch.}$  ning eng katta qiymati hosil bo'lib, agar kuchlanish undan ortib ketsa Guk qonuni bajarilmaydi. Kam uglerodli po'latlar uchun  $\sigma_{p.ch.}$  ning qiymati taxminan  $2000 \text{ kgk/sm}^2$  ga teng bo'ladi.



**5.6-rasm. Deformatsiyalanish diagrammasi: a) plastik material; b) mo'rt material.**

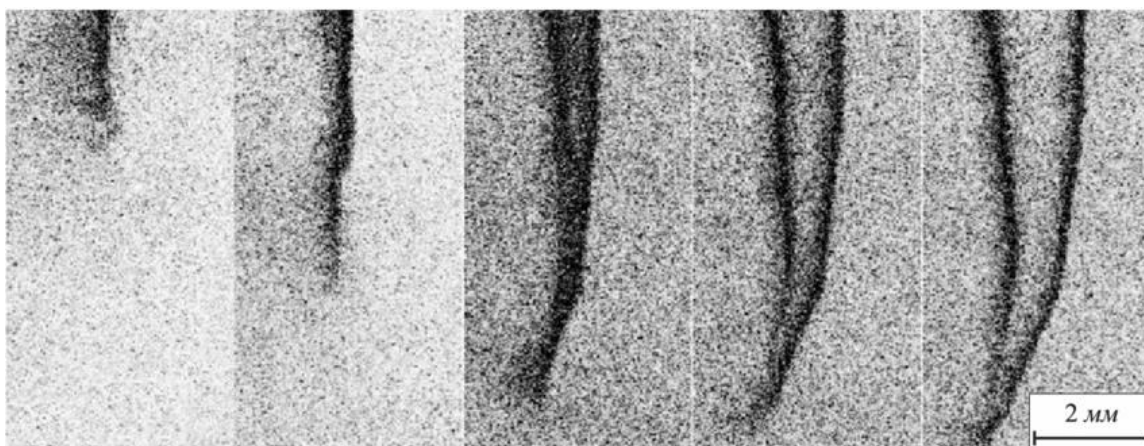
Plastik materiallar uchun  $\sigma \sim \varepsilon$  diagrammasini ko'raylik (5.6-a rasm).

Bu holda elastiklik moduli  $E = \operatorname{tga} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$  bo'ladi.  $\sigma_e$  – elastiklik chegarasidagi eng katta kuchlanishni ifodalaydi. Kuchlanishning qiymati  $\sigma_{p.ch}$  dan ortishi bilan deformatsiya yuklanishdan tezroq o'sadi va diagramma  $A_1$  nuqttagacha yuqoriga qavargan egri chiziq ko'rinishini oladi. So'ngra material xarakterida keskin o'zgarish yuz beradi va cho'zuvchi kuchning ma'lum bir qiymatida material “oqadi”, bu holda deformatsiyaning ortishi uchun cho'zuvchi kuchni oshirmasa ham bo'ladi. Diagrammada gorizontali (yoki deyarli gorizontali) qism (B–C) hosil bo'ladi.

Yuklanish o'zgarmas (deyarli o'zgarmas) bo'lganda deformatsiyaning o'sishi materialning oquvchanligini ifodalaydi va bu holatga to'g'ri keluvchi kuchlanish oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish deyilib, u  $\sigma_{oq}$  deb belgilanadi. Kam uglerodli po'lat uchun  $\sigma_{oq} \approx 2400 \text{ kg/sm}^2$  ga teng bo'lishi mumkin.

Namuna materiali oqayotganda uning sirtida ko'proq yoki kamroq keskin ko'zga tashlanadigan darajadagi to'g'ri chiziqlar paydo bo'ladi. Bu chiziqlar

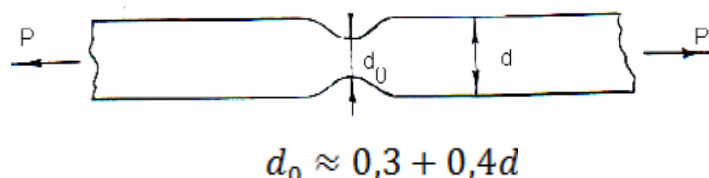
“Chernov chiziqlari” yoki ba’zi hollarda “Lyuders chiziqlari” deb ataladi (5.7-rasm). Bu chiziqlar material yetarli darajada deformatsiyalanganida material zarralarining o’zaro harakatlanishi natijasida hosil bo’ladi.



**5.7-rasm. Oquvchanlik chegarasida chiziqlarning hosil bo’lishi.**

Oquvchanlikdan so’ng (C nuqtadan keyin) material yana cho’zilishga qarshilik ko’rsata boshlaydi va  $\Delta l$  ni uzaytirish uchun kuchni oshirishga to’g’ri keladi. Diagrammaning D nuqtasida kuchlanish eng katta qiymatga erishib, bu material ko’tara oladigan eng katta mustahkamlik chegarasidagi kuchlanishni ifodalaydi. Bu vaqtdan boshlab namuna o’zini boshqacha tuta boshlaydi. Shu davrgacha cho’zilishda butun sterjen qatnashib, uni uzunligining har bir bo’lagi taxminan bir xil uzayib, ko’ndalang o’lchamlari ham bir xil qisqargan edi.

Yuklanishning qiymati D nuqtadagi qiymatga yetgan vaqtdan boshlab, deformatsiya asosan namunaning bir joyiga yig’iladi, ya’ni shu joy atrofidagi kichkina bo’lakka katta kuchlanish ta’sir qiladi. Bu holat o’sha joydagi ko’ndalang kesimning torayishiga olib kelib, “bo’yin” deb ataluvchi qism paydo bo’ladi.



**5.8-rasm. Mustahkamlik chegarasidan so’ng namunada bo’yinchaning hosil bo’lishi.**

Bu holda namuna deformatsiyalanuvchi qismining kichrayishi hisobiga sterjenni cho'zish uchun tobora kamroq kuch talab etiladi va nihoyat namuna K nuqtada uziladi. Agar tajribani kuchlanish  $\sigma_{p.ch.}$  ga yetmasdan to'xtatib namunadan kuchni olib tashlasak, (ya'ni yuksizlantirsak) u holda yuksizlanish ham diagramma ham shu AO chizig'i bo'yicha orqaga qaytadi. Bu holda namunadan yuk olinganidan keyin deformatsiya batamom yo'q bo'lib ketib, sterjen o'zining oldingi holatiga qaytadi. Bu sterjenning faqat elastik deformatsiyalanganligini bildiradi.

Agar namuna diagrammaning C va D nuqtalar oralig'ida yotuvchi Z nuqtasida yuksizlantirilsa, u holda yuksizlantirish natijasida diagramma OA to'g'ri chiziqqa deyarli parallel bo'lgan ZO<sub>1</sub> to'g'ri chiziq bo'yicha orqaga qaytadi. Bu holda namuna boshlang'ich o'lchamlariga qaytmaydi, O<sub>1</sub>O<sub>2</sub> kesma elastik deformatsiyani, OO<sub>1</sub> kesma qoldiq deformatsiyani, OO<sub>2</sub> to'liq deformatsiyani ifodalaydi. Shunday OA<sub>1</sub> yuklanishni topish mumkinki, bunda namuna faqat elastic deformatsiyalanib, odatda diagrammaning A<sub>1</sub> nuqtasi A nuqtadan sal yuqoriroqda yotadi. Elastiklik chegarasida, ya'ni  $\sigma_e$  da deformatsiya  $\varepsilon \approx 0,001-0,03\%$  ni tashkil qilishi mumkin.

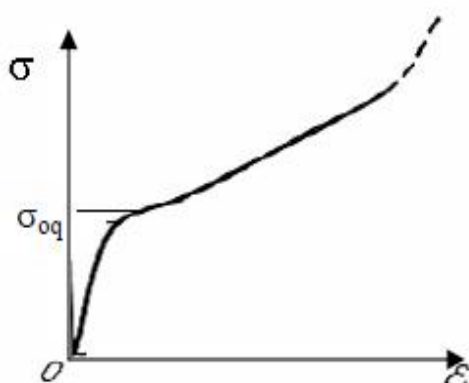
Odatda A va A<sub>1</sub> nuqtalar shu darajada bir-biriga yaqin bo'ladiki, elastiklik chegarasi  $\sigma_e$  bilan proporsionallik chegarasi  $\sigma_{p.ch.}$  ko'p hollarda ustma-ust tushishi ham mumkin. Shuning uchun material elastiklik chegarasigacha Guk qonuniga bo'ysunadi deb hisoblanadi. Haqiqatda esa proporsionallik chegarasigacha material Guk qonuniga  $\sigma = E \cdot \varepsilon$  bo'ysunadi deyish to'g'riroq bo'ladi.

Namuna uchun cho'zuvchi kuchning eng katta qiymati OD ordinataga to'g'ri keladi, shuning uchun ko'p hollarda bu kuch buzuvchi yuklanish ham deb ataladi, chunki u buzilishning boshlanishiga sababchi bo'ladi, to'la buzilish esa diagrammadagi yuklanish K nuqtaga yetganda hosil bo'ladi. Eng katta yuklanish hosil qilgan D nuqtadagi kuchlanish mustahkamlik chegarasidagi kuchlanish ( $\sigma_{m.ch.}$ ) yoki vaqtinchalik qarshilik ko'rsatuvchi kuchlanish  $\sigma_v$  deb ataladi. Kam uglerodli po'lat uchun  $\sigma_{m.ch.} \approx 4000 \text{ kg/sm}^2$  ga teng bo'lishi mumkin.

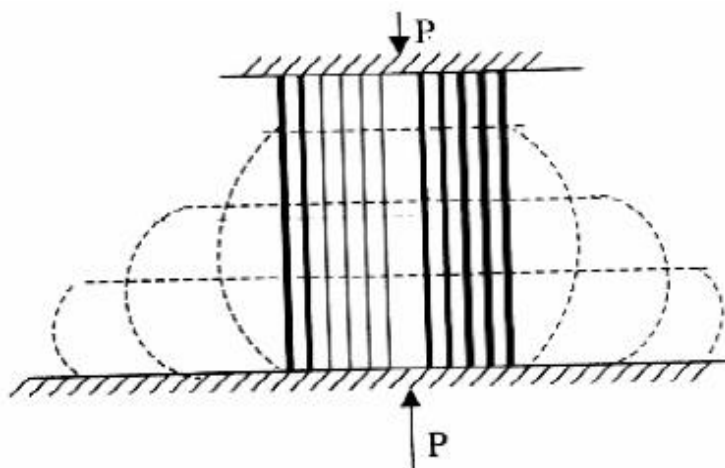
Ba'zi-bir materiallar uchun oqish chegarasidagi  $\sigma_{oq}$  va mustahkamlik chegarasidagi  $\sigma_{m.ch.}$  kuchlanishlarning eng katta qiymatlari.

Materialning nomi	Markasi	Kuchlanishlar	
		$\sigma_{oq}$ kgk/sm <sup>2</sup>	$\sigma_{m.ch.}$ kgk/sm <sup>2</sup>
Uglerodli po'lat	St.3	2400	3800–4700
	St.6	3100	6000–7200
Xromli po'lat	20X	6500	8000
Xrom-kremmiy marganesli po'lat	35XGSA	14000	16500
Dyuralyuminiy	D16	3300	4500–5000
Titan qotishmasi	VT4	7000–8000	8000–9000

5.9-rasmda plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi  $\sigma \sim \varepsilon$  keltirilgan. Plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi  $\sigma \sim \varepsilon$  ning cho'zilishdagi diagrammadan (5.5-rasm) farqi vaqtinchalik qarshilik ko'rsatish nuqtasining bo'lmasligidadir. Bu holda namunaning siqilishdagi deformatsiyasi 5.10-rasmda ko'rsatilgan.



**5.9-rasm. Plastik material uchun siqilish diagrammasi**



**5.10-rasm. Namunaning deformatsiyalanishi.**

Ko'ndalang kesim yuzasining kattalashib borishi evaziga plastik materiallarda namunani deyarli buzib bo'lmaydi. Ammo kuchlanishning noldan  $\sigma_{oq}$



gacha bo'lgan qiymatlarida plastik materiallarning siqilish va cho'zilish diagrammalari bir xil bo'ladi.

Bunday materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishning qiymati quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi:

$$\left[ \sigma = \frac{\sigma_{oq}}{n_1} \right] \quad (5.8)$$

( $n_1$  – ehtiyotlik koeffitsienti).

Mo'rt materiallar uchun  $\sigma \sim \varepsilon$  diagrammasi D nuqtada tugovchi to'g'ri chiziqdan iborat bo'lib, bu nuqtadagi kuchlanishning qiymati  $\sigma_v$  deb belgilanib, u vaqtinchalik qarshilik ko'rsatuvchi kuchlanish deb ataladi. Mo'rt materiallarning siqilish va cho'zilishdagi diagrammalarining xarakteri bir xil bo'ladi, lekin  $\sigma_v$  ning qiymati siqilishda cho'zilishga nisbatan ancha katta bo'ladi (5.2-jadval).

### 5.2-jadval.

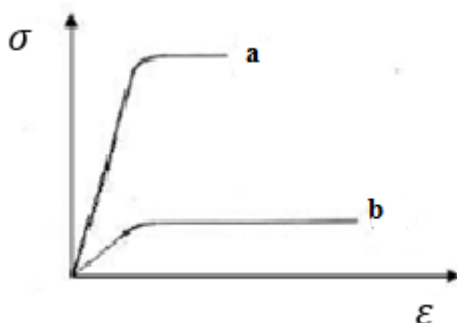
#### Turli materiallarning cho'zilish va siqilishda mustahkamlik chegaralari (kg/sm<sup>2</sup>) da

Materialning nomi	Cho'zilishda $\sigma_{m.ch.}$	Siqilishda $\sigma_v$
Oddiy kulrang cho'yan	1400 ... 1800	6000... 10000
Mayda zarrali kulrang cho'yan	2100 ... 2500	14000 gacha
Oq cho'yan	–	17500 gacha
Bakelit	200 ... 300	800 ... 1000
Tekstolit	500 ... 1000	1500 ... 2500
Getinaks	800 ... 1000	2400 ... 3400
Qattiq polivinilxlorid (PVX, viniplast)	400 ... 500	800 ... 1000
Fenoplast FKPM–15	200 ... 250	1200 ... 1500
Granit, diabaz gneys, kvarsit	30 ... 50	1200 ... 2600
Qum tosh	20	400 ... 1500
G'isht	–	75 ... 300
Beton	–	50 ... 350
Muz 0 dan -30 <sup>0</sup> va undan past: chuchuk suv	–	4.5 ... 15
1 – 2% tuzli suv	–	4 ... 13,5
3 – 6% tuzli suv	–	3 ... 10,5

Mo'rt materiallarning haqiqiy  $\sigma \sim \varepsilon$  diagrammasida kuchlanish va deformatsiya o'rtasida to'g'ri proporsionallik bog'lanish mavjud bo'lmasdan, u egri chiziqqa yaqin chiziqdan tashkil topgan bo'ladi.

Shunday qilib, ushbu materiallar uchun elastiklik moduli  $E$  siqilish va cho'zilishda bir-biridan farq qiluvchi o'zgaruvchan kattalik bo'ladi. Lekin amaldagi kuchlanishning o'zgarish chegarasida bu holat hisobga olinmay elastiklik modulini o'zgarmas deb, kuchlanish bilan deformatsiya o'rtasidagi bog'lanishni chiziqli deb olish mumkin.

“Stekloplastik” materiallar mo'rt materiallar bo'lsa ham ular tolalari bo'yicha tekshirilganda haqiqiy  $\sigma \sim \varepsilon$  diagrammasi ideallashtirilgan diagrammalar bilan ustma-ust tushadi. Xvoyli daraxt uchun 5.11-rasmda keltirilgan diagrammada materialning anizotroplik xususiyati yaqqol ko'zga tashlanadi: a – tola bo'yicha siqilganda, b – ko'ndalang siqilganda



**5.11-rasm. Xvoyli daraxt uchun siqilishda ideallashtirilgan diagramma:**

**a) tola bo'yicha siqilganda; b) tolaga ko'ndalang siqilganda.**

Quruq qarag'ay yog'ochi uchun tola bo'ylab siqilishdagi proporsionallik chegarasi o'rtacha  $\sigma_{p.ch.} = 350-400 \text{ kg/sm}^2$ , elastiklik moduli  $E=1,1 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$  ni tashkil etadi. Tolalarga ko'ndalang siqishda proporsionallik chegarasi taxminan  $\sigma_{p.ch.}=50 \text{ kg/sm}^2$  ni, elastiklik moduli  $E=5000 \text{ kg/sm}^2$  ni tashkil etadi. Bu materialni tolalari bo'ylab cho'zilishdagi proporsionallik chegarasi, siqilishdagiga nisbatan taxminan ikki marta katta. Cho'zilishdagi elastiklik moduli siqilishga nisbatan ancha katta, ammo hisoblash ishlarida qarag'ay yog'ochining siqilishdagi xarakteristikalarini olinadi.

5.11-rasmdan ko'rinib turibdiki, tolalari bo'ylab siqilish diagrammasi  $\sigma \sim \varepsilon$  mo'rt materiallarga xos, tolalarga ko'ndalang siqilish diagrammasi  $\sigma \sim \varepsilon$  esa plastik materiallarga xosdir. Tolasimon tuzilishga ega qurilish materiali bo'lgan daraxtlarda cho'zilishdagi mustahkamlik siqilishdagiga qaraganda ancha kattaroq bo'ladi.

**Destruksiya** (lot. Destruction-parchalanish) — makromolekulalardagi kimyoviy bog'larning uzilishi natijasida ularning polimerlanish darajasi yoki molekulyar massasining kamayishi bilan kechadigan jarayonlarning umumiy nomi. Kimyoviy bog'larning uzilish joyiga qarab destruksiya asosiy va yon zanjirlar destruksiyasiga bo'linadi. Destruksiya tashqi ta'sirlar (issiqlik, ionlashtiruvchi radiatsiya, mexanik kuchlanish, yorug'lik, oksidlovchi muhit, namlik va b.) sabab bo'ladi.

Ko'p hollarda destruksiya bir vaqtda bir nechta tashqi ta'sir (mas, issiqlik va kislorodli muhit - termooksidlovchi destruksiya) natijasida ro'y beradi. Destruksiya jarayonida polimerlarning xossalari o'zgaradi, ular asosida tayyorlangan mahsulotlar buziladi. Shu sababli polimerlarni stabillashtirishning turli usullari ishlab chiqilgan. Ba'zi hollarda destruksiya jarayoni foydali hisoblanadi. Masalan, polivinilatsetatni ishqoriy gidrolizga uchratib polivinil spirt, selluloza va kraxmalni gidrolitik destruksiyadan foydalanib turli qandlar olinadi. Destruksiya polimerlarning kimyoviy tuzilishini aniqlashda ham qo'llaniladi.

Polimerlar destruksiyasi va uning turlari: Polimer moddalar uzoq vaqt ishlatilishi, qayta ishlash va kimyoviy o'zgarishlar vaqtida turli o'zgarishlarga uchraydi. Bunday o'zgarishlar natijasida makromolekulaning kimyoviy tarkibi deyarli o'zgarmaydi. Makromolekuladagi asosiy bog'lar uzilib, molekulyar og'irligi kamayadi, bunday o'zgarishlarni destruksiya deyiladi.

Destruktiv jarayonlar aksariyat vaqtda zararli bo'lib, unga qarshi kurash olib boriladi. Ammo ayrim xollarda destruktiv jarayonlar muhim axamiyat kasb etadi.

Destruksiya qanday ta'sirlar natijasida sodir bo'layotganiga qarab, quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Kimyoviy destruksiya – suv, kislota, tuz, kislorod, peroksid va boshqalar;
2. Fizikaviy destruksiya – issiqlik, yorug'lik, radiatsiya, ultratovush;
3. Biologik destruksiya – chirish va hokazolar.

Yuqoridagi faktorlar ko'pincha birgalikda kompleks ta'sir etadi. Geterozanjirli makromolekulalarda boradigan destruktiv jarayonlar ancha yaxshi o'rganilgan. Odatda bunday zanjirda yuqoridagi faktorlar ta'sirida zanjir uglerod-geteratom bog'i bo'yicha uziladi va natijada monomer xosil bo'ladi. Bunday reaksiyalar mos ravishda gedromeralkogoliz, atsidoliz va hokazolar deb yuritiladi. Karbozanjirli polimerlar kimyoviy destruksiyasi ancha chidamli, ammo fizik va biologik destruksiyaga geterozanjirli polimerlardagidan ko'p uchraydi. X/x va q/x da polimer moddalardan tobora ko'proq foydalanayotgan hozirgi vaqtda polimerlar destruksiyasini o'rganish va unga qarshi kurashish choralarini ishlab chiqish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

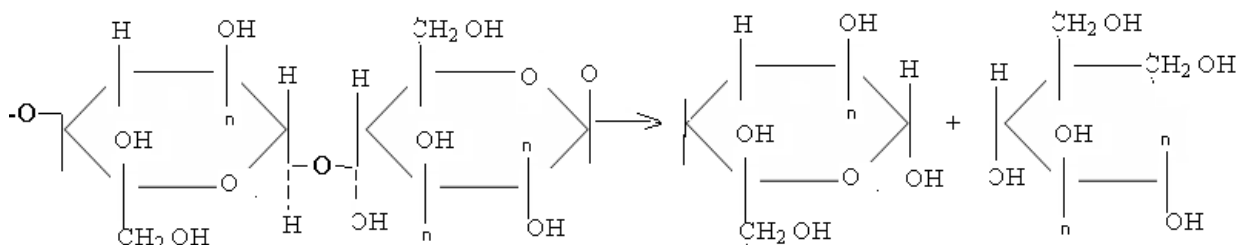
Odatda bu vazifani hal etishda mexanik, fizik-kimyoviy va kimyoviy usullardan foydalaniladi.

***Kimyoviy destruksiya.*** Polimerlarning kimyoviy destruksiyasi odatda katalizator ishtirokida turli muhitda sodir bo'ladi. Agar muhit sifatlaridan foydalanilsa gidroliz, spirtli muhitda olib borilsa alkogoliz, kislotali muhitda borsa atsidoliz deb ataladi.

Tabiiy yuqorimolekulyar birikmalarni destruksiyasi yordamida qimmatbaho quyimolekulyar birikmalar oligosaxaridlar va monosaxaridlar olinadi. Bu jarayonlar vodorod yoki gidroksil ioni ta'sirida tezlashadi, shuning uchun katalizator sifatida kislota, ishqor va tuzlardan foydalaniladi.

O'simliklar tarkibida odatda sellyuloza bilan bir qatorda pentozol, silan va araban kabi polisaxaridlar ham uchraydi. Sellyuloza to'la gidrolizlanmasa,

glyukoza va ksilandan besh atomli spirtlar, ksilozadan furfurol va boshqalar hosil bo'ladi. Polisaxariddagi atsetal bog'larning gidrometik uzilish reaksiyasi vaqtida glyukozid bog' uzilib, natijada birinchi uglerod atomida aldegid va to'rtinchi uglerod atomida gidroksil gruppaga xosil bo'ladi:



**5.12-rasm. Birinchi uglerod atomida aldegid va to'rtinchi uglerod atomida gidroksil gruppaga.**

**Oksidlanish destruksiyasi.** Polimerlar ham quyimolekulyar birikmalar singari kislorod azon va boshqa oksidlovchilar ta'sirida oksidlanadi. Bunda kimyoviy destruksiyadan farq qilib, polimer asosiy zanjirining uzilishi bilan bir qatorda funksional gruppalar ham oksidlanadi. Shuning uchun oksidlanish reaksiyasini boshqarish qiyin. O<sub>3</sub> ta'sirida polimer tarkibidagi qo'sh bog' miqdori aniqlanadi.

Polimerlarni oksidlanishi erkin radikallar ishtirokida boruvchi zanjirsimon jarayondir. Shunga asoslanib erkin radikallar hosil qilish qobiliyati yuqori bo'lgan moddalar qo'shib bu jarayonni tezlatish, erkin radikallarni yutuvchi moddalar qo'shib destruksiyani to'xtatish yoki sekinlatish mumkin. Ammo vaqt o'tib, sarflanib bo'lgach destruksiya boshlanadi. Oksidlanish destruksiyasi uch bosqichdan iborat – aktiv markazni hosil bo'lishi, zanjirni o'sishi va uzilishi. Aktiv markazlar asosan peroksid birikmalarni parchalanish xisobiga boradi.

**Fizik destruksiya.** Polimerlar faqatgina oksidlovchilar, kislotalar, ishqorlar ta'sirida emas, balki turli fizik faktorlar ta'sirida xam destruksiyaga uchraydi. Yorug'lik, radiatsiya, mexanik, issiqlik va ultrotovush energiyalari kabi fizik energiya xam makromolekulalardan quyimolekulyar ham foydali, ham zararli

bo'lishi mumkin. Polimerlarning olinishi, qayta ishlanishi va ekspluatatsiyada fizik destruksiya albatta maqsadga muvofiq emas. Polimerlarning fizik destruksiyasi amalda polimer birikmalarining tuzilishini tekshirishda va ayniqsa turli polimerlarni qayta ishlashda qo'llaniladi. Keyingi vaqtlarda mexanik destruksiya selluloza materiallarini qayta ishlashda qo'llanilmoqda. Bunda sellulozaning molekulyar og'irligi ma'lum darajagacha kamayadi va uning zich uchastkalari buziladi. Natijada sellulozaning eterefikatsiyasi, gidroliz reaksiyalariga qobiliyati ortadi.

Polimerlarning fizik destruksiyasi payvand va blok sopolimerlar sintez qilishda qo'llanilmoqda. Makromolekulaning - "kreking"igida hosil bo'lgan makroradikallar bilan boshqa monomer yoki polimerning o'zaro ta'sirlashuvi natijasida payvand va blok sopolimer hosil bo'ladi.

Polimerlarning fizik destruksiyasi uch bosqichdan iborat zanjirsimon jarayondir. Birinchi bosqichda aktiv markazlar hosil bo'ladi, ikkinchi bosqichda zanjir o'sadi va uchinchi bosqichda uziladi. Polimerlarning fizik destruksiyasini o'rganish va uning oldini olishni bilish, sintez sharoitlari to'g'ri tanlashga hamda polimer materiallarini qayta ishlash va undan to'g'ri foydalanish yo'llarini topishga imkon beradi.

## **5.2.Uzish mashinalari, zarbali qovushoqlik, qovushoq parchalanish, mexanik anizotropiyani aniqlash usullari.**

***Qovushoq-oquvchan holati.*** Qovushoq-oquvchan holat yuqori molekulyar moddalar uchun asosiy fizikaviy holatlardan biri hisoblanadi. Bu holat polimerlarda mexanik kuch ta'siri ostida qaytmas deformatsiyaning, ya'ni oqish hodisasining kuzatilishi bilan xarakterlanadi.

Oqish - bu makromolekulalarning issiqlik harakati tufayli bir-biriga nisbatan fazoda geometrik siljish jarayonidir. Qovushoq-oquvchanlik deganda kristallanadigan polimerlarning suyuqlanmalari, qovushoq-oquvchanlik haroratidan yuqori holatda bo'lgan amorf polimerlar suyuqlanmasini, shuningdek

polimer eritmalari va dispersiyalarining oqishini tasavvur qilishimiz kerak. Polimerlarning qovushoq-oquvchan holatdagi, reologik xossalarini shu polimerning kimyoviy tarkibi va strukturasi bilan bog'liq ekanligini nazarda tutib o'rganish polimerlarni fizik-kimyosi kursining, shuningdek, hozirgi zamon fan va texnika taraqqiyotining dolzarb mavzularidan biri hisoblanadi. Chunki, ko'pgina polimerlarning qayta ishlash jarayonlari ularning qovushoq-oquvchan holatida amalga oshiriladi. Oquvchan jismlarning eng asosiy xarakterlovchisi uning qovushoqligidir.

Odatda quyi molekulyar suyuqliklarni Nyuton suyuqliklari deyiladi. Bunday suyuqliklarni siljish tezligi tashqi kuch ta'siriga to'g'ri proporsional bo'ladi. Oqayotgan suyuqlikning qovushoqligi esa, deformatsiya sharoitiga bog'liq bo'lmay, doimiy bir xildaligicha qoladi. Polimerlar esa qovushoq-oquvchan holatda Nyuton qonuniga bo'ysunadi. Bunda qovushoqlikning anomal effekti kuzatiladi, yoki boshqacha aytganda oqish jarayonida polimer suyuqlanmalari va eritmalarining qovushoqligi doimiy bo'lmasdan siljish tezligi oshishi bilan kamayadi.

Qovushoqlikning bunday anomalligi polimerlarning oquvchan holatini asosiy xususiyatlaridan biridir. Umuman olganda polimer suyuqlanmalarining qovushoqligi ularning oqish sharoitiga qarab 1000 martagacha kamayishi mumkin. Polimerlarda molekulyar massaning taqsimlanishi qovushoqlikning anomalligiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Polimerni polidispersligi qanchalik yuqori bo'lsa, qovushoqlik oqish jarayonida shinchalik ko'p kamayadi. Monodispers polimerlarda qovushoqlikning anomal effekti kuzatilmaydi. Ularning suyuqlanmalarining oqishi Nyuton suyuqliklaridek bo'ladi.

Qovushoqlikning anomal effekti molekulyar massasi kichik bo'lgan polimerlarda kuzatilmaslari mumkin. Masalan, quyidagi polimerlarda qovushoqlikning anomal effekti sodir bo'lishi uchun ularning molekulyar massasi polietilenda  $9 \cdot 10^3$ , polistirolda taxminan  $4 \cdot 10^4$ , poliizobotilenda  $1,7 \cdot 10^4$ , polimetilmetakrilatda  $4 \cdot 10^5$ , tabiiy kauchukda esa  $5 \cdot 10^5$  u.b.dan katta bo'lishi

kerak. Aks holda bu polimerlarda anomal effekt sodir bo'lmaydi. Polimerlarning plastik deformatsiya davrida harorat qovushoqlikka turlicha ta'sir etadi. Agar polimer suyuqlanmasining harorati  $T$  ( $T_{sh} - 120^0$ ) bo'lsa, u holda qovushoqlik quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\mu = Ae^{E_{akt}/RT} \quad (5.9)$$

bunda  $A$ -konstanta;

$E_{akt}$ -qovushoq oquvchanlikning faollanish energiyasi;

$R$ -universal gaz doimiyliigi.

Biror polimer gomologik qator uchun bug'lanish issiqligi orqali qovushoq-oquvchanlikning faollik energiyasi aniqlangan bo'lsa, keltirilgan tenglik shu gomologik qatorning dastlabki a'zolari uchungina to'g'ri keladi. Polimerlanish darajasi ortib borishi bilan tenglik buziladi va qovushoq-oquvchanlik faollik energiyasi bug'lanish issiqligining  $\frac{1}{4}$  qismidan ancha kichik bo'lib qoladi. Molekulyar massa kattalashgach, qovushoq-oquvchanlik faollik energiyasining polimerlanish darajasiga bog'liqligi kamayadi. Bu hol makromolekula oqishi jarayonida u bir joydan ikkinchi joyga ko'chmasligini, bunda harakatlarining juda ko'p marta takrorlanishi natijasida sodir bo'ladi.

Qovushoq-oquvchanlik faollanish energiyasi qiymati yordamida makromolekulaning biror segmenti harakatini aniqlash va shundan makromolekula-egiluvchanligi qiymatini topish mumkin. Ma'lumki, qovushoq-oquvchanlikning faollanish energiyasi qancha katta bo'lsa, segment shuncha katta va makromolekulasining zanjirli tuzilishi ham oqish vaqtida ro'y beradigan deformatsiyaga ta'sir qiladi. Polimer oqayotganda makromolekulalar to'g'rilanadi. Binobarin, oqish jarayonida vujudga keladigan xarakterli qaytar deformatsiya yuqori elastik deformatsiya bilan birga namoyon bo'ladi.

Polimerlarda kimyoviy oqish ham kuzatiladi. Polimer qovushoqligi juda katta bo'lganda oqish jarayonida makromolekulaning harakati qiyinlashadi.



Buning natijasida makromolekula mexanik kuchlanishga ega bo'lib qoladi. Mexanik kuchlanish ta'sirida esa makromolekuladagi ayrim kimyoviy bog'lar uzilib, radikallar hosil bo'lishi kuzatiladi. Hosil bo'lgan radikallar segmentlarga nisbatan kichik bo'ladi. Makroradikallar o'ta faol hamda harakatda bo'lgani sababli o'zaro birikib turli xil makromolekulalar hosil qila olishi mumkin. Bu jarayonlar polimerlarning kimyoviy oqishi mexanizmi orqali tushuntirila oladi.

Polimerlarning yuqorida aytib o'tilgan 2 oquvchan ko'rinishi bir vaqtda sodir bo'ladi, ammo ularning o'zaro nisbatlari bir xil emas. Bunday nisbat polimerning qayishqoqligiga bog'liq. Agar polimerda qovushoqlik nisbatan katta bo'lmasa, oqish vaqtida makromolekulada bog'lar uzilmaydi va demak, kimyoviy oqish sodir bo'lmaydi. Polimer qovushoqligining ortishi bilan ularda kimyoviy oqish ko'paya boradi. Bu esa ularning struktura tuzilishida qisman o'zgarishlarga olib keladi.

**Anizotropiya** (yun. anisos – bir xil bo'lmagan va tropos – yo'nalish) – modda fizik xossalarining har xil yo'nalish va kesimlarda har xil bo'lishi. Anizotropiya masalan, kristallarning qattqlik, issiqlik, optik, magnit, elektr va boshqa xossalari uchun xos. Disten, andaluzit, grafit kabi minerallarning qattqligi bo'ylamasiga bir xil bo'lsa, ko'ndalangiga boshqacha bo'ladi. Bir yoqlama bosim ta'sirida dastlabki tuzilishini o'zgartirib, har xil kesimda turlicha tuzilishni hosil qilgan, tarkibidagi minerallar ma'lum qonuniyatga bo'ysungan tog' jinslariga anizotropik tog' jinslari deyiladi. Anizotropiya hodisasi minerallarning optik xususiyatini o'rganishda katta ahamiyatga ega.

Anizotropiya - grekcha so'zdan olingan bo'lib, teng emas har xil xossali degan ma'noni bildiradi.

Real metallarning kristallanishi jarayonida metallarda turli qo'shimcha jismlar borligi tufayli metall atomlarining ba'zi uchastkalarida ularning batartib joylashishi buziladi. Buning asosiy sabablaridan biri shuki, ayrim atomlar energiyasi panjaraning o'rtacha energiya qiymatidan katta bo'lib, intensivroq

harakatlanib, bir joydan ikkinchi joyga, masalan, panjara uchlaridan oraliqqa yoki qo'shni atomlar o'rniga o'tadi. Bu esa fazoviy panjaradagi atomlarning batartib joylashuvining buzilishiga olib keladi. Natijada uning xossalari o'zgaradi.

Fazoviy kristall panjaradagi buzilishlar quyidagi xillarga ajratiladi:

1. Nuqtali buzilish: Kristall panjaradagi bo'sh joylarga qo'shni element atomlari joylashishi tufayli hosil bo'ladi.
2. Chiziqli buzilish: Bunday buzilish metallarga – termomehanik ishlov berishda yuzaga keladi. Bunga dislokatsiya deyiladi. Diskolatsiya - zarrachalari bloklarining o'zaro siljishi oqibatida paydo bo'ladi.
3. Sirtqi buzilish. Bu buzilish metall sirtida sodir bo'ladi.

## VI BOB. TERMIK XOSSALAR VA USULLAR.

### 6.1. Teplofizik jarayonlar va fazaviy o'tishlar.

Biz suyuq gazsimon holatlarning qattiq holatga o'tishi, ya'ni kristallanish va aksincha o'tish, erish va qaynashni bilamiz. Suyuqlikning bug'ga o'tishini - bug'lanishni va aksincha o'tish - kondensatsiyani ham bilamiz. Bu barcha fazaviy o'tishlarda jism yoki tegishli o'tishning yashirin issiqligi (erish isiqqligi, bug'lanish issiqligi va h.k) sifatida energiya ajratadi yoki energiya yutadi.

Energiyaning yoki energiya bilan bog'liq bo'lgan boshqa kattaliklar, masalan, zichlikning sakrashsimon o'zgarishi bilan boradigan fazaviy o'tishlar birinchi tur fazaviy o'tishlar deb ataladi. Birinchi tur fazaviy o'tishlar uchun modda xossalarining sakrashsimon, ya'ni juda qisqa temperaturalar intervalida o'zgarishi xarakterlidir. Binobarin, aniq o'tish temperaturasi yoki o'tish nuqtasi haqida, masalan, qaynash nuqtasi, erish nuqtasi va hokazo haqida gapirish mumkin. Fazaviy o'tishlar temperaturalari tashqi parametr -  $p$  bosimga bog'liq; berilgan temperaturada o'tish sodir bo'ladi. Fazaviy muvozanat chizig'i bizga ma'lum bo'lgan Klapeyron-Klauzius tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)} \quad (6.1)$$

bu yerda,  $L$  - o'tish molyar issiqligi,  $V_1$  va  $V_2$  har ikkala fazaning molyar hajmlari.

Birinchi tur fazaviy o'tishlarda yangi faza birato'la butun hajmda paydo bo'lmaydi. Dastlab yangi fazaning markazlari hosil bo'lib so'ngra ular o'sib butun hajmga tarqaladi. Markazlarning hosil bo'lish protsessi bilan suyuqlikning kondensatsiyasida duch kelgan edik. Kondensatsiya uchun chang zarralari, ionlar va hokazo ko'rinishida kondensatsiya markazlari bo'lishi zarur. Xuddi shuningdek, suyuqlikning qotishi uchun kristallanish markazlari bo'lishi zarur. Bunday markazlar bo'lmaganida bug' va suyuqlik o'ta sovigan holatda bo'lishi mumkin. Masalan,  $10^\circ\text{C}$  temperaturada ham, agar suv toza bo'lsa, uzoq muddat muzlamasligini kuzatish mumkin. Biroq shunday fazaviy o'tishlar ham bo'ladiki, ularda aylanish butun hajmda kristall panjaraning uzluksiz o'zgarishi, ya'ni panjarada zarralarning o'zaro qayta joylashishi natijasida darhol ro'y beradi. Bu

ma'lum temperaturada panjara simmetriyasining o'zgarishi, masalan, past simmetriyali panjaraning yuqori simmetriyali panjaraga aylanishiga olib kelishi mumkin. Bu temperaturada fazaviy o'tish ikkinchi tur fazaviy o'tish deb ataladi.

Ikkinchi tur fazaviy o'tish sodir bo'ladigan bu temperatura Kyuri nuqtasi deb ataladi. Bu birinchi marta ferromagnetiklarda ikkinchi tur fazaviy o'tishlarini kashf qilgan olim Per Kyuri sharafiga shunday deb atalgan. Holat bunday uzluksiz o'zgarganida o'tish nuqtasida ikki turli fazaning muvozanati bo'lmaydi, chunki o'tish butun hajmda birdaniga sodir bo'ladi. Shuning uchun o'tish nuqtasida U ichki energiyaning sakrashi ham ro'y bermaydi. Demak, bunday o'tishda o'tish yashirin issiqligining ajralishi ham ro'y bermaydi. Biroq o'tish nuqtasidan yuqori va past temperaturada modda turli kristall modifikatsiyali bo'lgani uchun ularning issiqlik sig'imi turlicha bo'ladi.

Demak, fazaviy o'tish nuqtasida issiqlik sig'imi, ya'ni ichki energiyadan vaqt bo'yicha olingan hosilasi  $\frac{dU}{dT}$  sakrashesimon o'zgaradi. Garchi o'tish nuqtasida hajmning o'zi o'zgarmasada, hajmiy kengayish koeffitsienti  $\frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$  sakrash bilan o'zgaradi.

Shunday ikkinchi tur fazaviy o'tishlar ham borki, ularda holatning uzluksiz o'zgarishi kristall strukturasi o'zgarishini bildirmaydi, biroq bu o'tishlarda holat birdaniga butun hajmda o'zgaradi. Bunday tur o'tishlarning eng mashhuri moddalarning ferromagnit holatdan ferromagnit bo'lmagan holatga o'tishidir, bunday o'tish Kyuri nuqtasi deb atalgan temperaturada sodir bo'ladi; ba'zi metallarning normal holatda o'ta o'tkazuvchan elektr qarshiligi yo'qoladi. Ikkala holda ham o'tish uzluksiz va birdaniga butun hajmda o'zgaradi. Suyuq geliyning Ne I holatdan Ne II holatga o'tishi ham ikkinchi tur o'tishga misol bo'ladi. Bu barcha hollarda o'tish nuqtasida issiqlik sig'imining sakrashi kuzatiladi. Shu munosabat bilan ikkinchi tur fazaviy o'tish temperaturasi ikkinchi nomga ega bo'lib, unga Kyuri nuqta deb ataladi. Fazaviy o'tishlarning qanday bo'lishini endi batafsilroq ko'raylik. Fazaviy aylanishlarda asosiy rolni fizikaviy kattaliklarning fluktuatsiyalari o'ynaydi.

**Fluktatsiyalar** - energiyaning, zichlikning va u bilan bog'liq bo'lgan boshqa kattaliklarning tasodifiy o'zgarishlari – hamma vaqt mavjud bo'ladi. Biroq fazaviy o'tishda uzoqroqda ular juda kichik hajmlarda yuzaga keladi va shu zahotiyoq yo'qolib ketadi. Moddaning bosimi va temperaturasi kritik qiymatlarga yaqin bo'lganida esa flukuatsiya bilan qamrab olingan hajmda yangi faza hosil bo'lishi mumkin. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o'tishlar orasidagi farq shundan iboratki, o'tish nuqtasi yaqinida flukuatsiyalar turlicha rivojlanishi mumkin.

Birinchi tur o'tishda yangi fazaning eski faza ichida markazlar tarzida yuzaga kelishini yuqorida gapirib o'tdik. Ularning paydo bo'lishiga sabab, energiya va zichlikning tasodifiy flukuatsiyalaridir. O'tish nuqtasiga yaqinlashgan sari yangi fazaga sabab bo'ladigan flukuatsiyalar tez-tez bo'lib turadi, garchi har bir flukuatsiya juda kichik hajmda ro'y bersa ham, ularning hammasi bir bo'lib, agar ularning hosil bo'lishi joylarida kondensatsiya markazi bo'lsa, yangi fazaning makroskopiya markazi paydo bo'lishiga sabab bo'lishi mumkin.

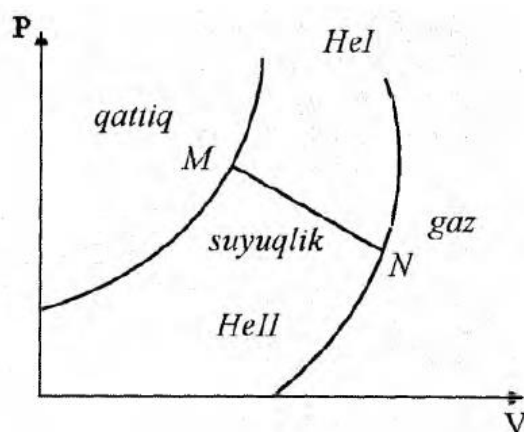
Ikkinchi tur fazaviy o'tishlar holida vaziyat ancha murakkabroq bo'ladi. Yangi faza birdaniga butun hajmda paydo bo'lgani sababli odatda mikroskopik flukuatsiyalar o'z-o'zicha fazaviy o'tishga olib kela olmaydi. Ularning xarakteri ancha o'zgaradi. Kritik temperaturaga yaqinlashgani sari yangi fazaga o'tishni "tayyorlayotgan" flukuatsiyalar tobora moddaning katta qismini qamrab oladi va nihoyat, o'tish nuqtasida cheksiz bo'lib qoladi, ya'ni butun hajmda ro'y beradi.

O'tish nuqtasidan pastda, yangi faza qaror topganidan so'ng, ular yana qaytadan so'na boshlaydi va yana asta-sekin qisqa ta'sirli hamda qisqa muddatli bo'lib qoladi. Ikkinchi tur fazaviy o'tishi hamma vaqt sistemaning simmetriyasi o'zgarishi bilan bog'liq bo'ladi: yangi fazada yo dastlab bo'lmagan tartib yuzaga keladi (masalan, ferromagnit holatga o'tishda alohida zarralarning magnit momenti tartibga tushadi), yo avval mavjud bo'lgan tartib o'zgaradi (kristall strukturaning o'zgarishi tufayli bo'ladigan o'tishlarda). Bunday yangi tartib fazaviy o'tish yaqinidagi flukuatsiyalarda mavjud bo'ladi.

Ikkinchi tur fazaviy o'tishlar juda murakkab va qiziq hodisa. Bevosita o'tish nuqtasi atrofida bo'layotgan hodisalar, jarayonlar hali oxirigacha o'rganilgan emas

va cheksiz fluktuatsiyalar sharoitida fizikaviy kattaliklarning tabiati haqidagi to'la manzara endigina yaratilmoqda.

**Qattiq geliy.** Barcha moddalar ichida geliyning mustasnoligi shundaki, u absolut nolga ham qotmaydigan yagona moddadir. Biz suyuq geliyning ikki modifikatsiyada ma'lum ekanini va bu modifikatsiyalar o'zlarining to'yingan bug'lari bosimi ostida bo'lganida 219 K da (NM-nuqta) bir-biriga o'tib turishini bilamiz. Bunday o'tish ikkinchi tur fazaviy o'tishdir. Xususan, He I - He II o'tishda o'tish yashirin issiqligi bo'lmaydi. Geliyning holat diagrammasi uning suyuq holatining yuqorida eslatib o'tilgan xususiyatlari munosabati bilan o'ziga xos ko'rinishga ega bo'lib, xiliga ko'ra yagonadir. Bu diagramma 6.1-rasmda tasvirlangan (bu rasmda masshtabga aniq rioya qilingan emas)



**6.1-rasm. Geliyning holat diagrammasi.**

1-egri chiziq bug' hosil bo'lish egri chizig'idir. 2-egri chiziq esa NM-nuqtalar chizig'idir. Bu chiziq He I-He II o'tishda bosim ortganida temperaturaning qanday o'zgarishini ko'rsatadi. Nihoyat 3-egri chiziq - erish egri chizig'idir. Bu barcha egri chiziqlar diagrammani to'rt qismga: gassimon geliyning mavjudlik sohasi, suyuq He I sohasi, suyuq He II va nihoyat geliy sohalariga bo'ladi. Diagrammadan suyuq He II ning sohasi absolut nolgacha borishi ko'rinib turibdi. Bu absolut nolga geliyning barqaror holati suyuq holat ekanini ko'rsatadi. Qattiq geliy esa, diagrammadan ko'rinib turganidek, faqat katta bosim ostida hosil qilinishi mumkin, hatto absolut nolga ham bu bosim 25 atm dan kam bo'lmasligi kerak. Bunda temperatura qancha yuqori bo'lsa, geliyning kristallanishi uchun shuncha katta bosim kerak bo'ladi. Masalan, 50 K da geliy 7000 atm da.

Erish egri chizig'i qattik geliyning suyuq He I (N-nuqtalar chizig'idan o'ngda) va suyuq He II (chiziqdan chapda) bilan muvozanat egri chizig'idir. Bug' hosil bo'lish egri chizig'i ham gazsimon geliyning bu chiziqdan chap va o'ng tomondagi suyuq geliyning mos fazalari bilan muvozanat egri chizig'idir. Biroq nuqtalar egri chizig'i har ikkala suyuq faza uchun muvozanat egri chizig'i bo'la olmaydi. Geliy holat diagrammasining eng qiziq xususiyati qattiq va gazsimon fazalar orasida muvozanat chizig'ini yo'qligidir. Bundan har qanday sharoitda ham qattiq geliy o'zining bug'lari bilan muvozanat bo'la olmaydi degan ma'no kelib chiqadi. Qattiq geliy ustida faqat suyuq He I va He II bo'lishi kerak, biroq gazsimon geliy bo'la olmaydi. Demak, geliy haydash mumkin bo'lmagan modda ekan.

Geliyning bu barcha xususiyatlari, jumladan uning absolut nolda ham suyuq holda qolishi, faqat kvant nazariyasi asosida tushuntirilishi mumkin; geliy kvant mexanikasi nazariyasidan kelib chiqadigan effektlar makroskopik xossalarda namoyon bo'ladigan tabiatdagi yagona moddadir.

Gap shundaki, kvant nazariyasiga, ko'ra, absolut nolda zarralarning energiyasi nolga teng emas, holbuki moddaning klassik kinetik nazariyasiga ko'ra u nolga teng. Absolut nolda zarralar nolinchilarga ega bo'ladi, bu energiya atomlarning massasi qancha kichik bo'lsa, shuncha kichik bo'ladi. Shuning uchun nolinchilarga ega bo'ladi. Ikkinchi tomondan, geliy atomlarining tuzilish xususiyatlariga ko'ra geliy atomlari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari (boshqa inert gazlardagi singari) juda kichik. Shuning uchun, atomlar orasidagi kichik o'zaro ta'sir kuchlarida nolinchilarga ega bo'ladi. Ikkinchi tomondan, geliy atomlarining muntazam tartibda joylashishiga, ya'ni kristall panjara hosil qilishiga to'sqinlik qilish uchun yetarli bo'ladi. Faqat tashqi bosim ta'siridagina atomlarni ular kristall hosil qiladigan darajada yaqinlashtirish mumkin bo'ladi.

Geliyning o'ziga xos xususiyati shundaki, past temperaturalarda uning tabiatini issiqlik harakatlari energiyasi emas, balki nolinchilarga ega bo'ladi. Vodorod atomining massasi yana ham kichik bo'lgani uchun unda nolinchilarga ega bo'ladi. Faqat tashqi bosim ta'siridagina atomlarni ular kristall hosil qiladigan darajada yaqinlashtirish mumkin bo'ladi.

atomlarining nolinchisi energiyasi geliydan katta. Biroq hozirgina ko'rganimizdek, nolinchisi energiya bilan zarralarning o'zaro ta'sir energiyasi orasidagi nisbat hal qiluvchi rol o'ynaydi. Zarralarning o'zaro ta'sir energiyasi esa vodorod atomlarida geliy atomlaridan ko'ra ko'proq bo'ladi. Miqdoriy baholash shuni ko'rsatadiki, qattiq vodorodda nolinchisi energiya to'la energiyaning yarmiga teng, geliy da esa uning ulushi 80 % ga yetadi. Geliyning suyulish temperaturasi past bo'lishi va odatdagi sharoitlarda uning kristallanmasligining sababi shu hol bilan tushuntiriladi. Nolinchisi energiya geliyning yengil  $^3\text{He}$  izotopida yana ham katta rol o'ynaydi. Unda nolinchisi energiya to'la energiyaning 95% ini tashkil qiladi. Shuning uchun  $^3\text{He}$  ning suyulish temperaturasi (normal bosimda) yana past bo'ladi (u 3,2 K ga teng, odatdagi geliyda esa 4,2 K ga teng zid).  $^3\text{He}$  ning kristallanishi uchun  $^4\text{He}$  ga qaraganda yana ham katta bosim kerak bo'ladi, absolut nolga bu bosim 29 atm. dan ortiq bo'ladi.

## **6.2. Derivatografiya - termik tahlil. Termik suyuqlanish va oquvchanlik.**

*Termografiya usulini qo'llash.* Moddadagi kimyoviy va fizik o'zgarishlarning aksariyati issiqlikni singdirish yoki chiqarish bilan, ya'ni aniq va maxsus qurilmalar tomonidan aniqlangan va qayd etilgan endo - yoki ekzotermik issiqlik effektlari bilan sodir bo'ladi. Bundan kelib chiqadiki, agar modda chiziqli tezlikda qizdirilsa, ma'lum bir harorat oralig'ida issiqlik ta'sirini aniqlash mumkin, bu aslida ushbu usulning butun mohiyati.

Ushbu tahlil usulida moddaning belgilangan parametrlari termojuft yordamida o'lchanadigan harorat  $T$  (tajribaning mutlaq dizayni) yoki harorat farqi  $\Delta T$  (differentsial dizayn) hisoblanadi.

Qoida tariqasida, namunaning istalgan nuqtasida haroratni o'lchash, uni chiziqli isitish vaqtida vaqt funksiyasi sifatida mutlaq sxema bo'yicha amalga oshiriladi va termogramma olinadi.



Agar termal effektlarni o'lchash differensial sxema bo'yicha, ya'ni differensial issiqlik tahliliga (DTA) murojaat qilinsa, usulning sezgirligi sezilarli darajada oshadi. Bunday holda moddaning differensial issiqlik tahlilidan (DTA) foydalanib, xuddi shu uchlari bilan ulangan ikkita o'xshash termojuft yordamida termogramma yoziladi. Ularning kesishmalaridan biri standart bilan, ikkinchisi sinov moddasi bilan korpusga joylashtiriladi. Bunday holda termogramma magnitafonning lentasiga yozib qo'yiladi. Differensial termojuftda hosil bo'lgan termo-EMF lar bir-biriga yo'naltiriladi.

Termogrammadagi differensial yozuv vaqt o'qiga parallel ravishda nol chiziq deb nomlangan to'g'ri chiziq shaklida olinadi. Ushbu turdagi termogramma sinov haroratida qizdirish jarayonida harorat o'zgarishi sodir bo'lganligini anglatadi. Agar moddaning o'zgarishi termal ta'sir bilan birga kelgan bo'lsa, u holda differensial egri chiziqning nol chizig'idan yuqoriga siljishi ekzotermik jarayonga va pastga endotermik jarayonga to'g'ri keladi.

Termogram yozuvining ishonchliligi termojuftning sifatiga, isitish tezligiga, namunaning o'lchamiga va mos yozuvlar standartining sifatiga bog'liq. Chiziq va nol chiziq orasidagi tepalik maydoni namunaning entalpiyasining o'zgarishiga mutanosibdir. Bazalning siljishi namunaning issiqlik sig'imi o'zgarishi bilan bog'liq.

Birinchi turdagi o'tishlarda tor cho'qqilar paydo bo'ladi. Turli o'lchamdagi va mos keladigan tuzilmalar mavjudligi sababli polimerlarda jismoniy o'tish paytida past molekulyar og'irlikdagi birikmalarda shunga o'xshash o'tish paytida kuzatilganlarga qaraganda cho'qqilar kengroqdir.

Ikkinchi turdagi yoki oynali o'tish davrlarida egri shakllari keskin o'zgaradi. Issiqlik quvvatining oshishi tufayli namuna ko'p miqdordagi issiqlikni yutadi.

***Termogravimetrik usulni qo'llash (TG).*** Isitganda bir moddada sodir bo'ladigan jarayonlar uning massasining o'zgarishi bilan birga kechadi. Nozik termabalanslar yordamida massaning o'zgarishi bilan birga keladigan o'zgarishlarni ro'yxatdan o'tkazish mumkin.

Termogravimetriya usulining ma'nosi moddaning qizdirilganda uning massasini o'zgartirish orqali mutlaqo har qanday o'zgarishlarni o'rganishdir.

Termogravimetriya quyidagilarga bo'linadi:

- a) izotermik;
- b) doimiy ravishda qayd etiladigan dinamik;
- c) kvazistatik yoki bosqichli.

Termogramma yoki TG egri - bu massa o'zgarishining uning haroratiga bog'liqligi egri chizig'i bo'lib, u tajriba yo'li bilan olinadi. Termogravimetrik egri chizig'idagi ikkita harorat, agar u bir bosqichda davom etsa, har qanday parchalanish reaksiyasini tavsiflashi mumkin.  $T_n$  yoki kuzatilgan boshlang'ich harorat - bu termogravimetrik egri chiziq nol gorizonttal chiziqdan chetga chiqadigan va moddaning og'irligi o'zgarishi boshlanadigan harorat. Moddaning vaznining to'liq pasayishi reaksiya tugashiga to'g'ri keladigan maksimal qiymatga yetgan haroratga oxirgi harorat  $T_k$  deyiladi. Isitish tezligi, ro'yxatga olish moslamasining sezgirligi, namuna joylashtiriladigan muhit, namunadagi zarrachalar hajmi va vazni, namunada adsorblangan gazlar mavjudligi va zarrachalarning o'rash zichligi - bularning barchasi natijalar aniqligi va namunaning o'ziga xos xususiyatlariga ta'sir qiladi. Dastlabki va oxirgi haroratlar, moddaning isitish tezligi oshishi sharti bilan yuqori mintaqaga o'tadi. Xuddi shu moddaning tez isishi bilan har qanday harorat oralig'ida sekinroq bo'lishidan pastroq bo'ladi.

***Tug'ma termografiya (DTG) usulini qo'llash.*** DTG egri chizig'i vaqt o'tishi bilan moddaning og'irligini o'zgarishini TG egri chizig'ining chuqur miqdoriy xarakteristikasi uchun qayd etadi. Qo'shimcha ma'lumot DTG egri tomonidan berilgan, u vaqt o'tishi bilan moddaning massasi o'zgarishini qayd etadi va massa o'zgarishi egri chizig'ining birinchi hosilasi hisoblanadi. DTG egri chizig'i bir qator cho'qqilar bilan qayd etiladi, ularning pozitsiyasi TG egri pog'onalari bilan harorat shkalasiga to'g'ri keladi. DTG egri chizig'ini TG egri chizig'ini grafik ravishda farqlash orqali olish mumkin.

TG va DTG egri chiziqlarini matematik qayta ishlash natijasida moddaning konversiya jarayonining kinetik parametrlari -  $E_a$  faollashuv energiyasi va  $n$  reaksiya tartibi olinadi.

Metallga biror kuch ta'sir ettirilganda geometrik shaklini o'zgartirish deformatsiya deyiladi. Deformatsiya natijasida metallarning kristall panjarasi o'zgaradi. Panjara tugunchalaridagi atomlar o'z o'rnidan siljiydi. Normal temperaturada metallning deformatsiyasi uch bosqichdan: elastik va plastik deformatsiyalardan hamda yemirilishdan iborat bo'ladi.

Metallga ta'sir ettirilgan kuch olingandan keyin metall asli holiga (shakliga) qaytsa, ya'ni uning deformatsiyasi yo'qolsa, elastik deformatsiya deb ataladi. Masalan, po'lat prujina siqilsa, uning shakli o'zgaradi, yahni demormatsiyalanadi, bu prujina qo'yib yuborilsa, yani avvalgi vaziyatiga keladi, uning deformatsiyasi yo'qoladi. Ana shu deformatsiya elastik deformatsiya bo'ladi. Prujina siqilganda po'latning kristall panjarasi o'zgaradi, prujina qo'yib yuborilgandan keyin esa kristall panjara yana asli holiga keladi.

Metallning cho'zilishdagi elastik deformatsiyalanishi bilan kuchlanishi orasida chiziqli bog'lanish bo'ladi.

Bu bog'lanish matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi va proportsionallik qonuni, boshqacha qilib aytganda, Guk qonuni deyiladi.

$$\sigma = E\delta \quad (6.2)$$

Bu yerda  $\delta$ - normal kuchlanish;

$E$  - proportsionallik koeffitsienti;

$\sigma$  -deformatsiya (uzayish)

Proportsionallik koeffitsienti ( $E$ ) Yung moduli, boshqacha aytganda, elastiklik moduli deb ataladi va  $\alpha$  burkchakning tangensiga teng bo'ladi;

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = \text{tga} \quad (6.3)$$

Yung moduli metall kristall panjarasining turiga va parametiriga bog'liqdir. Binobarin, har xil metallar uchun Yung moduli turlicha bo'ladi. Metallning elastiklik xossasi ma'lum chegaragacha saqlanib qoladi, kuchlanish bu chegaradan

oshsa, metallning elastiklik xossasi yo'qoladi. Ana shu chegara elastiklik chegarasi deb ataladi.

Metallning elastiklik xossalari atomlararo ta'sir kuchlaridan kelib chiqadi, shuning uchun metall qizdirilganda elastiklik moduli pasayadi, chunki temperaturaning ko'tarilish natijasida metallning kristall panjarasidagi atomlararo masofa kattalashadi, binobarin, atomlarning o'zaro tortishuv kuchi zaiflashadi.

Metallga ta'sir ettirilgan kuch olingandan keyin metall asli holiga (shakliga) kelmasa, ya'ni unda qoldiq deformatsiya hosil bo'lsa, bunday deformatsiya plastik deformatsiya deyiladi. Metallda plastik deformatsiya shu metallga ta'sir ettirilgan nagruzka elastiklik chegarasidan ortgandagina vujudga keladi. Plastik deformatsiya, yuqorida aytib o'tilganidek, deformatsiyaning ikkinchi bosqichi, ya'ni elastik deformatsiyaning davomi bo'ladi.

Plastik deformatsiya jarayonida metallning deformatsiyaga qarshilik ortib boradi va plastik deformatsiyalanish xususiyati pasayadi. Elastik deformatsiya bilan plastik deformatsiya orasida chuqur fizikaviy farq bor. Metallning elastik deformatsiyalanishda, yuqorida aytib o'tilganidek, kristalll panjaradagi atomlar (ionlar) oralig'i o'zgaradi, ta'sir ettirilgan kuch olinganda esa atomlar (ionlar) oralig'i asliga keladi, natijada metallning bir qismi dastlabki holiga qaytadi, deformatsiya yo'qoladi. Plastik deformatsiya vaqtida esa kristallning bir qismi boshqa qismiga nisbatan siljiydi, ta'sir ettirilgan kuch olinganda kristallarning siljigan qismi avvalgi joyga qaytmaydi, ya'ni deformatsiya qoladi. Bundan tashqari plastik deformatsiya vaqtida donalar ichida mozayka bloklari maydalanadi, deformatsiya darajasi yuqori bo'lgan hollarda esa donalarning shakli va ularning fazada joylashuvi ham sezilarli darajada o'zgaradi, bunda donalar oralig'ida, ba'zan donalar ichida ham darzlar hosil bo'ladi.

Deformatsiyani o'lchash usuli qanchalik aniq bo'lsa, A nuqta shunchalik past turadi. Texnik o'lchashlarda namuna uzunligining yoki boshqa o'lchamining 0,2 protsentiga teng qoldiq deformatsiya hosil qiladigan kuchlanish xarakteristikasi qabul qilingan, bu xarakteristika *oquvchanlik chegarasi* deb ataladi va  $\sigma_0$  yoki  $\sigma_{0q}$  bilan belgilanadi.

Eng katta kuchlanish metallning sinish (ajralish) paytiga to'g'ri keladi. Bu xarakteristika, ko'pincha, sinishga ko'rsatiladigan qarshilik deb ataladi.

Metallar tashqi kuch ta'sir ostidagina emas, balki hajm o'zgarishlari bilan bog'liq bo'lgan faza o'zgarishlaridan vujudga kelgan ichki kuchlanishlar ta'siri ostida ham plastik deformatsiyalanadi.

Plastik deformatsiya protsessini tekshirishda metallning monokristallaridan foydalanish ancha qulay. Plastik deformatsiya protsessini tekshirish natijasida, bu protsessning sirpanishi bilan borishini aniqlanadi.

Deformatsiya kuchsizroq bo'lganda dastlab siljish yo'nalishiga nisbatan eng qulay joylashgan tekisliklardagi atomlar sirpana boshlaydi, deformatsiya kuchaya borgan sari boshqa tekisliklardagi atomlar ham sirpanadi. Shunday qilib, plastik deformatsiya protsessi butun monokristal bo'ylab birin-ketin tarqaladi.

Metallning silliqanib, so'ngra yaltillagan namunasini plastik deformatsiyalab, atomlarning sirpanish izlarini ko'rish mumkin: bu izlar sirpanish chiziqlari tarzda bo'ladi. Agar deformatsiya atomlarining ikkilanishi yo'li bilan borsa, metall namunasining mikroskopik tuzilishida ikkilangan plastinkalar paydo bo'ladi.

Rekristallanish temperaturasi (rekristallanishning eng kichik temperaturasi) har xil metallar uchun turlicha bo'ladi. Masalan, misning rekristallanish temperaturasi  $-270^{\circ}\text{C}$ , temirniki  $-450^{\circ}\text{C}$ , nikelniki  $-600^{\circ}\text{C}$ , alyuminiyniki  $-500^{\circ}\text{C}$ , volframniki  $-1200^{\circ}\text{C}$ , qalay, qo'rgoshin va oson suyuqlanuvchi boshqa metallarniki esa normal temperaturadan past bo'ladi. Rekristallanish temperaturasi bilan suyuqlanish temperaturasi orasida quyidagi boglanish bor:  $T_{\text{rek}} = aT_{\text{suyuq}}$ .

Bu yerda  $T_{\text{rek}}$  - rekristallanish absolyut temperaturasi;  $T_{\text{suyuq}}$  - suyuqlanish absolyut temperaturasi,  $a$  - metallning tozaligiga bog'liq koeffitsent.

Metall qanchalik toza bo'lsa, bu metallning rekristallanish temperaturasi shunchalik past bo'ladi. Odatdagi texnik tozalikdagi metallar uchun  $a=0,3/0,4$ . Qotishmalarning rekristallanish temperaturasi, odatda, toza metallarnikidan yuqori bo'ladi va ba'zi hollarda suyuqlanish temperaturasining 0,8 xissasiga tenglashadi ( $T_{\text{rek}} = 0,8 T_{\text{suyuq}}$ ), aksincha, juda toza metallarning rekristallanish temperaturasi

ancha past, ya'ni suyuqlanish temperaturasi 0,2 va, xatto, 0,1 ulushga teng bo'ladi. a koeffitsentdan foydalanib metall va qotishmalarning rekristallanish e hisoblab topish qiyin emas. Masalan, tarkibida 0,5% uglerod bo'lgan po'latning suyuqlanish temperaturasi taxminan 1500°C ga teng, uning rekristallanish temperaturasi  $T_{rek} = 0,8 * 1500 = 1200$  °C bo'ladi.

Rekristallanish temperaturasi deformatsiya darajasiga ham bog'liqdir: deformatsiya darajasi qanchalik katta bo'lsa, metallarning ichki tuzilishi shunchalik mayda, sturkturaning barqarorligi shunchalik kam bo'ladi va demak, barqarorroq holatni olish uchun shunchalik ko'p intiladi. Binobarin, deformatsiya darajasining katta bo'lishi rekristallanishni osonlashtiradi va rekristallanish temperaturasi pasaytiradi.

Rekristallanish temperaturasi amaliy ahamiyati g'oyat katta. Masalan, plastik deformatsiyalangan metallning deformatsiyadan oldingi strukturasi tiklash uchun bu metallni rekristallanish temperaturasidan yuqori temperaturagacha qizdirish kerak. Bu protses rekristallizatsion yumshatish deb ataladi.

Rekristallanish temperaturasidan yuqori tempraturalarda sodir bo'ladigan plastik deformatsiya natijasida metall kristall panjarasidagi atomlar siljisa va metall puxtalansada, ammo shu tempraturalarda bo'ladigan rekristallanish protsessi bu puxtalikni yo'qotadi.

Metallarga rekristallanish temperaturasidan yuqori temperaturada ishlov berish qizdirib bosim bilan ishlash deb, rekristallanish temperaturasidan past temperaturada ishlov berish esa sovuqlayin bosim bilan ishlash deb ataladi.

Metallarni bosim bilan ishlashda (bolg'alash, shtamplash va boshqalarda) rekristallanish temperaturasidan tashqari, deformatsiya, tezligini ham hisobga olish zarur. Deformatsiya tezligi kichik bo'lsa, rekristallanish minimal temperaturasidan yuqori barcha tempraturalarda metall rekristallanadi, deformatsiya tezligi katta bo'lganda esa rekristallanish oxiriga yetmay qolishi va ishlov berish vaqtida metallada bir qadar naklyop hosil bo'lishi mumkin. Temperaturaning ko'tarilishi bilan rekristallanish tezligi kuchli darajada ortadi.

Metallni qizdirib ishlashda uning palastikligini oshirish va puxtalanishiga yo'l qo'ymaslik uchun metall rekristallanish temperaturasidan ancha yuqori temperaturagacha qizdiriladi. Puxtаланган (naklyoplangan) metall yoki qotishmani yumshatishda ham rekristallanish temperaturasidan ancha yuqori temperaturadan foydalaniladi, bunday qilinganda rekristallanish protseslari yetarli darajada tez boradi.

### **6.3. Reometriya va termoreogrammalar.**

*Reologiya* (yun. rheos — oqish, oqim va... logiya) — moddalar (jismlar) ning oquvchanligi va deformatsiyalanishi bilan bog'liq jarayonlarni o'rganish b-n shug'ullanadigan fan. Reologiyada turli qovushqoq plastik materiallarning qaytmas qoldiq deformatsiyasi va oqishi bilan bog'liq jarayonlar hamda siljish (elastiklikning keyingi ta'siri va kuchlanish relaksatsiyasi) hodisalari ko'riladi. Reologiya iborasini ilk bor amerikalik olim Yu. Bingam kiritgan va rasman 1929-yilda qabul qilingan.

Reologiya muammolari texnikada turli ishchi jarayonlari texnologiyasini yaratishda har xil materiallar (metall, polimer, grunt, beton, oziqovqat mahsulotlari va b.)ga taalluqli loyihalash va konstruktorlik hisoblash ishlari va bilanda ko'p uchraydi.

Reologiyaning bir necha bo'limlari mavjud. Nazariy reologiya (fenemologik reologiya yoki makroreologiya) ni tutash muhitlar mexanikasining bir qismi deb qarash mumkin. U gidromexanika va deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasi orasidagi o'rinni egallaydi. Reologiya jismga ta'sir etuvchi mexanik kuchlanishlar bilan ular hosil qilgan deformatsiyalar orasidagi munosabatlarni va ularning vaqt bo'yicha o'zgarishlarini aniqlaydi. Tutash muhitlar mexanikasidagi materiallarni bir jinsli va tutash degan farazlarga binoan nazariy reologiyada qattiq, suyuq va boshqa jismlarning deformatsiyalanishi va oqishiga taalluqli turli chegaraviy masalalar yechiladi. Materiallarning reologik holatini ifodalash uchun

mexanik modellar tuzilib, ulardan polimerlarning mexanik xususiyatlarini, qattiq jismlardagi ichki ishqalanishni va real jismlarning boshqa xususiyatlarini o'rganishda foydalaniladi.

Eksperimental reologiya (reometriya) moddalarning turli reologik xususiyatlarini maxsus asboblari va sinash mashinalari yordamida o'rganadi. Mikroreologiya mikrohajmlar (dispers tizimlardagi dispers fazasi zarrachasi) dagi deformatsiya va oqish jarayonlarini o'rganadi.

**Bioreologiya** odam va hayvonlardagi har xil biologik suyuqlik (qon va b.) ning oqishi, turli to'qimalar (mushak, suyak, kon tomirlari) dagi deformatsiyalarni o'rganadi. Reologiya asosida I. Nyutonning qovushqoq suyuqliklar harakatiga qarshilik qonunlari, N. Stoks, J. Maksvell, U. Tomson va boshqalarning tadqiqotlari yotadi. Bu fanning rivojlanishiga o'zbek olimlari H. Rahmatullin, J. Fayzullayev (suyuqliklar reologiyasi), T. Rashidov, G'. Hojimetov (qattiq jism va gruntlar reologiyasi) va b. hissa qo'shishgan.



## VII BOB. ELEKTROFIZIK VA MAGNIT XOSSALAR TADQIQOTLARI.

### 7.1. O'tkazgichlar va yarimo'tkazgichlar tavsiflarini aniqlash usullari va asboblari.

*Yarimo'tkazgichlar fizikasining rivojlanish tarixi.* Bugungi kunda fan va texnika sohasida eng tez taraqqiyot qilayotgan fan — bu yarimo'tkazgichlar fizikasidir. Bunga sabab, yarimo'tkazgichli asboblarning inson faoliyatining barcha sohalarida — tibbiyotdan to kosmik tadqiqotlarga keng qo'llanishidir. Bunday tez taraqqiyotga yarimo'tkazgichli materiallarning fizik xossalarini uzoq va chuqur tekshirishlar olib keldi. 1900-yildan boshlab jahonning turli davlatlarining olimlari metall - yarimo'tkazgich uchun nuqtaviy kontaktini detektorlash-to'g'rilash xossalarini o'rgana boshladilar. Bunda asosan yarimo'tkazgich material sifatida kremniy karbidi, kremniy, tellurlar ishlatildi. 1922-yilda manfiy differensial qarshilikka ega bo'lgan kontaktlar aniqlandi va o'rganildi. Bular asosida qattiq jism elektr tebranishlari generatorlari yaratildi. 1937-yilda esa eksperimentlar asosida har xil turdagi yarimo'tkazgichlar chegarasida tokni to'g'rilash nazariyasi vujudga keldi. 1940-yilda esa bu nazariya ko'p sonli eksperimentlarda tasdiqlandi.

Shu davrdan boshlab, turli turdagi yarimo'tkazgich-yarimo'tkazgich kontaktidagi oraliq qatlamda bo'ladigan jarayonlar o'rganila boshlandi. Lekin qator eksperiment natijalari metall-yarimo'tkazgich kontaktidan o'tuvchi tok nazariyasiga mos emas edi. 1947-yilda yarimo'tkazgich yuzasida u boshqa yarimo'tkazgich va metall bilan kontaktda bo'lmagan holda ham, elektron holatlar mavjudligi haqidagi fikr ilgari surildi. Bu asosida ikkita yarimo'tkazgich kontaktidan tok o'tish mexanizmining nazariyasi vujudga keldi va u keng tarqalib, eksperiment natijalariga mos natijalarni berdi. Bu nazariya zamonaviy yarimo'tkazgichli to'g'rilagichli diodlarning ishlash mexanizmiga asos bo'ldi.

Turli turdagi ikki yarimo'tkazgich chegarasida katta elektr maydon bo'lgandagi jarayonlarni o'rganish p-n o'tishning teshilish nazariyasini vujudga kelishiga va bu asosda ishlovchi yarimo'tkazgichli asbob – slabilitronning

yaratilishiga olib keldi. Shu jumladan, ikkita yarimo'tkazgich kontaktini yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda qo'llash mumkinligi ko'rsatildi. Bu tamoyilda ishlab chiqilgan fotoelementlar yorug'lik signallarini qayd qilishda hamda fotoenergetikada qo'llanilmoqda. 1948-yilda qattiq jisimli yarimo'tkazgichli kuchaytirgich – tranzistor yaratildi. Bu asbobning ishlash asosini ikkita o'zaro yaqin joylashtirilgan p-n o'tishlarning o'zaro ta'siri tashkil etadi va tok o'tkazish jarayonida ikki ishorali zaryad tashuvchilar — elektron va kovaklar ishtirok etadi. 1950-yilga kelib nuqtaviy va yassi biquotbiy tranzistorlar kabi yarimo'tkazgichli asboblari yaratildi. Keyinchalik biquotbiy yarimo'tkazgichli tranzistorlarning kuchaytirish xususiyatlarini yaxshilash, ishchi chastota diapazonini kengaytirish hamda ish quvvatini oshirish borasida tadqiqotlar olib borildi. 50-yillarning oxirida o'zaro yaqin joylashtirilgan uchta p-n o'tishlarning o'zaro ta'siriga asoslangan yarimo'tkazgichli asbob — tranzistor ishlab chiqildi. Tranzistorlarning asosiy ishlatilish sohasi — bu kichik inersiyali quvvatli toklarni kommutatsiya qilishdir.

Yarimo'tkazgichlar yuzasida va yarimo'tkazgich-dielektrik faza chegarasidagi fizik jarayonlarni chuqur o'rganilishi uni polyar yoki maydonli tranzistorlarning yaratilishiga olib keldi. Bu tranzistorlarda zaryad tashuvchilar bir xil ishorali bo'lib, tranzistordan o'tuvchi tok kattaligi zatvorga qo'yiluvchi elektr maydon kuchlanganligiga bog'liq. Oxirgi bir necha o'n yillarda elektron texnikaga bo'lgan talab yarimo'tkazgichlarning funksional imkoniyatlarini oshirish va ularning o'lchamlarini kichraytirish — integral mikrosxemalarning yaratilishiga olib keldi. Keyingi tadqiqotlar esa nanoo'lchamdagi tranzistor strukturalarini yaratish imkonini tug'dirdi.

Yarimo'tkazgichli asboblari shunday katta tezlikda rivojlantirilmoqdaki, bugungi tasavvur va yutuqlar bir necha yildan so'ng eskirib qolmoqda. Shu sababli, yarimo'tkazgichli asboblarda ro'y beruvchi fizik jarayonlarni bilish muhim ahamiyatga egadir. Yarimo'tkazgichlar qo'llanmayotgan soha hozir topilmaydi.

***Yarimo'tkazgichlarning asosiy xossalari.*** Uzoq vaqtlargacha fizikada eng qiziqarli masala — bu mikroduyo va makrokosmosni tadqiq qilishdan iborat deb

hisoblanardi. Aynan shu sohalarda bizni qurshagan dunyoning tuzilishini izohlashga oid eng muhim fundamental savollarga javoblar topishga harakat qilindi. Mana endi tadqiqotlarning uchinchi fronti vujudga keldi — qattiq jismlarni o'rganishga kirishildi.

O'zlarining elektron xossalari bo'yicha qattiq jismlar metallarga, dielektrlarga va yarimo'tkazgichlarga ajraladi. Bundan tashqari, past temperaturalarda maxsus o'ta o'tkazuvchanlik holati mavjud bo'lib, bu holatda elektr tokiga qarshilik nolga teng bo'ladi.

Mikrozarralarning harakati kvant mexanika qonunlariga bo'ysunadi. Masalan, atomdagi bog'langan elektronlarda energiya faqat aniq kvantlangan qiymatlar olishi mumkin. Qattiq jismda bu energiya sathlari taqiqlangan energiya sohalari bilan ajralgan zonalarga uyushadi. Pauli prinsipiga ko'ra, elektronlar pastki sathda yig'ilib qolmay, turli energiya sathlarida joylashadi. Buning natijasida zonadagi barcha energiya sathlari to'ldirilishi mumkin. Bunday qattiq jism dielektrik bo'ladi. Bundagi elektron energiyasini faqat birdaniga eng oxirgi kattalikkacha (taqiqlangan soha kengligicha, yoki, odatda aytilishicha energiya tirqishigacha) o'zgartirish mumkin. Shuning uchun dielektrikdagi elektronlar elektr maydonida tezlasha olmaydi va nolinchida temperaturada (issiqlik uyg'otishlar bo'lmaganda) o'tkazuvchanlik nolga teng bo'ladi (qarshilik cheksizdir).

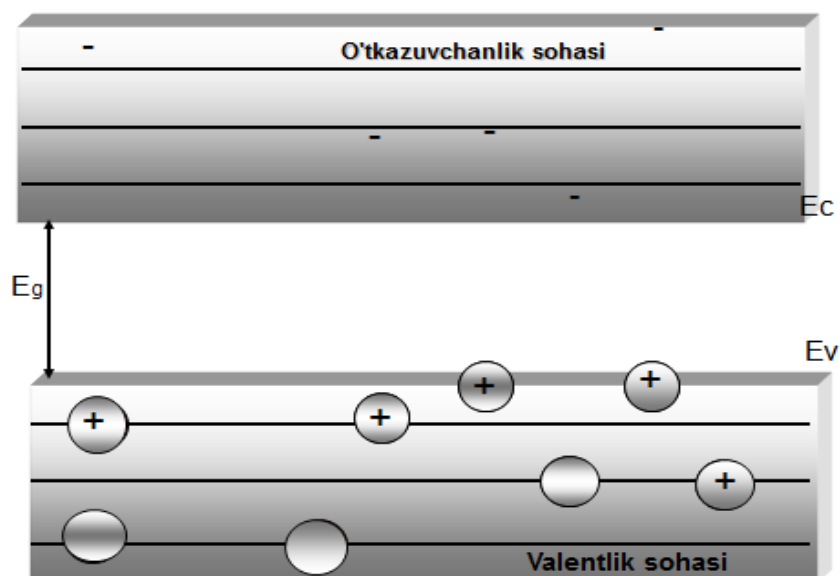
Metallarda, aksincha, energiyaning yuqorigi to'lgan sathi zona ichida yotadi, elektronlar energiyasi deyarli uzluksiz o'zgarishi mumkin va elektr maydon tok hosil qiladi. Elektronlarning maydon bo'ylab tartiblangan harakatiga intensiv tartibsiz harakat qo'shiladi. Elektronlarning maksimal energiyasi ularning konsentratsiyasi bilan belgilanadi. Tipik metallarda bu kattalik elektron-volt tartibidadir. Bu energiyaga mos temperatura  $\sim 10^4\text{K}$ . Shu sababli, hatto absolyut nolda ham metallardagi elektronlarning bir qismi keskin harakatlanadi va g'oyat yuqori effektli temperaturaga ega bo'ladi.

Yarimo'tkazgich — kichik energiya tirqishiga ega bo'lgan dielektrik. Issiqlik harakati elektronlarni erkin zonaga (uni to'lgan valent zonadan farqli ravishda o'tkazuvchanlik zonasi deyiladi) “uloqtirib” chiqargandan so'ng, u yerda ular elektr maydonda tezlashadi. Shu sababli, odatda yarimo'tkazgichlar temperaturaga keskin bog'liq bo'lgan kichik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligiga, shuningdek, maxsus kirishmalar kiritish orqali ta'sir ko'rsatish mumkin. Yarimo'tkazgich kristallar murakkab elektron yarimo'tkazgich asboblar, jumladan integral sxemalar deb ataladigan asboblar yaratish imkonini beradi. Hozirgi paytda shunday integratsiya darajasiga erishilganki, millionlab alohida elementlar  $1\text{sm}^2$  yuzada joylashishi mumkin. Bunday qurilma xuddi yagona kristallni hosil qiladi va shuning uchun ham texnikaning yangi sohasini bejiz qattiq jism elektronikasi deyishmaydi.

Qattiq jism qanchalik murakkab tuzilgan bo'lsa, kollektiv effektni oshkor qilish shunchalik qiyindir. Organik qattiq jismlar, ayniqsa, murakkab tuzilgan bo'lsalarda, ularda ham muayyan struktura mavjud. Bu yerda tartiblanish qanday vujudga keladi — u qanday kollektiv xossalarga olib keladi, bu savollar hali javobini kutadi. Biroq jonli tabiat sirlarini tushunib olishning kaliti aynan shu yo'lda yotganligi ayondir.

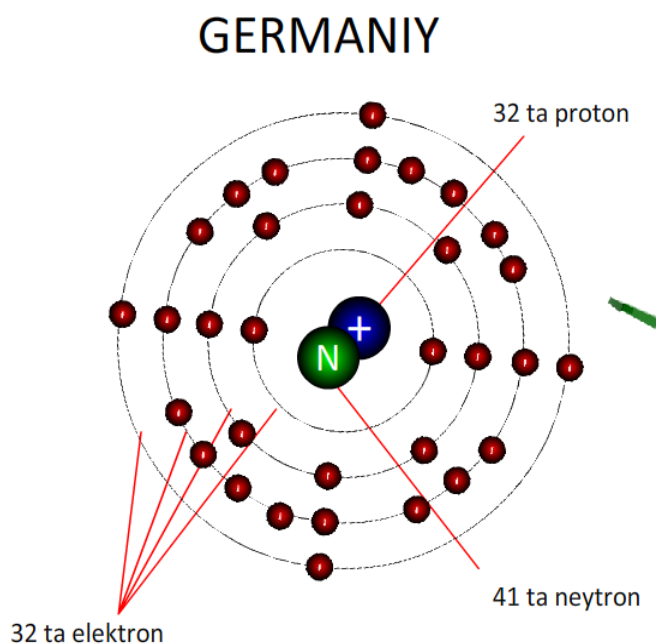
#### ***Yarim o'tkazgichlarda elektr toki va uning kirishmalarga bog'liqligi.***

Yarimo'tkazgichlar — elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi moddalar (o'tkazgichlar, asosan metallar) va elektr tokini amalda o'tkazmaydigan moddalar (izolyatorlar yoki dielektriklar) orasidagi oraliq vaziyatni egallagan moddalar sinfi. Yarimo'tkazgichlarning xossalari va xarakteristikalari ularning tarkibidagi kirishmalarning mikroskopik miqdoriga kuchli bog'langandir. Yarimo'tkazgich tarkibidagi kirishma miqdorini protsentning o'n millionli ulushlaridan to 0,1 — 1% gacha o'zgartirib, uning elektr o'tkazuvchanligini millionlarcha marta oshirish mumkin. Yarimo'tkazgichlarning boshqa bir muhim xossasi shundaki, ularda elektr tokini o'tkazishda faqat manfiy zaryadlar — elektronlar emas, balki (qiymati elektron zaryadiga teng) musbat zaryadlar — kovaklar ham qatnashadi (7.1-rasm)



**7.1- rasm. O'tkazuvchan va valent zona.**

Misol uchun yarim o'tkazgichning tipik vakili bo'lgan germaniyni qaraylik. Uning tartib nomeri 32 va to'rtta elektron qobig'i mavjud: 1-qobig'ida 2 ta; 2-qobig'ida—8ta, 3-qobig'ida—18ta, 4-qobig'ida esa 4 ta elektron joylashgan (7.2-rasm). Uchta ichki qobiqdagi elektronlar turg'un bo'lib, kimyoviy reaksiyalarda ishtirok etmaydi. Oxirgi to'rtinchi qobig'dagi elektronlar esa atom yadrosi bilan juda kuchsiz bog'langan. (7.2-rasm)



**7.2-rasm. Germaniy atomining tuzilishi.**

Aynan shu elektronlar elementning boshqa atomlarning nechtasi bilan kimyoviy bog'lanishga kira olish qobiliyatini ko'rsatib mazkur elementning valentligini aniqlaydi. Shuning uchun ham oxirgi qobiqdagi elektronlarga tashqi yoki valentli elektronlar deyiladi. Tashqi qobiqda to'rtta elektroni mavjud bo'lgan germaniyning valentligi to'rtga teng. Mazkur atomga boshqa atomlar yaqinlashganida valent elektronlar boshqa atomning valent elektronlari bilan oson ta'sirlashadi va kimyoviy bog'lanish hosil qiladi. Atom qobig'iga ma'lum energiya berilganda atomning ionlashuvi ro'y berishi mumkin. Aynan so'nggi qobiqdagi elektroni ozod qilish uchun eng kam energiya taqozo qilinadi. Germaniy, kremniy va yarim o'tkazgichlarning boshqa bir qancha vakillari kristall moddalar hisoblanadi. Ularning atomlari ma'lum qonuniyatlarga muvofiq joylashgan bo'ladi.

Agar hech qanday kirishmalar mutlaqo bo'lmagan ideal yarimo'tkazgich kristallni olsak, uning elektr tokini o'tkazish xususiyati xususiy elektr o'tkazuvchanlik deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi. Kimyoviy jihatdan toza yarim o'tkazgichlar xususiy yarimo'tkazgichlar deb ataladi. Ularga bir qator kimyoviy toza elementlar (germaniy - Ge, kremniy - Si, selen - Se, tellur - Te) va kimyoviy birikmalar (galliy arsenidi - GaAs, indiy arsenidi - InAs, indiy antimonidi - InSb, Karbid kremniy - SiC va xokazolar) kiradi.

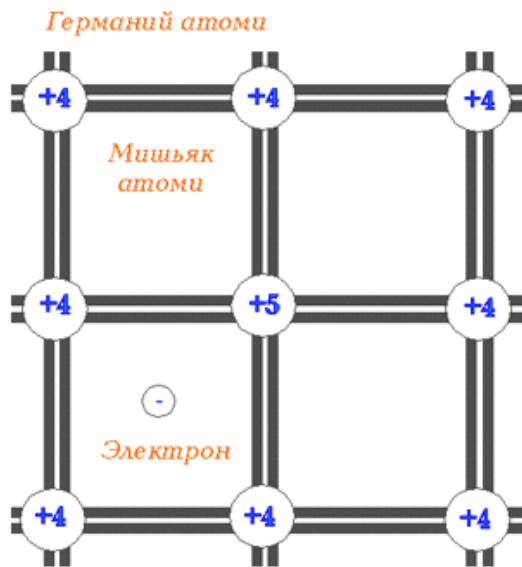
Yarimo'tkazgich kristallda atomlar tashqi elektron qobig'i elektronlari yordamida o'zaro bog'langan. Atomlarning issiqlik tebranishlari vaqtida issiqlik energiyasi bog'lanish hosil qiluvchi elektronlar orasida notekis taqsimlangan bo'ladi. Ayrim elektronlar o'z atomidan uzilib ketish va kristallda erkin ko'cha olish imkonini beradigan yetarli miqdordagi issiqlik energiyasiga ega bo'lib olishi mumkin (boshqacha aytganda, ular o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi). Elektronning bunday uzilib ketishi atomning elektr neytralligini buzadi, unda ketib qolgan elektron zaryadiga miqdoran teng musbat zaryad vujudga keladi. Elektrondan bo'shab qolgan bu holatni kovak deyiladi. Bo'sh holatni (vakant joyini) qo'shni bog'lanishdagi elektron egallashi mumkin bo'lgani sababli kovak ham kristall ichida ko'chib yura oladi va u musbat zaryadli tok tashuvchilik vazifasini o'taydi.

Tabiiyki, bunday sharoitda elektronlar va kovaklar teng miqdorda vujudga keladi va bunday ideal kristallning elektr o'tkazuvchanligini ham musbat, ham manfiy zaryadlar bir xilda belgilaydi.

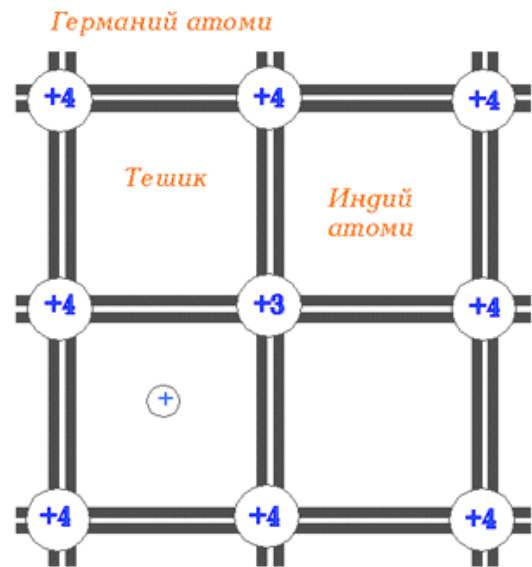
Agar asosiy yarimo'tkazgich atomi o'rniga tashqi elektronlar qobig'ida asosiy yarimo'tkazgich atomiga nisbatan bitta elektron ortiq bo'lgan kirishma atomi joylansa, u holda bunday elektron kristalldagi atomlararo bog'lanish tashkil qilish uchun kerakmasdek, o'z atomi bilan zaif bog'langandek bo'lib qoladi. Uni o'z atomidan ajratib yuborish va erkin elektronga aylantirish uchun yakka atomdan ajratish uchun kerak bo'ladiganidan o'nlarcha marta kam energiya yetarlidir. Bunday kirishmalarga donor kirishmalar, ya'ni "ortiqcha" elektron beradigan kirishmalar deyiladi. (7.3-rasm)

Elektronidan ajralgan kirishma atomi, tushunarliki, musbat zaryadlanadi, ammo bu holda kovak paydo bo'lmaydi, chunki faqat atomlararo to'lmagan bog'lanishdagi elektron vakansiyasi kovak bo'la oladi, mazkur holda esa barcha bog'lanishlar to'ldirilgan. Bu musbat zaryad o'z atomi bilan bog'langanligicha (harakatsiz) qoladi va elektr o'tkazish protsessida qatnasha olmaydi. Yarimo'tkazgichga tashqi elektronlar qobig'ida asosiy modda atomiga nisbatan kamroq elektron bo'lgan kirishma kiritilsa, u to'lmagan bog'lanishlar, ya'ni kovaklar paydo bo'lishiga olib keladi. Yuqorida aytilganidek, bu vakansiyani qo'shni bog'lanishdagi elektron egallashi mumkin bo'lib, bunda kovak kristall bo'yicha erkin ko'chish imkonini oladi. Elektronni "qabul qiluvchi" bunday kirishmalarga akseptor kirishmalar deyiladi. (7.4-rasm)

U yoki bu tipdagi kirishmalar miqdori oshgan sari kristallning elektr o'tkazuvchanligi borgan sari ravshan ifodalanadigan elektron yoki kovak o'tkazuvchanlik bo'lib qoladi. Negativ va positiv degan lotin so'zlarining birinchi harflari bilan muvofiq ravishda elektron elektr o'tkazuvchanlikka n-tip, kovak elektr o'tkazuvchanlikka p-tip elektr o'tkazuvchanlik deyiladi.



7.3-rasm.



7.4-rasm.

Shu yo'sinda mazkur yarimo'tkazgich uchun harakatchan zaryad tashuvchilarning qaysi tipi asosiy, qaysinisi asosiy emasligi ta'kidlanadi. Kirishmalar mavjudligidagi (ya'ni kirishmali) elektr o'tkazuvchanliklar kristallda avvalgidek ikki tipdagi tashuvchilar qolaveradi: yarimo'tkazgichga asosan kirishmalar kiritish hisobiga paydo bo'lgan asosiy tashuvchilar va issiqlik harakati taqozo qilgan asosiy bo'lmagan tashuvchilar bo'ladi. Muayyan yarimo'tkazgich uchun ma'lum temperaturada  $1 \text{ sm}^3$  dagi elektronlar soni (konsentratsiyasi)  $n$  va kovaklar soni  $p$  ko'paytmasi o'zgarmas miqdorlari soni bo'lishini ta'kidlab o'tish lozim. Bu kirishmalarni kiritish hisobiga mazkur tipdagi tashuvchilar konsentratsiyasini bir necha marta orttirib, boshqa tipdagi tashuvchilar konsentratsiyasini o'shancha marta kamaytirish demakdir. Yarimo'tkazgichlarning yuqorida bayon qilinganlardan kelib chiqadigan muhim xossasi ularning temperaturaga va nurlanishga kuchli sezgirligidir. Temperatura ko'tarilgan sari kristallda atomlarning tebranishlari o'rtacha energiyasi ortadi va tobora ko'proq miqdorda bog'lanishlar uziladi. Tobora yangi va yangi elektronlar hamda kovaklar juftlari paydo bo'ladi. Yetarlicha yuqori temperaturalarda xususiy issiqlik o'tkazuvchanlik kirishma o'tkazuvchanligi bilan tenglashadi, hatto undan oshib



ketadi. Kirishmalar konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, bu effekt shuncha yuqoriroq temperaturada sodir bo'ladi.

### 7.1-jadval.

Yuqori darajada tozalangan kremniy tarkibida kirishmalarning atom ulushi.

Kirishmalar	Mumkin bo'lgan miqdori, %
Al	$1 \cdot 10^{-7}$
B	$1 \cdot 10^{-7}$
H	$1 \cdot 10^{-3}$
Fe	$1 \cdot 10^{-7}$
O	$1 \cdot 10^{-7}$
Mg	$1 \cdot 10^{-7}$
Mn	$1 \cdot 10^{-7}$
Cu	$1 \cdot 10^{-8}$
Pb	$1 \cdot 10^{-7}$
Ag	$1 \cdot 10^{-7}$
P	$1 \cdot 10^{-8}$
Zn	$1 \cdot 10^{-8}$

Agar yorug'lik kvantlari energiyasi yarimo'tkazgichdagi bog'lanishlarni uzib yuborish uchun yetarli bo'lsa, u holda yarim o'tkazgichli yorug'lik bilan nurlantirib ham bog'lanishlarni uzib yuborish mumkin. Turli yarimo'tkazgichlarda bog'lanishlarni uzish energiyasi turlicha, shuning uchun ular nurlanish spektrining u yoki bu uchastkasini turlicha sezadi.

Yarimo'tkazgichlarning bu eng muhim xossalardan vazifasi va qo'llanish sohasi turlicha bo'lgan yarimo'tkazgich asboblari yaratishda foydalaniladi. Birinchi bo'lib amaliy qo'llana boshlangan yarimo'tkazgich material selen bo'lgan edi. Hozirgi vaqtda germaniydek yarimo'tkazgichni ortda qoldirib eng ko'p qo'llanilayotgan yarimo'tkazgich — bu kremniydir. Selen, germaniy va kremniy elementar yarimo'tkazgichlar, ya'ni D. I. Mendeleev davriy sistemasi elementlari bo'lgan yarimo'tkazgichlar turkumiga taalluqli.

Germaniy va kremniy bilan bir qatorda davriy sistemaning III va V, II va IV, II va VI guruhlarini elementlarining murakkab birikmalari tobora keng qo'llanilmoqda. Bu yerda, masalan, galliy bilan margimush (galliy arsenidi), galliy bilan fosfor, kadmiy, simob bilan tellur birikmalarini va boshqa birikmalarni esga olish lozim. Yarimo'tkazgichlarga zarur xossalarni beradigan kirishmalar sifatida bor, fosfor, indiy, margimush, surma va boshqa ko'p elementlar ishlatiladi. Yarimo'tkazgichga kiritiluvchi kirishmalarning odatdagi miqdori prosentning o'nli va yuzli ulushlari orasida bo'ladi.

### 7.2-jadval.

#### Yarimo'tkazgichlarda keng tarqalgan kirishmalarning elektr tabiati.

Yarimo'tkazgich	Neytral kirishma	Donorlar	Akseptorlar
Kremniy	H, N, C, Ge, Sn, Pb, Ar	P, As, Sb, Li	B, Al, Ga, In
Germaniy	H, N, C, Ge, Sn, Pb, Ar	P, As, Sb, Li	B, Al, Ga, In
Galliy arsenidi	H, N, B, Al, In, P, Sb	Si, Sn, Te, S, Se	Zn, Cd, Be, Li
Galliy fosfidi	H, N, B, Al, In, As, Sb	Si, Sn, Te, S, Se	Be, Mg, Zn, Cd, C

Muntazam kristall panjarali (monokristall) hamda kirishmaning zarur miqdori va taqsimoti qat'iy nazorat qilinuvchi yarimo'tkazgich kristallarni hosil qilish — maxsus tozalikka rioya qilingan sharoitda yuqori darajada aniq va murakkab asbob-uskunalar ishlatiladigan juda ham murakkab texnologik jarayon. Yuqorida bayon qilingan barcha jarayonlarni zonalar nazariyasi yordamida tushuntirish mumkin. Qattiq jismlarning o'tkazuvchanligi kvant nazariyasi zonalar nazariyasiga asoslangan. Qattiq jismlarda elektronlar faqat muayyan qiymatli energiyalarga ega bo'la oladi. Sathlar zonalarni tashkil qiladi, ular bir-biridan zonaga tegishli energiya oraliqlari bilan ajralgan bo'ladi.

Metallarda zonalar yo o'zaro ustma-ust tushgan yoki elektronlar bilan chala to'ldirilgan bo'ladi. Metallarda ham elektr maydon ta'sirida elektron sathdan sathga erkin o'tadi, chunki zonadagi sathlar orasidagi masofa  $10^{-28}$  eV elektronning

manbaning elektr maydonida oladigan energiyasi esa  $10^{-4} - 10^{-8}$  eV. Sathdan sathga o'tishning osonligi elektronning erkin harakatini bildiradi.

Yarimo'tkazgichlar va izolyatorlarda to'ldirilgan energiya zonasini bo'sh zonadan kengligi bir necha elektronvoltga yetadigan energiya tirqishi taqiqlangan zona ajratib turadi. Bu taqiqlangan zona orqali elektronlar issiqlik energiyasi hisobiga o'tib ketishi mumkin. Temperatura ortishi bilan bunday o'tishlar ehtimoli ortadi. Shuning uchun temperatura ko'tarilgan sari yarimo'tkazgichlar va dielektriklarning o'tkazuvchanligi oshadi, bu ularning metallardan muhim farqidir. Izolyatorlar va yarimo'tkazgichlarning hir-biridan farqi quyidagicha: izolyatorlarda taqiqlangan zona yarimo'tkazgichlardagidan keng. Bundan tashqari, yarimo'tkazgichlarda kirishma o'tkazuvchanligi muhim rol o'ynaydi, bu holda yarimo'tkazgichning kristall panjarasiga kirib olgan kirishma atomlari tufayli taqiqlangan zonada qo'shimcha sathlar paydo bo'ladi.

Metallarda solishtirma qarshilik (odatda, xuddi shu kattalik bilan qattiq jismning o'tkazuvchanlik xossalari xarakterlanadi) xona temperaturasida  $1.6 * 10^{-8}$   $\Omega \cdot m$  dan (kumushda)  $1.6 * 10^{-8}$   $\Omega \cdot m$  gacha (vismutda) oraliqda bo'ladi. Yarimo'tkazgichlar turkumiga solishtirma qarshiligi  $10^{-5}$  dan  $10^{-8}$   $\Omega \cdot m$  gacha bo'lgan materiallar kiradi. Izolyatorlar  $10^{-16}$   $\Omega \cdot m$  gacha solishtirma qarshilikka ega bo'ladi. SI da o'tkazuvchanlik siemens (Sm) birliklarda o'lchanadi.

***Toza yarimo'tkazgich materiallar olish.*** Alohida toza yarimo'tkazgich materiallarni olish usullari juda ko'p. Biroq ularni eng samarali va ko'p qo'llaniladigani zonali suyultirish usulidir. Kristallizatsion tozalov kirishmalami segregatsiya hodisalari, ya'ni kirishmalarni suyuq va qattiq fazalarda eruvchanligi bir xil bo'lmasligiga asoslangan. Qattiq va suyuq fazalarda kontaktlanuvchi kirishmalar konsentratsiyasining nisbati taqsimot koeffitsiyenti deyiladi. Taqsimot koeffitsiyentining qiymati yarimo'tkazgich kirishmaning holat diagramasidan aniqlanadi. Bunda kirishma komponentini kiritish natijasida toza moddaning erish temperaturasi kamaysa, unda kirishmaning taqsimot koeffitsiyenti birdan kichik.

Amalda bunday holat keng tarqalgan. Misol tariqasida, germaniy va kremniy juda ko'pchilik kirishmalarning taqsimot koeffitsiyenti birdan kichik. Shuning uchun yo'nalishli kristallanishda ular eritma hajmidan fazalar oralig'i chegaradan samarali qochadi. Germaniyni zonali tozalash jarayoni vodorod, inert gazlar yoki inert gaz bilan vodorod aralashmasi atmosferasida o'tkaziladi. Tozalashga qo'yilgan quyma grafit qayiqchaga o'rnatilib, uni uzluksiz himoya gazi o'tib turgan kvarts trubaga joylashtiriladi.

Yuqori chastotali generator bilan ta'minlangan indikator yordamida kengligi 40-50 mm bo'lgan suyulgan kichik zona olinadi va tezligi 50-100 mkm/s bo'lgan aravacha quyma bo'ylab harakatlanadi. Quyma uzunligi 1000 mm va undan uzun bo'lishi mumkin. Talab darajasidagi tozalik bir yo'nalishga aravachani 5 - 8 marta o'tkazish bilan erishiladi. O'tishlar sonini oshirish bilan tozalik oshib ketmaydi, chunki qotishmadan va o'rab turgan atmosferada vaqt o'tishi bilan kirishmalarni kirish ehtimoligi oshib ketadi. Tozalov jarayonini tezlashtirish uchun quyma uzunligi bo'yicha suyultirish zonasini bir necha joyda hosil qilinadi. Bu holda qizdirgichni bitta o'tkazish bir necha o'tishga farqlanadi. Zonali suyultirishda taqsimot koeffitsiyenti birdan kichik bo'lgan kirishmalar suyuq zonada ushlanib qoladi va u bilan birga quymani dumi tomon to'planib qoladi. Jarayon tugagandan so'ng quymani dumi kesib olinadi. Quymani sifati materialning solishtirma qarshiligini o'lchash bilan amalga oshiriladi.

Yarimo'tkazgichli toza kremniyni olish texnologiyasiga quyidagi operatsiyalar kiradi:

1. Texnik kremniyni tozalovdan so'ng tiklanishi mumkin bo'lgan uchuvchi birikmaga aylantirish;
2. Birikmani fizik va kimyoviy tozalash;
3. Birikmani ajralgan toza kremniy bilan tiklanishi;
4. Oxirgi kristalizatsion tozalash.

Yarimo'tkazgichlar ishlab chiqarishda polikristal kremniy olishning keng tarqalgan usullaridan trixlorsilan  $\text{SiHCl}_3$  ni vodorodli tiklanishidir. Trixlorsilan

SiHSl<sub>3</sub>ni olish uchun 300-400 °C temperaturada maydalangan texnik kremniy quruq vodorod xloridda ishlovdan o'tkaziladi. Trixlorsilanning qaynash temperaturasi 320 °C dir. Shuning uchun u ekstraksiya, adsorbsiya va rektifikatsiya usullari bilan oson tozalanadi. Kremniy vodorodli tiklanishi quyidagi sxema bo'yicha olib boriladi. Vodorod oqimi yordamida tozalangan xlorsilan bug'i bug'lantirgichdan tiklanish kamerasiga o'tkaziladi. Kamerada toza kremniydan tayyorlangan xamirturish maxsus tok o'tkazgichlar joylashgan. Bu tayoqchalar elektr toki yordamida 1200-1300 °C temperaturagacha qizdiriladi. Xamirturushga ajralgan kremniyning o'tirishi kerakli diametrdagi toza polikristalini beradi. Yarimo'tkazgichli monokristallar yarimo'tkazgichli asboblari va integral mikrosxemalarni yaratilishida katta ahamiyatga ega bo'lgan va bo'lib qolmoqda. Qatlamni legirlash kirishma elementini tashkil etuvchi bug' birikmalari yordamida amalga oshiriladi. Nisbatan uncha yuqori bo'lmagan ishchi temperatura va kristallanishni kichik tezligi epitaksial qatlamni yuqori tozalikda va takomillashgan strukturani olish imkonini beradi. Elektron-kovak o'tishli epitaksial qatlamni olish integral mikrosxemalarni izolyatsiyalash (ajratish) uchun keng qo'llaniladi. Ko'pchilik xollarda integral mikrosxemalarni tayyorlashda kremniyli ipilaksial qatlamlari monokristal dielektrik tagliklarga ham o'tqaziladi. Bunday tagliklar sifatida: sapfir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), shpinel (MgO), berilliy oksidi BeO), kvarts (SiO<sub>2</sub>) va boshqa moddalardan ham foydalaniladi.

## 7.2. Yarimo'tkazgichlarda kirishmalarning o'zaro ta'sirlashuvi.

*Kirishmalar o'zaro ta'sirlashuvning ko'rinishlari.* Fazaviy muvozanatlar termodinamikasidan kristalda eriyotgan kirishmalar konsentratsiyasi kimyoviy potentsiallar muvozanati orqali aniqlanadi. Agar har bir faza bir xildagi ideal nuqsonlardan tashkil topgan bo'lsa, ulardagi parsial kimyoviy potentsiallar

$$\mu_i = g_i^0 + kT \ln C_i \quad (7.1)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda  $C_i$ — nuqsonlar konsentratsiyasi,  $g_i^0$  — birlik nuqsonning erkin energiyasi. Umumiy kimyoviy potensial parsial kimyoviy potentsiallar yig'indisiga teng bo'ladi.

Kristaldagi kirishma atomlari eruvchanligini tavsiflash uchun kristalning va nuqsonlarning idealligiga e'tibor berish kerak. Bunda kiritilayotgan kirishma konsentratsiyasi nuqsonlar konsentratsiyasi tartibida ho'lishi kerak. Odatda bu oldindan aniq bo'lmaydi. Agar qandaydir nuqson katta  $g_i$  ga ega bo'lsa, kichik konsentratsiyada ham kuchli ta'sir etishi mumkin. Bu ikki noaniqliklar mumkin bo'lgan har qanday nuqson kristaldagi eruvchanlikni tahlil qilganda to'la hisobga olishni ko'rsatadi.

Shunday qilib, geterogen kristaldagi muvozanat komponentalar kimyoviy potensial muvozanatlashganda ro'y beradi. Bu shart atomlar orasidagi o'zaro ta'sir bo'lmaganda sodda ko'rinishda bo'ladi. Lekin o'zaro ta'sirning butunlay yo'q bo'lishi qaralayotgan sistemaga keskin chegara qo'yish bo'ladi. Kirishmalar ionizatsiyasi muvozanat jarayonlariga va elementlar eruvchanligiga ta'sir ko'rsatadi. Buni hisobga olish uchun kimyoviy potensialga elektronning kimyoviy potensialini qo'shish kerak bo'ladi. Bu to'la va parsial erkin energiyaning o'zgarishidir.

Kirishmalar o'zaro ta'siri ikkiga bo'linadi: tashqi va ichki. Ulardan birinchisi kristalning tashqi muhit bilan o'zaro ta'sirini ifodalaydi. Ikkinchisi ichki o'zaro ta'sir bo'lib, kristallning erkin energiyasini o'zgartiradi. Bu o'zaro ta'sirlar quyidagi sinflarga bo'linadi:

- statik - kristall panjaradagi tarkibiy elementlarning siljishi;
- zaryadli - zaryadning saqlanish qonunini ta'minlovchi, kristallda qo'shimcha potensial hosil qilmaydigan o'zaro ta'sirlar;
- potensial - kristall potensial energiyasi oshishi hisobiga erkin energiyaning o'zgarishiga olib keluvchi turli o'zaro ta'sirlar yig'indisi;

- assotsiativ (birikmalar hosil qiluvchi) - assotsiatsiya va birikmalar hosil bo'lishiga olib keluvchi, ya'ni yangi va kristall panjara bo'ylab yaxlit harakatlana oladigan o'zaro ta'sirlar.

Kirishmalar o'zining tutgan o'rni va bajaradigan vazifalariga qarab bir necha turlarga bo'linadi.

***O'rinbosar va suqilma qattiq eritmalar.*** Kirishma atomlar kristall panjarasida tugunlardagi asosiy atomlar o'rniga o'tirib oladi (bunday kirishmani o'rinbosar qattiq eritma deyiladi) yoki ular panjara tugunlari orasiga joylashadi (bunday kirishmani suqilma qattiq eritmalar deyiladi). Bu ikki holni geometrik va elektrokimyoviy omillar aniqlaydi.

O'rinbosar kirishmalar hosil bo'lishi uchun kirishma atomi radiusining asosiy atom radiusidan farqi 15% dan oshmasligi, asosiy va kirishma atomlar elektrokimyoviy jihatidan o'xshash bo'lishi zarur (keyingi shartning ma'nosi: mazkur ikki xil atomlarning valent qobig'idagi elektronlar soni teng yoki  $\pm 1$  qadar farqlanishi kerak).

Suqilish kirishmalari hosil bo'lishi uchun kirishma atomi radiusning asosiy atom radiusiga nisbati 0,59 dan kichik bo'lishi zarur. Miqdoriy shartlar tajriba yo'li bilan topilgan. Har bir kirishma atom o'zi turgan joy atrofida panjara davriyligini buzadi va elektron (kovak) uchun mahalliy sathlar hosil qiladi, bu sathlar kirishmalar zichligi uncha katta bo'lmagan ta'qiqlangan zonada joylashgan bo'ladi. Ko'p bosqichli tozalashdan so'ng yarimo'tkazgich moddada qoldiq kirishmalar turlari va miqdorlarini aniqlab olish mumkin, ammo eng muhimi - muayyan maqsadni nazarda tutib tegishlicha tanlangan boshqa elementlar atomlarini istalgan miqdorda va ma'qul usul bilan yarimo'tkazgichga kiritishdir. Ana shu muammoni hal qilingandan so'ng yarimo'tkazgichlar elektronikasi juda tez rivojlana boshlaganini ta'kidlaymiz.

Yarimo'tkazgichlarga kirishmalar kiritish legirlash yo'li bilan ularning elektr o'tkazuvchanligini va boshqa xossalarini o'zgartirish mumkin. Yarimo'tkazgich monokristallini suyulmalardan hosil qilish jarayonida suyulmaga istalgan boshqa

moddalar atomlari kiritiladi. Bunda monokristall hajmida kirishmalarning tekis taqsimlanishini ta'minlaydigan choralar qo'llaniladi. Biz endi elektronika sanoatida keng qo'llanadigan usullar to'g'risida qisqacha ma'lumot beramiz.

**Diffuziya usuli bilan kirishmalar kiritish.** Yarimo'tkazgichlarda diffuziya jarayonlari haqida keyin batafsilroq to'xtalamiz. Bu joyda mazkur usulning qisqacha tavsifini keltiramiz xolos.

Bu usulda maxsus idishlarga (tigellarga) yarimo'tkazgich kristali, u bilan birga kiritiladigan moddaning tayinli miqdori ham joylanadi, so'ng diffuziya pechida (kristallning suyulish temperaturasidan past bo'lgan) yuqori temperaturagacha qizdiriladi, kirishma modda bug'lanadi va uning atomlari kristall ichiga diffuziyalanib kira boradi. Bu atomlar yo asosiy atomlardan bo'shab qolgan tugunlarga, yoki tugunlar orasiga joylashib oladi. Masalan, kremniyga fosfor - 1200°C temperaturada diffuziyalanadi, chunki kremniyning suyulish temperaturasi taxminan 1410°C bo'lganligi uchun u o'zining qattiq holatini saqlaydi, ammo atomlar issiqlik harakati kuchayishidan vakansiyalar ko'payib ketadi, fosfor va kremniy atomlari radiuslari bir biriga yaqin bo'lganligi uchun fosfor atomlari kremniy kristalli tugunlariga joylashib, o'rinbosar kirishma hosil qiladi. Diffuziya jarayonida kristall ichida kirishma atomlar taqsimoti Fik qonunlaridan kelib chiqadigan diffuziya tenglamasini yechish orqali aniqlanadi.

Agar  $N(x, t)$  diffuziyalanuvchi kirishma atomlari zichligi ( $x$  - kristall sirti tekisligini belgilaydi),  $D$  ularning diffuziya koeffitsiyenti bo'lsa,  $x$  yo'nalishda

$$\frac{dN}{dt} = D \frac{d^2N}{dx^2} \quad (7.2)$$

Diffuziya tenglamasining cheksiz (doimiy) manba holidagi (kristall sirtida kirishma zichligi  $N_0$  deb olingandagi) yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$N(x, t) = N_0 \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad (7.3)$$

Bu holda kristall sirti yaqinida kirishma bilan to'yingan yupqa qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlamdagi kirishma zichligi imkoni boricha katta qilib olinadi. Bu bosqichni kirishma kiritish bosqichi deyiladi. So'ngra, tashqaridan kirishma kiritish bartaraf qilinib (manba uzoqlashtirilib), kristallga kirib bo'lgan kirishma



yuqori temperaturada qayta taqsimlanishga duchor qilinadi. Bu bosqichni kirishmani (kristall ichiga) haydash deyiladi. U chekli kirishma manбайдan diffuziyalanish holiga mos keladi. Bu holda (7.2) ning yechimi

$$N(x, t) = \frac{Q}{\sqrt{\pi Dt}} \exp \left[ -\frac{x^2}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (7.4)$$

Bundagi Q-legirlash dozasi. Yarimo'tkazgichli asboblar sanoatida planar texnologiyada xuddi shu ikki bosqichli diffuziya usuli qo'llanadi.

***Ionlar kiritish usuli.*** Kiritiladigan kirishma atomlari dastavval ionlashtiriladi, so'ngra bu ionlarni katta (bir necha kilovolt chamasidagi) kuchlanishli elektr maydonda tezlashtiriladi, shunda ular kristall plastinasiga kira oladigan bo'ladi.

Bu usul ionlar tokini va nurlash vaqtini nazorat qilish orqali kiritilayotgan kirishmani aniq hamda takrorlanuvchi miqdorda kiritish, ionlarning kirish chuqurligini tayinlash va boshqa bir qancha afzalliklar imkonini beradi. Kirishmaning ionlari yarim o'tkazgich kristalli panjarasiga kira borib ikki ko'rinishda o'z energiyasini yo'qota boradi. Birinchi holda ion kristall atomiga urilib, uni tugundan tugunlar orasiga ko'chirib, Frenkel nuqsoni hosil qilishi, ko'chirilgan atom, agar iondan katta energiya olsa, yana boshqa atomlarni o'z tugunidan urib chiqarishi mumkin. Bu to'qnashishlar ionning yo'lida tuzilishi buzilgan sohalar-klasterlar (o'lchami  $(15 - 10) * 10^{-7} \text{sm}$ ) vujudga keltiradi. Ionlar oqimi yetarlicha katta bo'lganda klasterlar qo'shilishib makroskopik amorf sohalar hosil qilishi ham mumkin.

Ikkinchi holda ionlar kristall atomlari-elektronlari bilan ta'sirlashadi va o'z energiyasini atomlarni ionlash yoki g'alayonlashga sarflaydi. Ionlarni kiritish jarayonini q zaryadli ionning U kuchlanish ta'sirida olgan  $E=qU$  energiyasi, ionlarning atomlarni ionlash karrasi,  $q=It$  nurlash dozasi (I-ionlar toki zichligi. t-vaqt) tavsiflaydi.

Tezlashtirilgan ionlarni kristallarga kiritish turli nuqsonlarni keltirib chiqarishi mumkin. Boz ustiga bu nuqsonlarning zichligi katta bo'lib ketganda sirtiy qatlamda kristall tuzilishining buzilishi (amorflanish) sodir bo'lishi mumkin.

Kristallni muayyan vaqt davomida qizdirib, sirtiy nuqsonlarni yo'q qilish (kuydirish) mumkin. Masalan, germaniyda 400-500°C da, kremniyda 600-700°C da amorflangan sirtiy qatlam qayta kristallanadi, kirishma atomlari tekis taqsimlanadi, faollashadi.

***Epitaksiya usuli.*** Yunoncha “epi” - “ustiga”, “taksis”-tartibli o'rnatish (taxlash) demakdir. Epitaksiya hodisasi monokristall taglik ustida monokristall modda qatlamini ma'lum kristallografiya yo'nalishda o'stirish jarayonidir. Epitaksiya jarayonining avtoepitaksiya (gomoepitaksiya), geteroepitaksiya, xemoepitaksiya, reoepitaksiya deb ataladigan turlari bor.

Avtoepitaksiya taglik va o'stiriladigan qatlam aynan bir moddadan iborat holdagi jarayondir.

Geteroepitaksiya taglik va o'stiriladigan qatlam turli moddalardan iborat holdagi jarayondir. Bu ikki jarayonda taglik va o'stiriladigan qatlam moddalari kimyoviy ta'sirlashmaydi.

Ammo, xemoepitaksiyada yangi kristall fazasi qatlami taglikning unga kelib tushayotgan modda bilan kimyoviy o'zaro ta'siri evaziga hosil bo'ladi.

Reoepitaksiya jarayonida taglikning tuzilishi o'sadigan kristall fazasi tuzilishidan farq qiladi.

Agar o'tqizilayotgan modda taglikka bevosita yetib boradigan bo'lsa, buni to'g'ri jarayonlar deyiladi. Aks holda noto'g'ri jarayon amalda bo'ladi.

O'tqaziladigan moddaning dastlabki agregat (tub) holati bo'yicha epitaksial jarayonlar 4 turga ajratiladi.

Gaz-transport (bug' fazali) epitaksiya holida o'tqaziladigan modda dastlab gaz (bug') holatida bo'ladi va shu holatda u taglikka etib boradi. Masalan, kremniy taglik joylashgan sohaga silan  $\text{SiCl}_4$  ni bug' holida vodorod gazi olib keladi. Shu sohada silan parchalanadi va undan Si ajralib, taglikka o'tiradi.

Suyuq fazadan epitaksiya qilish holida o'tqazilayotgan modda dastlab suyuq holatda bo'ladi.

Bug'-suyuqlik-kristall (taglik) tizimida epitaksiya qilish holida o'tqaziladigan modda o'zining dastlabki bug' (gaz) holatidan oraliqdagi suyuq holatning yupqa pardasi orqali o'tib, so'ng taglikka o'tiradi.

Yana qattiq faudan epitaksiya usuli ham mavjud. Masalan, monokristall sirtida II tur fazaviy o'tish hisobiga shishasimon modda kristallanishi mumkin.

Epitaksiya usulida bir vaqtda kirishmalar kiritib borilishi mumkin. Yarimo'tkazgichni legirlashda ionlar kiritish va diffuziya usullarini birgalikda qo'llash mumkin. Bu radiatsion rag'batlantirilgan diffuziya hodisasi kelib chiqishiga olib keladi.

### 7.3. Ferro-, para- va diamagnetiklar tavsiflarini aniqlash usullari.

**Magnetiklar (diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalar).** Magnit xossalari bo'yicha barcha moddalar uchta sinfga bo'linadi. Magnit singdiruvchanligi  $\mu_r < 1$  bo'lgan moddalarga diamagnitlar deyiladi; bunday moddalar qatoriga kiradi, masalan, suv ( $\mu_r = 0,999991$ ), shisha ( $\mu_r = 0,999987$ ), vismut ( $\mu_r = 0,999830$ ), mis ( $\mu_r = 0,999991$ ). Diamagnit va paramagnit moddalarning magnit singdiruvchanligi birdan kam farq qiladi. Elektrotexnik hisoblashlarda bu farq qoidaga ko'ra e'tiborga olinmaydi, shuning uchun diamagnit va paramagnit moddalarni nomagnitlar deyiladi, ularning  $\mu_r$  magnit singdiruvchanliklarini birga tenglashtiriladi.

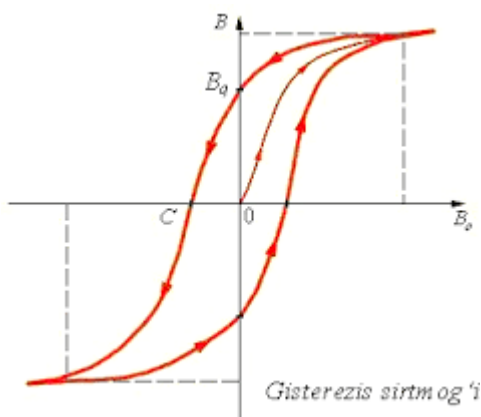
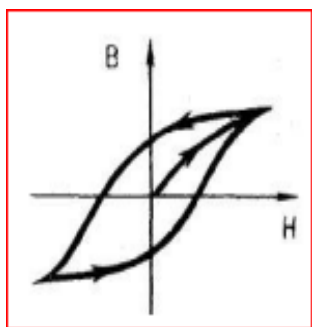
Magnit singdiruvchanligi minglar va o'n minglar bilan o'lchanadigan ( $\mu_r \gg 1$ ) moddalarga ferromagnitlar deyiladi. Ferromagnit moddalarga misol sifatida aytish mumkin kobaltni, cho'yanni, nikelni, temirni, po'latni temir-nikel qotishmalari (permalloy) ni. Bu moddalarning muhim xossasi shundan iboratki, ularning magnit singdiruvchanliklari tashqi maydon magnit induksiyasiga va ularning avvalgi magnit holatiga bog'liq, hozirgi vaqtda ferromagnit moddalarni magnitlangan kichik sohalar ( $10^{-3}$  mm)-domenlardan tuzilgan deb hisoblamoqda. Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda domenlar xaotik joylashadi va ularning magnit maydonlari o'zaro muvozanatlashadi. Tashqi magnit maydoni ta'sirida

ko'pchiligi magnit kuch chiziqlari bo'yicha orientasiyalanadi. Diamagnit muhitlar tashqi magnit maydonini bir muncha susaytiradi (masalan, to'g'ri tokli o'tkazgichning maydonini). Paramagnit muhitlar tashqi magnit maydonini bir muncha kuchaytiradi. Ferromagnit muhitlar tashqi magnit maydonini ming va o'n ming marta kuchaytiradi.

***Doimiy va o'zgaruvchan magnit maydonlari. Ferromagnetiklarning magnitlanishi.*** Agar vaqt o'tishi bilan magnit induksiyasi o'zgarmasa, magnit maydonini doimiy deyiladi. Bunday maydonni o'zgarmas tok vujudga keltiradi. O'zgaruvchan tok vaqt bo'yicha qiymati va yo'nalishi o'zgarib turadigan o'zgaruvchan magnit maydonini vujudga keltiradi. O'zgaruvchan magnit maydonida ferromagnit moddalar yordamida jarayonlar vujudga keladi, qaysiki oqibati magnit gisterezis va gisterezisdagi isroflar hisoblanadi. Bunga kengroq to'xtalib o'tamiz. Moddlarning magnit xossalari o'rgana borib, keng ko'lamdagi materiallar sinifini ajratdik, qaysiki ular o'zlari joylashgan magnit maydonini birdaniga ortirish xossasiga ega. Bunday moddalar ferromagnit moddalar (ferromagnetik)lar degan nomni oldi, shunday qilib ularning maxsus xossalari birinchi marta temirda aniqlangan.

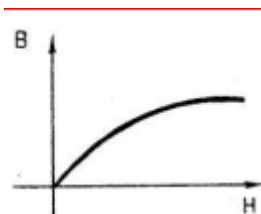
Hozirgi zamon texnikasida ferromagnit materiallar muhim rol o'ynaydi. Elektr generatorlar, dvigatellar, transformatorlar tayyorlash uchun har yili millionlab tonna elektrotexnik po'lat sarflanadi. Zamonaviy radiotexnika ham ferromagnit materiallarsiz ish yurita olmaydi. Ferromagnit materiallar yuqori tezlikda operatsiyalarni bajaradigan hisoblash mashinalari, tovush yozish texnikasida, nozik signallarni kuchaytirish texnikasida keng qo'llanilmoqda. Katta quvvatli ko'p qirrali magnitlar mikroduyoni o'rganadigan muhim quroli hisoblangan elementar zarralar tezlatgichlarining asosini tashkil etadi. Ferromagnit moddalarning xossalari o'z-o'zidan magnitlangan soha – domenlar va tashqi maydonda bu sohalarning orientasiyalanishiga bog'liq. Ferromagnit materiallarda magnit maydon induksiyasi va kuchlanganliklari orasidagi bog'lanish chiziqli qonunga bo'ysinmaydi, analitik tasvirlash qiyin bo'lgan murakkab shaklga ega. Bu bog'lanish birinchi marta taniqli rus olimi A.G. Stoletov tamonidan o'rganilgan va

grafik ko'rinishidagi tasviri magnet gisterezis halqasi nomini olgan dan ko'rinadiki, magnet kuchlanganligining bir xil qiymatiga materialning magnetlanish yoki magnetsizlanishiga bog'liq magnet induksiyasining har xil qiymatlari mos keladi.



**7.5-rasm. Gisterezis halqasi.**

$B=f(H)$  bir qiymatlimas funksiya va magnet gisterezis namoyon bo'ladi, ferromagnet moddada magnet induksiyasining moddaning oldingi magnet holatlaridan kelib chiqadigan kuchlanganlikning berilgan qiymatlariga bog'liq hodisasi tushuniladi. Ferromagnet material magnetlanishida domenlar tashqi maydon kuch chiziqlari bo'yicha orientasiyalanadi (buriladi). Tashqi magnet maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi o'zgarganda (modda qayta magnetlanganda) domenlarning orientasiyasi o'zgaradi. Ma'lumki, domenlarning burilishi uchun energiya sarf bo'ladi. Bu energiyaga gisterezisdagi isrofi deyiladi. Gisterezisdagi isrof qancha katta bo'lsa, qayta magnetlanish chastotasi shuncha katta va magnet material. Og'irligi shuncha katta bo'lishini tushunish qiyin emas. Batafsil tekshirishlar shuni ko'rsatdiki, gisterezisdagi isrof yana gisterezis xalqasi yuziga proporsionaldir. Elektr mashina va transformatorlarda gisterezisdagi isrofni kamaytirish maqsadida gisterezis halqasi shunda ensiz, ya'ni grafikda xalqaning ikki tarmog'i qarib ustma-ust tushadigan materiallarni qo'llaydi. Bunday hollarda material o'rtacha namuna egri chizig'i bilan xarakterlanadi, bunga magnetlanish egri chizig'i deyiladi.



**7.6-rasm. Gisterezis magnitlanish egri chizig'i.**

Ensiz gisterezis halqasiga ega bo'lgan materiallarga yumshoq magnit materiallar deyiladi. Keng gisterezis halqasiga ega bo'lgan qattiq magnit materiallar doimiy magnitlar yasashda, magnit tovush yozish uchun lentalarda hisoblash texnikasida va h. k. qo'llaniladi. Ko'p hollarda gisterezis halqasining shakli muhim rol o'ynaydi. To'g'ri burchakli halqaga ega bo'lgan materiallar keng qo'llanilmoqda. Yumshoq magnit materiallar qatoriga kiradi: elektrotexnik po'lat, elektrolitik temir, permalloy, cho'yan. Qattiq magnit materiallardan kobaltli po'lat, platino-temir va platino-kobalt qotishmalari, shular qatorida alni, alniko, magniko tipidagi qotishmalar ham keng tarqalmoqda.

## VIII BOB. OPTIK VA LAZER TEXNIKASI USULLARI.

### 8.1. Optik spektraskopiya turlari va usullari. Magnitoptik usullar.

Spektroskopiya, jumladan, molekulyar spektroskopiya elektromagnit to'liqlarning moddada yutilishi, qaytishi va sochilishi jarayonlari vositasida moddani tashkil etgan molekulalarning tuzilishi va xossalarini o'rganuvchi fandır.

Spektroskopik tadqiqotlarning obyektı sifatida turli agregat holatida bo'lgan turli-tuman moddalardan foydalanish mumkin. Bunday obyektlarning eng oddiy holi molekulalari bir-biridan, ularni mustaqil deb hisoblash mumkin bo'lgan masofada joylashgan siyraklashgan gazlardir. Eng murakkab holi esa har bir zarrachasi molekulalararo o'zaro ta'sirda ishtirok etuvchi kondensirlangan muhit hisoblanadi. Spektroskopik ma'lumotlardan nafaqat molekulaning tuzilishi va xossalari, shuningdek, molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari haqida, modda tuzilishi bo'yicha ham ma'lumotga ega bo'lish mumkin.

Ma'lumki, elektromagnit nurlanish energiyasining to'liq uzunligi bo'yicha taqsimlanishi spektr deyiladi. Nurlanishning modda bilan ta'siriga qarab nurlanish spektri, yutilish spektri, sochilish spektri va qaytish spektriga ajraladi.

Spektroskopiyanı umumiy holda atom yadro spektroskopiyasi, molekulyar spektroskopiya va kristallar spektroskopiyasiga bo'lib o'rganiladi. Kogerent yorug'lik manbalari – lazerlar kashf qilinganidan keyin spektroskopiya yana kogerent nurlar spektroskopiyasi, ya'ni lazerlar spektroskopiyasi, kogerent bo'lmagan nurlar spektroskopiyasi – klassik spektroskopiya bo'lindi.

Elektromagnit nurlanishning sohasiga qarab spektroskopiya:

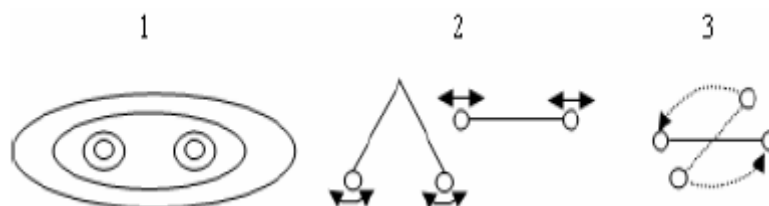
- nurlar spektroskopiyasi (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-10}-10^{-11}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{18}-3 \times 10^{20}$  Hz),
- rentgen nurlari spektroskopiyasi (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-8}-10^{-10}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{16}-3 \times 10^{18}$  Hz),

- optik spektroskopiya (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-3} - 10^{-8}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^{12} - 3 \times 10^{16}$  Hz, (bu sohaning o'zi yana infraqizil, ko'rish sohasi va ultrabinafsha sohalarga bo'linadi),
- radiospektroskopiya (to'liq uzunligi  $\lambda = 10^{-4} - 10^{-2}$  m yoki chastotasi  $\nu = 3 \times 10^6 - 3 \times 10^{12}$  Hz (bunga mikroto'liq spektroskopiya, EPR va YAMR ham kiradi) sohalarga bo'linadi.

Har bir soha molekulyar sistema harakatining ma'lum bir turi haqida ma'lumot beradi. Masalan, ko'rish va ultrabinafsha sohada elektron o'tishlar haqida ma'lumot olinsa, infraqizil sohada molekula atomlarining muvozanat vaziyati atrofida tebranishi haqida ma'lumot olish mumkin.

Molekulaning spektri moddaning xususiyatlari haqida to'liq ma'lumot beradi. Molekulaning spektriga qarab nafaqat modda qanday molekulalardan tashkil topganligi haqida, hatto molekuladagi atomlarning o'zaro joylashishi, molekulalarning izomerlari haqida ham ma'lumot olish mumkin. Misol uchun,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{Cl}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$  va hokazo moddalarning tuzilishini keltirib o'tish mumkin. Molekulyar spektroskopiyaning muhim ustunliklaridan biri tajriba paytida modda holati va xususiyatlari o'zgarmay qoladi, ya'ni moddaning barcha xususiyatlari saqlanib qoladi. Molekulalarning spektri atomning spektriga nisbatan ancha murakkab.

Molekulalarda elektronlarning harakati bilan birgalikda atom yadrolarining bir-biriga nisbatan tebranma harakati va fazodagi holatining davriy o'zgarishi aylanma harakati mavjud. Shuning uchun spektrni hosil qiladigan energetik sathlarning holatiga qarab aylanma, tebranma-aylanma, elektron-tebranma-aylanma spektrlar mavjud (8.1-rasm).



**8.1-rasm. Molekulada (1) ko'rish va ultrabinafsha sohada elektronlar harakati (elektronning holati  $\lambda = 1$  mkm-10 nm;  $\nu = 10^4 - 10^6$  sm<sup>-1</sup> gacha**



**o'zgaradi). Molekuladagi atomlarning (2) infraqizil sohada tebranma harakati (tebranma holati  $\lambda = 100-1$  mkm;  $v=100-10^4$  sm<sup>-1</sup> gacha o'zgaradi). Molekulaning aylanma harakati (3) uzoq infraqizil va mikroto'lqin sohada kuzatiladi ( $\lambda = 1\text{sm}-100$  mkm;  $v=1-100$  sm<sup>-1</sup>).**

*Yadro magnit rezonans hodisaning mohiyati.* Avvalo shuni ta'kidlash kerakki, ushbu hodisaning nomi "yadro" so'zini o'z ichiga olsa ham, yadro fizikasi YMRning hech qanday aloqasi yo'q va radioaktivlikka aloqasi yo'q. Agar qat'iy tavsif haqida gapiradigan bo'lsak, unda kvant mexanikasi qonunlarisiz buni amalga oshirish mumkin emas. Ushbu qonunlarga ko'ra, magnit yadroning tashqi magnit maydon bilan o'zaro ta'siri energiyasi bir nechta diskret qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

Agar magnit yadrolari o'zgaruvchan magnit maydon bilan nurlantirilsa, ularning chastotasi ushbu diskret energiya darajalari o'rtasidagi farqga mos keladigan chastota birliklarida ifodalangan bo'lsa, u holda magnit yadrolari energiyani yutish bilan bir darajadan ikkinchisiga o'tishni boshlaydi. Bu magnit-rezonans fenomeni. Ushbu tushuntirish rasmiy ravishda to'g'ri, ammo unchalik aniq emas. Kvant mexanikasisiz yana bir tushuntirish mavjud.

Magnit yadroni o'z o'qi atrofida aylanadigan elektr zaryadlangan to'p deb tasavvur qilish mumkin (garchi, aniq aytganda, bunday emas). Elektrodinamika qonunlariga ko'ra, zaryadning aylanishi magnit maydonining paydo bo'lishiga olib keladi, ya'ni aylanish o'qi bo'ylab yo'naltirilgan yadroning magnit momenti. Agar ushbu magnit moment doimiy tashqi maydonga joylashtirilsa, u holda bu momentning vektori oldinga siljiy boshlaydi, ya'ni tashqi maydon yo'nalishi bo'yicha aylanadi. Xuddi shu tarzda burilish o'qi vertikal atrofida (aylanadi), agar u qat'iy vertikal holda emas, balki ma'lum bir burchak ostida o'ralgan bo'lsa. Bunda magnit maydonning rolini tortishish kuchi o'ynaydi.

Prekessiya chastotasi yadroning xususiyatlari bilan ham, magnit maydon kuchi bilan ham aniqlanadi: maydon qanchalik kuchli bo'lsa, chastota ham shuncha yuqori bo'ladi. Keyin agar doimiy tashqi magnit maydondan tashqari, o'zgaruvchan magnit maydon yadroga ta'sir qilsa, u holda yadro bu maydon bilan

o'zaro aloqada bo'lishni boshlaydi - go'yo yadroni kuchliroq silkitadi, prekessiya amplitudasi oshadi va yadro o'zgaruvchan maydon energiyasini yutadi. Biroq, bu faqat rezonans sharoitida sodir bo'ladi, ya'ni prekessiya chastotasi va tashqi o'zgaruvchan maydon chastotasining tasodifiyligi. Bu o'rta maktab fizikasidan klassik misolga o'xshaydi - ko'prik bo'ylab o'tayotgan askarlar. Agar qadam chastotasi ko'prikning tabiiy chastotasiga to'g'ri keladigan bo'lsa, u holda ko'prik tobora ko'proq tebranadi. Eksperimental ravishda, bu hodisa o'zgaruvchan maydonning yutilishining uning chastotasiga bog'liqligida namoyon bo'ladi. Rezonans paytida yutilish keskin oshadi va eng oddiy magnit-rezonans spektri quyidagicha ko'rinadi:

***Furye spektroskopiyasi.*** Birinchi YMR spektrometrlari aynan yuqorida aytilganidek ishlagan - namuna doimiy magnit maydonga joylashtirilgan va unga doimiy ravishda radiochastota nurlanishi qo'llanilgan. Keyin o'zgaruvchan maydon chastotasi yoki doimiy magnit maydon intensivligi bir tekis o'zgarib turardi. O'zgaruvchan maydonning energiya yutishini radio chastotali ko'prik qayd etdi, undan signal yozuvchiga yoki osiloskopga chiqarildi. Ammo bu signalni ro'yxatdan o'tkazish usuli uzoq vaqtdan beri ishlatilmayapti. Zamonaviy YMR spektrometrlarida spektr impulslar yordamida qayd etiladi. Yadrolarning magnit momentlari qisqa muddatli kuchli zarba bilan hayajonlanadi, undan so'ng signal yoziladi, magnit momentlarga erkin o'tish bilan chastotali chastotada hosil bo'ladi.

Ushbu signal asta-sekin nolga kamayadi, chunki magnit momentlar muvozanatga qaytadi (bu jarayon magnit bo'shashish deb ataladi). YMR spektri ushbu signaldan Furye transformatsiyasi yordamida olinadi. Bu har qanday signalni chastota harmonikasiga ajratish va shu bilan ushbu signalning chastota spektrini olishga imkon beradigan standart matematik protsedura. Spektrni qayd etishning bu usuli shovqin darajasini sezilarli darajada pasaytirishi va tajribalarni ancha tez o'tkazishi mumkin.

Shu bilan birga, tadqiqotchi yadro magnit momentlari tizimi bilan qanday manipulyatsiyalarni amalga oshirishi kerakligiga qarab, tajribada turli xil davomiylik, amplitudali, ularning orasidagi turli xil kechikishlar bilan va hokazo

bunday impulslar juda ko'p bo'lishi mumkin. Shunga qaramay, deyarli barcha bu impulslar ketma-ketligi xuddi shu narsa bilan tugaydi - Furye konvertatsiyasidan keyin erkin presessiya signalini yozib olish.

**Moddadagi magnit ta'sirlar.** Magnit rezonans o'z-o'zidan, agar yadrolarning bir-biri bilan va molekulaning elektron qatlami bilan magnit o'zaro ta'sirida bo'lmasa, shunchaki qiziqarli fizik hodisadan boshqa narsa bo'lib qolmaydi. Ushbu o'zaro ta'sirlar rezonans parametrlariga ta'sir qiladi va ularning yordami bilan YMR usuli yordamida molekulalarning xususiyatlari – ularning yo'nalishi, fazoviy tuzilishi (konformatsiyasi), molekulalararo o'zaro ta'sirlari, kimyoviy almashinuvi, aylanish va aylanish dinamikasi haqida turli xil ma'lumotlarni olish mumkin.

Shu tufayli YMR nafaqat fizikada, balki asosan kimyo va molekulyar biologiyada keng qo'llaniladigan moddalarni molekulyar darajada o'rganish uchun juda kuchli vositaga aylandi. Ushbu o'zaro ta'sirlardan biri bu kimyoviy siljish deb ataladi. Uning mohiyati quyidagicha: molekulaning elektron qobig'i tashqi magnit maydonga javob beradi va uni skrining qilishga harakat qiladi - magnit maydonining qisman skriningi barcha diamagnetik moddalarda uchraydi. Bu shuni anglatadiki, molekuladagi magnit maydon tashqi magnit maydonidan juda oz miqdorda farq qiladi, bu kimyoviy siljish deb ataladi.

Biroq molekulaning turli qismlarida elektron qobig'ining xususiyatlari har xil va kimyoviy siljish ham har xil. Shunga ko'ra, molekulaning turli qismlarida yadrolarning rezonans sharoitlari ham har xil bo'ladi. Bu spektrdagi kimyoviy jihatdan tengsiz yadrolarni ajratib olishga imkon beradi. Masalan, vodorod yadrolari (protonlar) spektrini olsak toza suv u holda u bitta chiziqqa ega bo'ladi, chunki H<sub>2</sub>O molekulasidagi ikkala proton ham bir xil. Ammo metil spirt CH<sub>3</sub>OH uchun spektrda allaqachon ikkita chiziq bo'ladi (agar biz boshqa magnit o'zaro ta'sirlarni e'tiborsiz qoldirsak), chunki protonlarning ikki turi – metil guruhi CH<sub>3</sub> protonlari va kislorod atomiga bog'langan proton mavjud. Molekulalar murakkablashganda, chiziqlar soni ko'payadi.

**Magnit yadrolari.** YMRni turli xil yadrolarda kuzatish mumkin, ammo shuni aytish kerakki, barcha yadrolarning magnit momenti mavjud emas. Tez-tez sodir bo'ladiki, ba'zi izotoplar magnit momentga ega, boshqa yadro izotoplar esa yo'q. Hammasi bo'lib yuzdan ortiq turli xil izotoplar mavjud kimyoviy elementlar magnit yadrolari bilan, ammo tadqiqotlar odatda 1520 dan ortiq magnit yadrolardan foydalanadi, qolgan hamma narsa ekzotikdir. Har bir yadro magnit maydonining o'ziga xos xarakteristikasiga va giromagnetik nisbati deb ataladigan chastota chastotasiga ega. Barcha yadrolar uchun bu munosabatlar ma'lum.

Ular yordamida ma'lum bir magnit maydon uchun tadqiqotchiga zarur bo'lgan yadrolardan signal kuzatiladigan chastotani tanlash mumkin. YMR uchun eng muhim yadrolar protonlardir. Tabiatda ularning aksariyati bor va ular juda yuqori sezgirlikka ega. Kimyo va biologiya uchun uglerod, azot va kislorod yadrolari juda muhimdir, ammo olimlar ular bilan omadli bo'lmadilar: uglerod va kislorodning eng keng tarqalgan izotoplari,  $^{12}\text{C}$  va  $^{16}\text{O}$ , magnit momentga ega emas, azotning tabiiy izotopi  $^{14}\text{N}$  bir lahzaga ega, ammo u bir qator sabablarga ko'ra bu tajribalar uchun juda noqulay. YMR tajribalari uchun mos bo'lgan  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  va  $^{17}\text{O}$  izotoplari mavjud, ammo ularning tabiiy mo'lligi juda past va sezgirligi protonlar bilan taqqoslaganda juda past.

Shuning uchun YMR tadqiqotlari uchun ko'pincha izotoplar bilan boyitilgan maxsus namunalar tayyorlanadi, ularda u yoki bu yadroning tabiiy izotopi tajribalar uchun zarur bo'lgan bilan almashtiriladi. Ko'pgina hollarda ushbu protsedura juda qiyin va qimmatga tushadi, ammo ba'zida bu kerakli ma'lumotlarni olishning yagona usuli hisoblanadi.

**Elektron paramagnetik va to'rt qavatli rezonans.** YMR haqida gapirganda, boshqa ikkita jismoniy hodisani - elektron paramagnetik rezonansni (EPR) va yadro to'rt qavatli rezonansni (YTR) eslatib o'tmaslik mumkin emas. EPR tabiatan YMRga o'xshaydi, farq shundaki, rezonans atom yadrolarining emas, balki atomning elektron qobig'ining magnit momentlarida kuzatiladi. EPRni faqat o'sha molekulalarda yoki kimyoviy guruhlarda kuzatish mumkin, ularning elektron qatlami juft bo'lmagan elektron deb ataladi, keyin qobiq nolga teng bo'lmagan

magnit momentga ega. Bunday moddalar paramagnet deyiladi. EPR, YMR kabi, shuningdek, molekulyar darajada moddalarning turli xil strukturaviy va dinamik xususiyatlarini o'rganish uchun ishlatiladi, ammo uning qo'llanilish doirasi ancha tor. Bu asosan ko'pgina molekulalarda, ayniqsa tirik tabiatda, juft bo'lmagan elektronlarni o'z ichiga olganligi bilan bog'liq. Ba'zi hollarda siz paramagnetik zond deb ataladigan, ya'ni tergov qilinayotgan molekulaga bog'langan, juftlashtirilmagan elektronli kimyoviy guruhdan foydalanishingiz mumkin. Ammo ushbu yondashuv ushbu usulning imkoniyatlarini cheklaydigan aniq kamchiliklarga ega. Bundan tashqari, EPR YMRdagi kabi yuqori spektrli rezolyutsiyaga ega emas (ya'ni spektrda bitta chiziqni boshqasidan ajratish qobiliyati).

YTRning mohiyatini "barmoqlarga" tushuntirish eng qiyin. Ba'zi yadrolarda elektr to'rtburchak momenti deb ataladi. Ushbu moment yadroning elektr zaryadi taqsimotining sferik simmetriyadan og'ishini tavsiflaydi. Ushbu momentning gradiyent bilan o'zaro ta'siri elektr maydoni moddaning kristalli tuzilishi bilan bo'linishga olib keladi energiya darajasi yadrolari. Bunday holda rezonansni ushbu darajalar orasidagi o'tishlarga mos keladigan chastotada kuzatish mumkin. YMR va EPRdan farqli o'laroq, YTR tashqi magnit maydonni talab qilmaydi, chunki darajadagi bo'linish usiz sodir bo'ladi. YTR moddalarni o'rganish uchun ham ishlatiladi, ammo uning qo'llanilish doirasi EPRga qaraganda torroq.

YMRning afzalliklari va kamchiliklari. YMR - bu molekulalarni o'rganish uchun eng kuchli va informatsion usul. To'liq aytganda, bu bitta usul emas, bu juda ko'p miqdordagi turli xil eksperimentlar, ya'ni impulslar ketma-ketligi.

Garchi ularning barchasi YMR fenomeniga asoslangan bo'lsa-da, ammo ushbu tajribalarning har biri ma'lum bir aniq ma'lumotlarni olish uchun mo'ljallangan. Ushbu tajribalarning soni o'nlab, yuzlab bo'lmasa ham o'lchanadi. Nazariy jihatdan, YMR, agar hamma narsa bo'lmasa ham, deyarli barcha molekulalarning tuzilishi va dinamikasini o'rganishning barcha eksperimental usullari mumkin bo'lgan hamma narsani bajarishi mumkin, garchi amalda bu har doim ham mumkin emas.

YMR ning asosiy afzalliklaridan biri shundaki, bir tomondan uning tabiiy zondlari, ya'ni magnit yadrolari molekula bo'ylab tarqaladi, boshqa tomondan, bu yadrolarni bir-biridan ajratib olish va fazoviy selektiv ma'lumot olish imkonini beradi. Deyarli barcha boshqa usullar butun molekula bo'yicha o'rtacha hisoblangan yoki uning faqat bir qismi haqida ma'lumot beradi.

YMR ning ikkita asosiy kamchiliklari mavjud. Birinchidan, bu boshqa ko'plab eksperimental usullarga (optik spektroskopiya, lyuminestsentsiya, EPR va boshqalar) nisbatan past sezgirlikdir. Bu shovqinni o'rtacha hisoblash uchun signal uzoq vaqt to'planishi kerakligiga olib keladi. Ba'zi hollarda, YMR tajribasi hatto bir necha hafta davomida amalga oshirilishi mumkin. Ikkinchidan, bu uning yuqori narxidir. YMR spektrometrlari eng qimmat ilmiy asboblardan biri bo'lib, ularning narxi kamida yuz minglab dollarlarda o'lchanadi va eng qimmat spektrometrlarning narxi bir necha millionga teng.

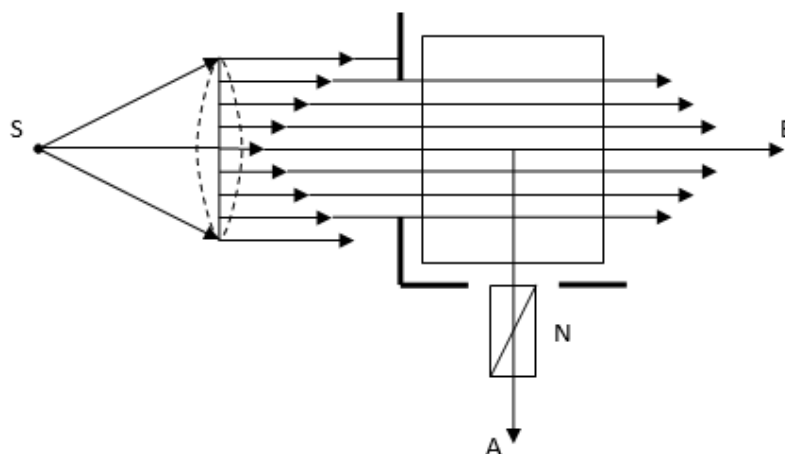
## **8.2. Yorug'likning sochilish usullari.**

Agar yorug'lik o'tayotgan muhit optik jihatdan bir jinsli bo'lsa, ya'ni uning sindirish ko'rsatkichi nuqtadan nuqtaga o'tganda o'zgarmasa, u holda bir xil hajmlarda yorug'lik to'lqini bir xil elektr momentlari induksiyalaydi, bu momentlarning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi oqibatida bir xil amplitudali ikkilamchi kogerent to'lqinlar xosil bo'ladi.

Agar muhit mutlaqo bir jinsli bo'lsa, to'lqin fronti bir-biridan l masofada joylashgan tengdosh hajmlarning ixtiyoriy ikkitasi chiqarayotgan ikkilamchi to'lqinlar bir-birini so'ndiradi. Bir jinsli muhitda yorug'lik sochilmay, faqat dastlabki yo'nalishda tarqaladi.

Yorug'lik sochilmasligining zaruriy va yetarli sharti - muhitning bir jinsli va ikkilamchi to'lqinlarning kogerent bo'lishidir. Real muhitlarda esa turli sabablar bilan yuzaga keladigan optik bir jinslimasliklar hamisha bo'ladi. Tajribalar ko'rsatadiki, yorug'likning sochilishi uchun muhitning bir jinsliliigi buzilishi muhim ahamiyatga ega.

Elektronlarning majburiy tebranishlari tufayli paydo bo'ladigan ikkilamchi to'lqinlar yorug'lik to'lqini olib kelayotgan energiyaning bir qismini chetga sochadi.



8.4-rasm. Yorug'likning sochilishi.

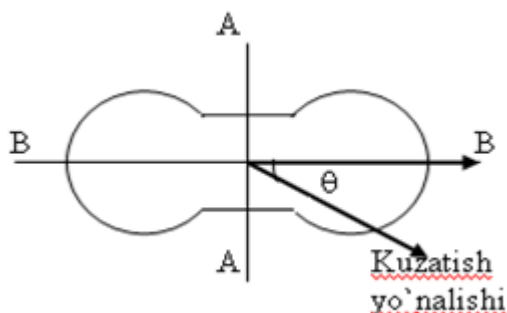
Yorug'likning muhitda tarqalishida sochilishini Frenel nazariyasiga asosan ikkilamchi nurlarning interferensiyasi yordamida tushuntirish mumkin. Bir jinslilikning buzilishi bu fazoviy bir jinslimasliklarda yuz beradigan difraksiya hodisalariga sabab bo'ladi. Bunday mayda birjinslimasliklar tufayli bo'ladigan difraksiya yorug'likning diffuziyasi yoki sochilishi deyiladi.

**Tindal** (1869-y.) ko'zga ko'rinadigan yorug'lik to'lqinining uzunligiga nisbatan kichik bo'lgan zarralarda sochilishini birinchi bo'lib laboratoriya sharoitida kuzatdi. U osmonning zangori bo'lib ko'rinishiga Quyosh yorug'ligining yer atmosferasidagi mayda chang zarralarida sochilishidan bo'lsa kerak deb hisoblagan.

Optik birjinslimasligi yaqqol ko'rinuvchi muhitlarga xira muhitlar deyiladi. Xira muhitlarda yorug'likning sochilishiga Tindal hodisasi deyiladi.

Xira muhitlarda yorug'lik sochilishini o'rganish tajribasi quyidagicha bo'ladi. Yon tomondan turib, A yo'nalishda kuzatgandan sochilgan yorug'lik S manbadan kelayotgan yorug'likka qaraganda zangoriroq bo'ladi; qalinligi

yetarlicha katta bo'lgan kyuvetadan B yo'nalishda o'tgan yorug'lik qizg'ish bo'ladi.



### 8.5-rasm. Xira muhitlarda yorug'likning sochilishi.

Sochilgan yorug'likni dastlabki dastaga nisbatan burchak ostida N qutblagich orqali kuzatganda, S manbadan kelayotgan yorug'lik tabiiy bo'lsa ham, sochilgan nurlar chiziqli qutblangan bo'ladi. Sochilgan yorug'likda elektr vektorining yo'nalishi dastlabki dasta va kuzatish yo'nalishi orqali o'tkazilgan tekislikka tik bo'ladi. Turli yo'nalishlar bo'yicha sochilgan yorug'likning intensivligini baxolasak, bu intensivlik dastlabki nur o'qiga nisbatan va unga perependikulyar bo'lgan chiziqqa nisbatan simmetrik bo'ladi.

Turli yo'nalishlar bo'yicha sochilgan yorug'lik intensivligi taqsimotini ko'rsatuvchi grafik sochilish indikatrasi deb ataladi. Tushayotgan yorug'lik tabiiy yorug'lik bo'lganda intensivlik

$$I \sim 1 + \cos^2 \theta \quad (8.1)$$

formula bilan ifodalanadi.

Reley (1899-y.) o'lchamlari yorug'lik to'liqin uzunligiga nisbatan kichik bo'lgan sferik zarralarda sochilgan yorug'lik intensivligini aniqlash uchun quyidagi ifodani taklif qildi:

$$I = I_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N(V')^2}{2\lambda^4 L^2} \left( \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (8.2)$$



Bu yerda:  $N$  - sochib yuboruvchi hajmdagi zarralar soni,  $V$  va  $\varepsilon$ - zarraning hajmi va dielektrik singdiruvchanligi,  $\varepsilon_0$  - muhitning dielektrik singdiruvchanligi,  $\theta$  - sochilish burchagi,  $L$  - kuzatish nuqtasigacha bo'lgan masofa.

Sochilgan yorug'lik intenesivligi to'liq uzunligining to'rtinchi darajasiga teskari proporsional ekan, bu qonunga Reley qonuni deyiladi. Ideal toza muhitlarda optik birjinslimaslik yuzaga kelishining sabablari quyidagilar:

*Kritik opalestsentsiya.* Zichlik fluktuatsiyasining ortishi uchun ayniqsa modda kritik holatining yaqinida qulay sharoit yuzaga keladi. Bu fluktuatsiyalar yorug'likning shunday intensiv sochilishiga olib keladiki, yorug'lik solingan shisha ampula butunlay qora bo'lib ko'rinadi (gaz yoki suyuqlikning kritik temperaturasida yorug'likning intensiv ravishda sochilish hodisasiga kritik opalestsentsiya deb ataladi).

*Yorug'likning suyuqlik sirtida sochilishi.* Hajmda bo'ladigan hodisalarga o'xshash sochilish suyuqlik sirtida ham bo'lishi mumkin. Suyuqlikning tekis sirti molekulyar harakat tufayli muttasil ravishda "buzilib" turadi va u yorug'likni sochadi. Ikki suyuqlik chegarasida kapillyar kuchlar kichik bo'ladi va yorug'lik chegaradan Frenel qonuniga asosan qaytibgina qolmasdan, balki hamma tomonga intensiv ravishda sochiladi. (L.I.Mandelshtam, 1913 y.).

*Yorug'likning toza moddada molekulyar sochilishi.* Mandelshtam (1907 y.) toza suyuqlik yoki gazlarda optik jihatdan birjinslimaslikka olib keladigan fizik sabablar borligini tushuntirib berdi. Mandelshtam va Smoxulovskiy (1908 y.) larning fikricha, bunga sabab zichlik fluktuatsiyasidir. Bu fluktuatsiyalar modda molekulalarining tartibsiz harakati tufayli yuzaga keladi; shuning uchun molekulalar sababchi bo'lgan bunday sochilishga molekulyar sochilish deyiladi.

A.Eynshteyn (1910 y.) yorug'likning kritik nuqtadan uzoqda molekulyar sochilishining miqdoriy nazariyasini yaratdi. Oddiy elektrodinamik hisob intensivlikning quyidagicha bo'lishini ko'rsatadi:

$$I = I_0 \frac{\pi^2}{2\lambda^4 L^2} V^* V \overline{(\Delta\varepsilon)^2} (1 + \cos^2 \theta) \quad (8.3)$$

Bu yerda  $V^*$ - fluktuatsiya yuz bergan hajm,  $\Delta\varepsilon$  - dielektrik singdiruvchanlik fluktuatsiyasi.

Eynshteyn optik birjinslimaslikka erigan moddalar  $c$  konsentratsiyasi xam sabab bo'lishini ko'rsatdi:

$$I = I_0 \frac{\pi^2 V}{2\lambda^4 L^2} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial c} \right)_{p,s}^2 \frac{cM}{N_A} (1 + \cos^2 \theta) \quad (8.4)$$

Yorug'likning molekulyar sochilishida sochilgan yorug'likda chastotalari

$$\omega_0 + \Omega, \quad \omega_0 - \Omega$$

bo'lgan ikkita satillet bo'lishi kerak. Bu yo'ldoshlar Mandelshtam-Brillyuen komponentalari deb ataladi va Reley chizig'ining nozik tuzilishini tashkil qiladi:

$$\pm \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\Omega}{\omega_0} = 2n \frac{v}{c} \sin \frac{1}{2} \theta \quad (8.5)$$

Bu Mandelshtam-Brillyuen formulasidir.

**Yorug'likning kombinatsion sochilishi.** Reley qonuniga asosan, sochilgan yorug'likda energiya taqsimoti birlamchi yorug'likdagi taqsimotdan spektrning qisqa to'lqinli qismida energiya qiyosan ortiq bo'lishi bilan farq qiladi. Biroq, Raman, Landsberg va Mandelshtamm (1928 y.) larning sinchiklab o'tkazgan tajribalari sochilgan yorug'lik spektrida tushayotgan yorug'likni xarakterlovchi chiziqlardan tashqari qo'shimcha chiziqlar bo'lishini ko'rsatdi, ular tushayotgan yorug'likning har bir chizig'i yonida turadi. Bu hodisaning quyidagi qonunlari tajribalardan topilgan:

1. Yo'ldoshlar tushayotgan yorug'likning har bir chizig'i yonida bo'ladi.
2. Uyg'otuvchi yorug'lik spektral chizig'ining chastotasi bilan yo'ldoshlardan har biri chiziqlarining chastotalari orasidagi farq sochuvchi modda uchun xarakterli bo'lib, uning molekulalarining xususiy tebranishlari chastotalariga teng.

3. Yo'ldoshlar tushuvchi chiziqdan ikki tomonda simmetrik yotuvchi ikki tizimdan iborat.

4. Temperatura ko'tarilganda "binafsha" yo'ldoshlarning intensivligi keskin oshadi.

Bu vaqtda sochilgan yorug'lik chastotasi tushayotgan yorug'lik bilan molekulalar ichida bo'ladigan tebranishlar chastotasining kombinatsiyasidan tarkib topadi. Shuning uchun bunday sochilishga kombinatsion sochilish deyiladi.

Kombinatsion sochilish usuli moddaning molekulyar tuzilishini tadqiq etishning muhim usuli hisoblanadi. Molekula tebranishlarining xususiy chastotalari bu usul yordamida osongina aniqlanadi, bu usul molekula simmetriyasining xarakter quvvatning yuqori darajadali termik texnologik jarayonlarda lazer nurini (unikal) yuqori darajadagi takomillashgan qurilmaga aylantiradi.

### **8.3 Lazer texnikasi tadqiqot usullari. Sensorlar.**

Lazer nuri uzluksiz doimiy amplitudali, impulslil va yuqori quvvatga ega bo'lishi mumkin. Ko'pgina qurilmalarda lazerdan boshqa manba orqali nurlanishni kuchaytirgich sifatida foydalaniladi. Kuchaytirilgan signal boshlang'ich signal bilan to'liq uzunligi, fazasi va qutblanishi bilan mos keladi. Bu optik qurilmalarda juda muhim hisoblanadi. Yorug'likning oddiy manbalari nurni turli yo'nalishlarda keng diapazon bo'ylab sochadi.

Bundan tashqari lazer bo'lmagan manbalarning nurlanishi odatda muhim qutblanishga ega bo'lmaydi. Aksincha, lazer nurlanishi monoxromatik va kogerent bo'lib, doimiy to'liq uzunligi va aniq fazaga shuningdek ma'lum qutblanishga ega. Kogerent bo'lmagan manbalardagiga qarama-qarshi ravishda kvant generatorning bir-biridan mikroskopik masofalarda bo'lgan qismlaridan chiqayotgan elektromagnetik to'liqlar o'zaro kogerent bo'ladi. Bu jihatdan kvant generatorlari kogerent radioto'liqlari manbalariga o'xshash bo'ladi.

Nurlanishning kogerentligi optik kvant generatorlarining qariyb hamma xususiyatlarida ko'rinadi. Nurlanishning to'la energiyasi bundan istisno bo'ladi, chunki bu energiya kogerent bo'lmagan manbalardagi kabi dastavval uzatilayotgan energiyaga bog'liq bo'ladi. Lazerlarning nurlanishi kogerentligi bilan bog'langan ajoyib xususiyati shundan iboratki, energiya vaqt davomida, spektrda, fazoda tarqalish yo'nalishlari bo'yicha konsentratsiyalanadi. Ba'zi kvant generatorlarining nurlanishi yuqori darajada monoxromatik bo'ladi. Boshqa lazerlar davom etish vaqti  $10^{-12}$  s ga teng bo'lgan juda qisqa impulslar chiqaradi, shuning uchun bunday nurlanishning oniy quvvati juda katta bo'lishi mumkin.

Lazerlarning yaratilishi insoniyat ilmiy-texnik taraqqiyotining ulkan yutuqlaridan biri desa bo'ladi. Lazerlar yaratilishining boshlanishi 1916-yilga borib taqaladi. O'sha yili buyuk fizik olim A.Eynshteyn birinchi bo'lib, majburiy nurlanish tushunchasini kiritdi va nazariy yo'l bilan majburiy nurlanish uni majburlovchi nurlanishga kogerentligini (mosligini) ko'rsatadi. 1930-yilda P.Dirak o'zi tomonidan yaratilgan nurlanishning kvantomexanik nazariyasi asosida majburiy nurlanish va uning kogerentlik xususiyatlarini chuqurroq va aniqroq taxlil qilib, tushuntirib berdi. Lekin bu lazerning yaratilishi uchun yetarli emas edi. 1930-yildan boshlab optik spektroskopiya sohasida ko'plab ilmiy-tadqiqot ishlari boshlanib ketdi.

Bu izlanishlar natijasida atomlar, molekulalar, ionlarning energetik sathlari haqida ko'plab ma'lumotlar olindi va keyinchalik turli lazerlarning yaratilishida ishlatildi. Bu ishlarga S.Y.Frish va V.A.Fabrikant kabi Rossiya olimlari ham o'z hissalarini qo'shishdi. 1939 yilda V.A.Fabrikant birinchi bo'lib, yorug'lik nurining majburiy nurlanish hisobiga kuchayishining imkoniyati borligini aytdi. 1951-yilning yozida, u o'zining xodimlari bilan majburiy nurlanish yordamida elektromagnit nurlanishni (ultrabinafsha, ko'rinuvchi, infraqizil va radioto'lqinlar sohasida) kuchaytirish uslubi uchun avtorlik guvohnomasini olishga taklif berishgan. Bu takliflarida lazerlarning faol muhitini yaratishning asosiy g'oyalari bayon etilgan edi. Lekin optik kuchaytirish g'oyalaridan tashqari, uni amalda

bajarish va nihoyat kogerent nurlarning hosil qilish uchun o'ziga xos teskari bog'lanishli optik rezonator bo'lishi kerak edi.

O'sha yillarda fanning optika bo'limida optik soha uchun rezonatorlar o'ylab topilmagan edi. Kvant elektronikasi yoki lazerlar fizikasining rivojlanishida radiofizikaning bo'limi bo'lgan radiospektroskopiya muhim omil bo'ldi. Uning keskin rivojlanishi 1940-yillardan boshlanib, ilmiy izlanishlar yo'nalishi atom va molekula spektroskopiyasidan tashqari vaqt va chastotaning, ya'ni o'ta yuqori chastota (O'YUCH) standartlarini yaratilishga bag'ishlangan edi. Bu ilmiy izlanishlar natijasida 1950-yillarning boshlarida bir-birlaridan mustaqil ravishda N.G.Basov, A.M.Proxorov (FIAN, Rossiya) va Ch.Tauns (AQSH, Kolumbiya universiteti) tomonidan majburiy nurlanish g'oyalaridan amalda foydalanib, ammiak molekulasida ishlovchi molekulyar kuchaytirgich va generator (Mazer) yaratildi.

Mazer (Maser - microwave amplification by stimulated emission of radiation) - ingliz so'zlaridagi bosh harflardan tashkil topgan va mazmuni mikroto'lqinni majburiy nurlanish hisobiga kuchaytirishdir. Shu ishlari uchun ular 1964-yili Nobel mukofotining sovrindori bo'lishdi.

Kvant elektronikasining rivojlanishi elektromagnit to'lqinning yangi, infraqizil va ko'zga ko'rinuvchi sohalarida kogerent nurlanish olishga yo'naltirildi. Dunyoning ko'p ilmiy laboratoriyalarida lazerlar yaratish ustida ish boshlab yuborildi. Bu ishlarning rivojlanishida A.M.Proxorovning kvant qurilmalarida ochiq optik rezonator sifatida Fabri-Pero (etaloni) interferometrini qo'llash g'oyasi hal qiluvchi omil bo'ldi. Boshqa tomondan lazerlarning ba'zi turlari, masalan ranglantirilgan aralashmali lazerlar yoki yarim xromatik qattiq jisimli lazerlar chastotalarning bir qancha to'plamini keng spektral diapazonda boshqara oladi.

Lazerlar fanning ikki sohasi kvant mexanikasi va termodinamika hamkorligida yaratilgan. Lekin lazerlarning ko'pchilik turlari xatolar va urinishlar orqali yaratilgan. Dastlabki lazer 1960-yilda Teodor Meyman tomonidan Malibudagi Hyuz kompaniyasining tadqiqotlar laboratoriyasida yaratilgan.

Meyman o'z ixtirosida 694 nanometr to'lqin uzunligida qizil nurlanish beruvchi rubindan yasalgan sterjendan foydalandi. Deyarli u bilan bir vaqtda eronlik fizik Ali Yovon gazli lazerni namoyish qildi. Keyinroq u o'z ixtirosi uchun Albert Eynshteyn nomidagi mukofotga sazovor bo'ldi.

Lazer ishlashining asosiy mohiyati, ishlovchi qismning uyg'otishi natijasida elektronlarning ko'chishi bilan bog'liq. Ishlovchi qism optik rezonatorga o'rnatiladi. Majburiy nurlantiruvchi mexanizm yordamida to'lqinlar aylanishi natijasida uning energiyasi eksponensial ravishda ortib boradi. Nurni kuchaytiradigan aktiv muhitning tipiga qarab lazerlar - qattiq jisimli, gazli, yarimo'tkazgichli va suyuqlikli lazerlarga bo'linadi. Yanada aniqroq aytganda, lazerlarning turlarini sinflashda majburiy yig'ish usuli ham muhim rol o'ynaydi.

Insoniyat rivojlangan sari ming yillardan buyon biologik organizmlarda, jumladan, inson organizmida ishlayotgan tabiiy mexanizmlar ishlashini tushinishga va o'zlashtirishga harakat qilib keladi. Bunday intilishlar ba'zan odam va hayvonlar sezgi a'zolarini takrorlovchi. Elektron qurilmalar yaratishga olib keladi.

Ushbu qurilmalar, asosan, tashqi ta'sirga sezgir sensorlar (inglizcha "sense" - "sezish") yoki datchiklar tashkil qiladi. Bunday qurilmalar hozir avtomabillarda, musiqa markazlarida, muzlatkichlarda va boshqa turmush asboblarida qo'llanilmoqda. Datchiklar qo'riqlash uskunalarda, seysmo - datchiklarda, o't ketishining oldini olishda, tibbiyotda keng foydalaniladi.

Bugungi kunda ultratovush sensorlari juda shuhrat qozongan. Ishlash qonuniyati bo'yicha ular kichkina motorni eslatadi. Ular tarqatayotgan ultratovush to'lqinlari xonaning har qanday burchaklariga kirib boradi. Xona geometriyasidagi ozgina o'zgarish, masalan, biror kutilmagan mehmonning xonaga kirishi, darhol signal qurilmasini ishga soladi.

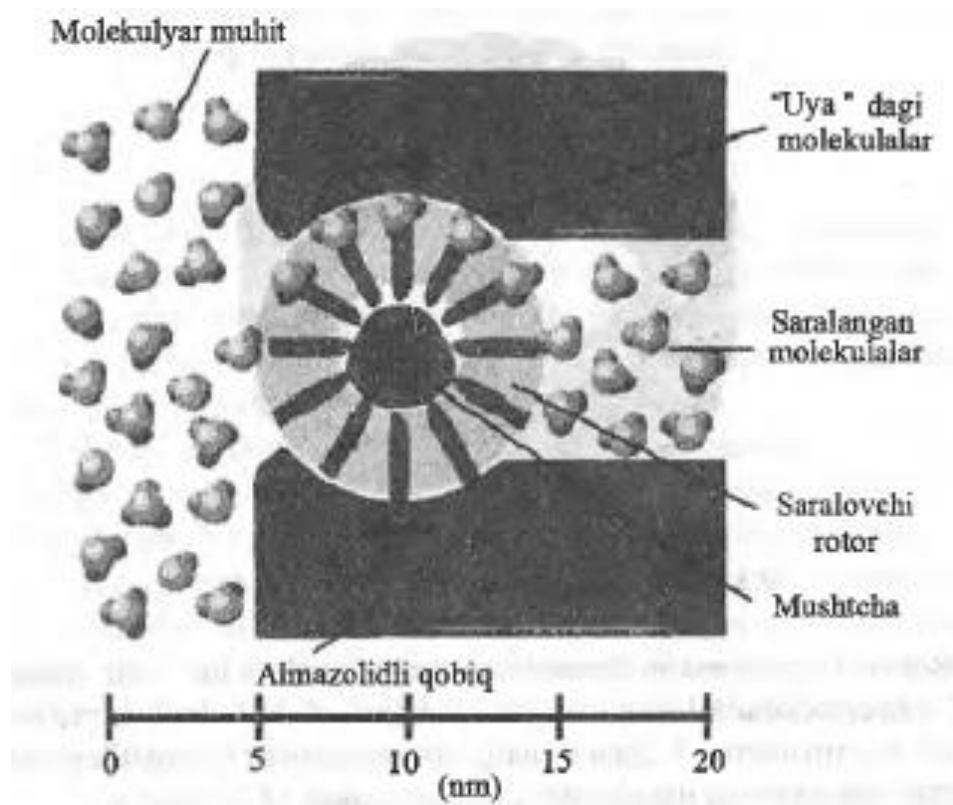
Infraqizil datchiklarning ishlash qonuniyatlari ham shunga o'xshash. O'zidan issiqlik nurlanishi chiqaruvchi obyektlar (masalan, odam yoki hayvon) datchikning ishlash zonasiga kirib qolsa, u signal beradi. Poyezoelektrik sensorlar

buyumlarga mexanik ta'sirni sezish uchun ishlatilib, seyflarni va muzey eksponatlarini qo'riqlashda ishlatiladi.

Bunday qurilmalar buyumdagi 1 mikrongacha bo'lgan siljishlarni seza oladi. Hozir juda ommalashgan gazli sensorlar yarimo'tkazgich membrana orqali o'tayotgan havo tarkibini analiz qilish orqali ishlaydi. Sensorga kirayotgan havo molekulari o'lchagich elektrod yaqinida joylashgan elektrolit bilan reaksiyaga kirishadi. Reaksiya natijasida hosil bo'lgan elektr toki o'lchanib, atmosfera tarkibida u yoki bu modda borligi haqida xulosa chiqarish mumkin. Bunday qurilmalar gazlarning chiqib ketishi, atmosferada zaharli va portlovchi gazlar (masalan, vodorod) bor - yo'qligini aniqlash imkonini beradi.

Nanosensorlar - bu nanomasshtablardagi effektlarda ishlaydigan sezgir elementlardir. Bugungi kunda nanosensorlar murakkab qurilmalar holatini aniqlash, uy ro'zg'or texnikasi va biotibbiyotda keng qo'llanilmoqda. Nar yordamida faqat bir turdagi molekularni ajratuvchi nanoretseptor ishlashini ko'rib chiqamiz. Qanday qilib faqat markaziy kompyuter tanlagan molekularni ajratib oluvchi programmashtirilgan nanoretseptor yaratish mumkin? Saralash qanchalik toza bo'ladi?

Bu savollarning barchasiga nanoretseptorlar va nanostrukturalarni matematik modellash yordamida javob topsa bo'ladi. Molekular saralovchi rotor (MSR) deb nomlangan mumtoz nanoretseptor Erik Dreksler tomonidan taklif qilingan. Unda har bir rotor ma'lum bir molekularga mo'ljallangan "uyachalarga" egadir. Turli xil molekular ichida turgan "uyacha" faqat taningan molekularni tutib qoladi va uni qurilma ichiga kirib ketguncha ushlab turadi. Bunday rotorlar 105 ta atomlardan tuzilgan bo'lib, 7x14x14 nm o'lchamga va  $10^{-21}$  kg massaga ega bo'ladi. Ular atomlar soni 20 tadan oshmagan molekularni  $10^6$  molekula/sek tezlik bilan va bir molekularga  $10^{-22}$  J energiya sarifida ishlashi mumkin. MSR  $10^{-19}$  Vt energiya iste'mol qilgan holda 30000 atmosferagacha bosim hosil qilishi mumkin.

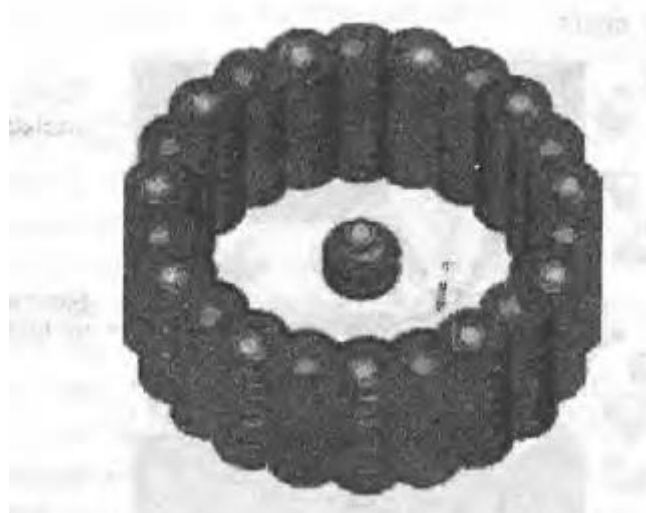


**8.6-rasm. Molekular saralovchi rotor.**

Rotor to'liq qayta tiklanuvchi bo'lib, gaz, suv va glyukoza molekulalarini damlash yoki chiqarish uchun ishlatilishi mumkin. Har bir rotor uning uzunasi bo'ylab joylashgan molekulalarni tutib olish uchun 12 ta "uyachadan" iboratdir. Molekular saralovchi rotor katta idishlarga birorta ham begona molekulasiz yo'q, kimyoviy toza moddalarni damlash imkonini beradi. Rotorlarning "uyachalari" maxsus tuzilishga ega bo'lib, ular ba'zi fermentlarning faol markazlari singari, atomma - atom yig'iladi. Masalan, geksokiriaz fermenti glyukoza uchun "uyacha" bo'ladi.

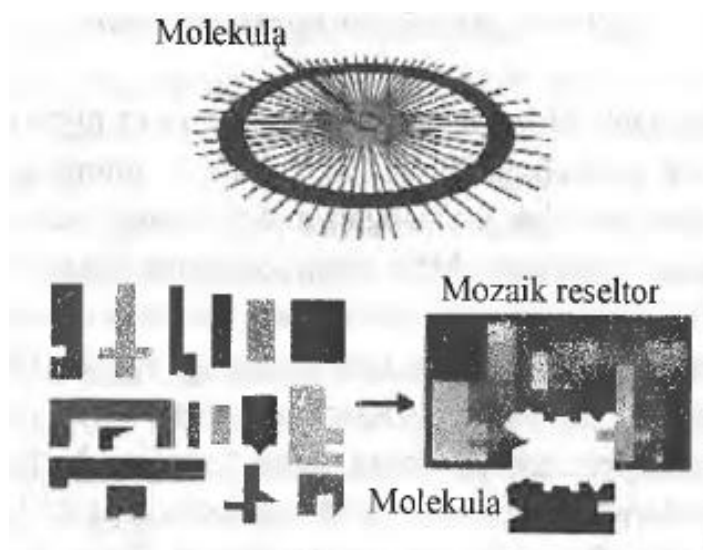
Erik Drekslarning hamkasbi va Xerox kompaniyasi tadqiqotchisi Ralf Merkle uzunchoq, chiziqli molekulalarni "tutuvchi uyachalar" uchun nanonaychalardan foydalanish mumkin deb taxmin qiladi. Ralf turli uzun molekulalar uchun zarur bo'lgan nanonaychalar o'lchamlarini hisoblab chiqdi. Bunday nanonaychali retseptor quyidagi rasmda ko'rsatilgandek bo'lishi mumkin.





**8.7-rasm. Nanonaycha “uya” vazifasida.**

Robert Fraytas esa molekulalarni saralash uchun bir qator “mexanik” retseptorlarni taklif qilmoqda. Ular turli shaklda bo’lib, ma’nosi bir xil: kompyuterdan kelgan signalga qarab retseptor avtomatik ravishda saralanayotgan molekula shakliga kirib qoladi



**8.8-rasm. Fraytasning saralovchi retseptorlari.**

Bir qurilmada elektronika va sezgir nanoelementlarning birikishi, juda ko’p qiziqarli ilmiy loyihalarni keltirib chiqardi. Ularning ko’plari hayotga tatbiq etildi, ba’zilari esa qo’llanilish arafasida turibdi. Ularning ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

Optik sensorlar-elektromagnit nurlanish ta’sirida ko’rinadigan, infraqizil va

ultrabinafsha diapazonlarda kichik o'lchamli elektron qurilmalar ro'yxatga olish yoki nazorat qilish tizimining kiritilishida yagona yoki signal to'plamini yetkazib beradi. Optik sensorlar shaffof narsalarga, suv bug'iga, tutunga, aerezollarga javob beradi. Optik sensorlar optik kontaktsiz kalitlar, fotosensorlar, fotoelektrik sensorlar ham deyiladi.

Qurilma turiga ko'ra, optik sensorlar monoblok va ikki blokli bo'linadi. Monoblok radiatorida va qabul qilgich bir xil holatda. Ikki blokli sensorlarda radiatsiya manbai va optik signal qabul qiluvchisi alohida qurilmalarda joylashgan. Operatsion prinsipiga ko'ra, optik sensorlarning uchta guruhi mavjud:

- t turi - to'siq turi sensorlar (alohida radiatoridan nurni qabul qilish);
- r turi - refleks turi sensorlar (katafot tomonidan aks ettirilgan nurni qabul qilish);
- D turi - diffuziya turi sensorlar (obyekt tomonidan tarqalgan nur qabul qilish)

Bariyer tipidagi sensorlarda radiator va qabul qilgich bir-biriga qarama qarshi ravishda bir xil eksa o'rnatilgan alohida korpuslarda joylashgan. Binolar oralig'i 100 metrga yetishi mumkin. Optik sensorning faol zonasiga kirgan obyekt nurning o'tishini to'xtatadi. O'zgarish qabul qilgich tomonidan belgilanadi, qayta ishlashdan keyin paydo bo'lgan signal boshqariladigan qurilmaga beriladi.

Reflektor turi sensorlar bir xil holatda va optik signal uzatgichida va qabul qilgichda saqlanadi. Nurni aks ettirish uchun reflektor (katafot) ishlatiladi. Ushbu turdagi sensorlar mahsulot miqdorini hisoblash uchun konveyerda faol ishlatiladi. Ko'zda tutilmagan turdagi sensorlarda ko'zgu, aks ettiruvchi metall yuzasi bo'lgan narsalarni aniqlash uchun polarizatsiya filtri ishlatiladi. Ko'zda tutilmagan turdagi sensorlarning masofa 8 metrga yetishi mumkin. Diffuziya aks ettirish sensorlarida optik signal manbai va uning qabul qiluvchisi bir xil holatda. Qabul qilgich nazorat ostida obyekt tomonidan aks ettirilgan nurning qizg'inligini hisobga oladi. Ushbu turdagi sensorlarda ishlashning aniqligi uchun fonni bostirish funksiyasi yoqilishi mumkin. Masofa obyektning aks etuvchi xususiyatlariga bog'liq bo'lib, tuzatish koeffitsienti bilan aniqlanishi mumkin va standart maqsad ishlatilganda 2 metrga

yetishi mumkin. Optik sensorlar ish holati ko'rsatkichiga ega va odatda sezgirlik regulyatori bo'lib, u salbiy fonda joylashgan obyektga signalni sozlash imkonini beradi. Zamonaviy optik sensorlarda radiatsiya manbai ledlardir.

Ulanish diagrammasi. Optik sensor chiqishi ochiq kollektorli PNP yoki NPN tipidagi tranzistorga ega. Yuk tranzistor turiga, umumiy minus yoki ortiqcha simga qarab, chiqish va chiqish o'rtasida ulanadi. Agar yuk asl holatda ulangan bo'lsa, u holda bu aniq kontaktning funksiyasi amalga oshiriladi va aksincha.

Dastur doirasi. Avtomatlashtirilgan nazorat tizimlarining tarkibiy qismi sifatida optik sensorlar obyektlarning mavjudligi va miqdorini aniqlash, ularning yuzasida stikerlar, yozuvlar yoki teglar mavjudligi, obyektlarni joylashtirish va tartiblash uchun keng qo'llaniladi. Optik sensorlar yordamida masofa, o'lchovlar, daraja, rang va shaffoflik darajasini nazorat qilish mumkin. Ular avtomatik yoritish nazorat qilish tizimlari, masofadan nazorat qilish asboblari, xavfsizlik tizimlarida ishlatiladi.

***Lazerni o'lchash sensori prinsipi va qo'llanilishi:*** Lazerli masofaviy sensorni ishlab chiqarish Lazer aniqlanish sohasida keng qo'llaniladi va uning texnik tarkibi juda boy va uning ijtimoiy ishlab chiqarish va hayotga ta'siri ham ravshan.

Lazerni o'lchash lazerlarning qo'llanilishlaridan biridir. Buning sababi, lazer kuchli yo'naltirish, yuqori yorqinlik va yaxshi monoxromatiklik kabi ko'plab afzalliklarga ega. Lazerni o'lchash printsipial jihatdan sodda va tuzilish jihatidan sodda bo'lsada, u asosan harbiy va ilmiy tadqiqotlarda ishlatilgan, ammo sanoat avtomatlashtirishida kam uchraydi. Aslida, ko'plab sanoat foydalanuvchilari uzoq masofalarga aniq masofani aniqlashga erishadigan sensorni qidirmoqdalar. Ko'pgina hollarda, sensorning yaqinligi jismoniy joylashuvi va ishlab chiqarish muhiti bilan cheklanadi, bugungi kunda lazer diapazonidagi sensorlar bunday vaziyatlarda muhandislar uchun muammoni hal qiladi.

Lazer sensori ishlayotganda lazer pulsi birinchi navbatda lazer diodi tomonidan maqsadga yo'naltiriladi. Lazer nishonni aks ettirganidan keyin barcha yo'nalishlarda tarqaladi. Tarqalgan yorug'likning bir qismi optik tizim tomonidan

qabul qilingan va ko'chki fotodiodiga tushirilgan sensor qabul qilgichiga qaytariladi. Nishon masofani yorug'lik pulsi chiqarilgandan qaytarish qabul qilinguncha o'tgan vaqtni yozish va qayta ishlash orqali aniqlash mumkin. Lazerli sensorlar uzatish vaqtini aniq o'lchashlari kerak.

Boshqa texnologiyalardan foydalanilmaydigan dasturlarda lazer masofa sezgichlaridan foydalanish mumkin. Masalan, mo'ljal juda yaqin bo'lganda, maqsadli yoritilgan yorug'likdan umumiy fotoelektrik sensorni hisoblash ham ko'plab aniq pozitsiyalarni aniqlash vazifalarini bajarishi mumkin. Biroq, maqsad masofasi uzoqroq bo'lsa yoki maqsad rangi o'zgarganda, oddiy fotoelektrik sensorni yengish qiyin. Oldinga orqa shovqinni bostirish sensori va triangulyatsiya sensori maqsadli rang o'zgarganda yaxshi ishlaydi, ammo maqsad burchagi o'rnatilmagan yoki maqsad juda yorug' bo'lganda ishlashning taxminiy qobiliyati yomonlashadi.

Bundan tashqari, triangulyatsiya sensori odatda 0,5 m oraliqda cheklangan. Ultrasonik sensorlar ko'pincha bir-biridan uzoq bo'lgan narsalarni aniqlash uchun ishlatiladi va ular optik moslamalar bo'lmaganligi sababli rang o'zgarishiga ta'sir qilmaydi. Ultrasonik sensorning kamchiliklari quyidagilardan iborat:

1. Sinovdan o'tkaziladigan obyekt sensorning konvertoriga perpendikulyar emas. Ultratovush tekshiruvining maqsadi sensorning vertikal azimutidan  $10^\circ$  dan oshmasligi kerak.
2. Nurning diametri kichik bo'lgan joyda. Chunki umumiy ultrasonik nur sensordan 2 m masofada joylashganida 0,76 sm.
3. Ko'rinadigan nuqta joylashishni aniqlash uchun kerak bo'lganda.
4. Shamolli vaziyat.
5. Vakuum holati.
6. Harorat gradiyenti katta bo'lgan joyda. Chunki bu holat tovush tezligining o'zgarishiga olib keladi.

***Lazerlar yordamida qurilish materiallariga ishlov berish.*** Keyingi 20 yil ichida qayta ishlanayotgan materiallarni lazer qurilmalarini qo'llash bilan qizdirish usuli keng ishlatila boshlandi. Hozir to'la asos bilan shuni aytish mumkinki, "lazer

texnologiyasi” deb maxsus termin bilan ataluvchi bu yangi yo’nalish to’laligicha shakllandi: ya’ni, uning asosiy fizik xususiyatlari o’rganildi, asbob-uskunalar turkumi ishlab chiqildi, sanoat va ishlab chiqarish masshtabida yuzaga keluvchi qator texnologik muammolar hal etildi. Lazerlarni qo’llash natijasida mehnat unumdorligi keskin ortib, ishlab chiqarilayotgan mahsulotning sifati yaxshilanib, tannarxi pasaydi. Hozirgi kunda ishlab chiqarishning ba’zi turlarini lazerlarsiz tasavvur qilish qiyin. Lazer texnologiyasi turli soha mutaxassislarini: texnologlar, apparaturachilar, turli uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi barcha tadqiqotchilarni borgan sari o’ziga ko’proq jalb etmoqda. Xo’sh, lazer texnologiyasi qanday xususiyati bilan bunday e’tiborga sazovor bo’lmoqda? Bu savolga javob berishdan oldin qudratli lazer nurlarining boshqa modda - narsalarga qanday ta’sir etishini ko’rib o’tamiz.

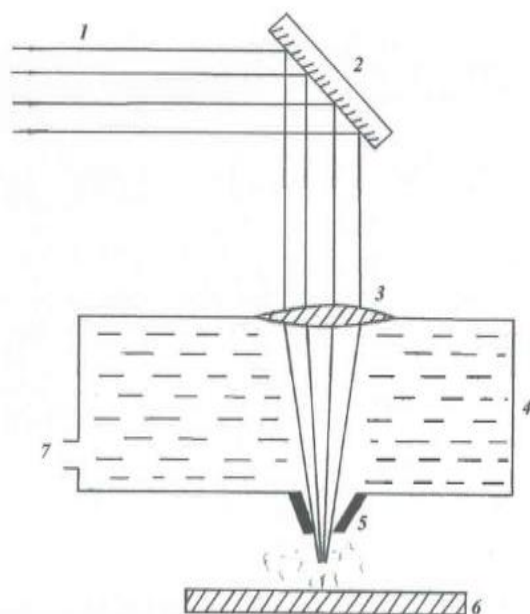
Lazer nurlarining moddalarga ta’siri shundan iboratki, uning kvantlari atom va molekulalar orqali qayta ishlanayotgan materialning ustki qatlamlariga energiya berib turadi. Lazer bilan nurlantirilgan sirtidagi zichlik quvvati qisqa vaqt ichida bir kvadrat santimetrda yuzlab milliard vattga teng bo’ladi. Metallning sirtiga kuchli lazer nurini yo’naltirib, uning intensivligini tobora oshirib boramiz. Nurning intensivligi  $10^5 \text{ Wt/sm}^2$  ga yetganda metallning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurlil dog’ ostida suyuq metall paydo bo’ladi. Lazer nurining intensivligini  $10^6$ - $10^7 \text{ Wt/sm}^2$  gacha yetkazamiz. Endi erish bilan birga materialning intensiv ravishda bug’lanishi ham boshlanadi, natijada metall sirtida chuqurcha hosil bo’ladi. Nurning intensivligi o’rtacha  $10^9 \text{ Wt/sm}^2$  ga yetganda nur moddaning bug’larini tezlik bilan ionlashtirib plazmaga aylantiradi. Bunda nur intensiv ravishda plazmaga yutila boshlaydi. U lazer nurlarini materialning sirtiga o’tishini to’sib qo’yadi. Materialni lazer nuri bilan qayta ishlashda plazmaning hosil bo’lishiga yo’l qo’ymaslik lozim. Demak, nurning intensivligi uncha katta bo’lmasligi kerak. Shundan ko’rinib turibdiki, materialning xususiyati va qaysi turda ishlanishidan qat’iy nazar, nurlanishning ma’lum energetik va vaqtinchalik xarakteristikali turlaridan to’la foydalanish mumkin. Masalan materialni bir-biriga payvandlab ulash uchun unga intensiv bo’lmagan va shu bilan birga uzoq vaqt davom etadigan

impulsi (davomiyligi  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  sm) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impulslar qo'llanadi.

Lazerli texnologiyaning afzalligini materialni qayta ishlashdagi yuqori sifatli aniqlikka erishish, turlicha fizikaviy va mexanik xususiyatga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni payvandlash texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi, ishlab chiqarish madaniyatini oshirib, mehnat sharoitini yaxshilaydi. Yuqorida sanab o'tilgan afzalliklar asosida qator diqqatga sazovor yangi va samarador lazerli texnologik jarayonlar yaratildi. Shulardan ba'zilarni ko'rib o'tamiz

***Gazli-Lazerli kesish va termik qizdirish.*** Ko'p yillardan beri kimyoviy reaksiya energiyasidan materiallarni kesishda kislorodli-atsetilenli olov foydalanib kelinar edi. Bunda materialni qirqish oksidlanish jarayonida ajralib chiqqan issiq energiya hisobiga yuz berar edi. Shunga o'xshash lazerli isitish va kislorodli oqimli (8.9-rasm) karbonat angidrid gazidagi lazerlar ( $\text{CO}_2$  lazerli) yordamida metallarni qirqishda foydalaniladi. Gaz oqimi bu holda qirqish zonasini oksidlanishidan saqlovchi muhim vazifani bajaradi. To'lqin uzunligi 10,6 mkm bo'lgan  $\text{CO}_2$  lazeri bilan nurlangan qayta ishlanayotgan materialga qaytarmali oyna va fokusga to'plangan linzalar orqali yuboriladi. Nur bilan birga kesish joyiga kislorod ham yuboriladi. Kesish jarayoni linza, fokuslari bilan detallarning aralashishi orqali yuz beradi. Bu texnologik jarayonning ahamiyati shundaki, 0,4 mmdan oshmagan kichik kesish kengligida eng yuqori tezlikda ish olib borish mumkin. Masalan yo'g'onligi 10 mmli titan minutiga 2,5 m tezlikda kesiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, titanga nisbatan issiqlik o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan alyuminiy va mis kabi metallarga bunday qayta ishlash ta'sir etmaydi. Biroq kislorod o'rniga reaktiv (kimyoviy reaksiyani amalga oshirish uchun ishlatiladigan modda) bo'lmagan gazlar (azot va inert gazlar) ishlatilganda bu usulni yuqoridagi metallarga ham ishlatish mumkin bo'ladi. Bundan tashqari, bu gazlar kesish maydoni mato, fanerlar, qog'ozlar va plastiklarni bichish paytida materialni

kuydirib qo'yishni oldini oladi. Bunda inert gazning oqimi kesilgan joyning o'rnini sovitib, materialning yemirilgan qismlarini ajratib olish imkonini beradi.



8.9- rasm. Materiallarni gaz lazerli kesish qurilmasining sxemasi :

- 1) CO<sub>2</sub> lazer nuri; 2) burilish oynasi; 3) germaniyli linza; 4) kesuvchi; 5) soplo;  
6) qayta ishlanadigan buyum; 7) gazni yuborish.

8.1-jadval.

Turli materiallarni lazer bilan kesishdagi asosiy parametrlar.

<i>Materiallar</i>	<i>Yo'g'onligi, Mm</i>	<i>Tezligi, m/min</i>	<i>Kengligi, mm</i>	<i>Quvvati kWt</i>
Alyuminiy	12	2	1	10
Uglerodli (karbonli po'lat)	6,25	2	1	15
Zanglamaydigan po'lat	5	1,25	2	20
Kompozitlar (bor, uglerod, karbon)	8	1,65	1	15
Kompozitlar (shishaplastikli)	12,5	4.6	0.6	20
Fanerlar	25	1,5	1,5	8
Pleksiglass	25	1,5	1,5	8
Shisha	9	1,5	1	10
Beton	40	0,05	6,2	8

Materialni gazli lazerlar bilan qirqishning o'ziga xos tomonlarini ko'rib o'taylik: mexanik ta'sir etmasdan turib lazerlar bilan juda mo'rt, to'qilgan va juda yumshoq bo'lgan materiallarni ham kesish mumkin. Kesish zonasidagi yuqori harorat faqat olmosli asbob (metalli keramika, shishali uglerod va boshqalar) bilangina ta'sir etish mumkin bo'lgan eng chidamli va qiyin eriydigan materiallarni ham qayta ishlash imkonini beradi. Lazerli kesish usuli bugungi kunda qanchalik keng qo'llanilayotganini ko'rsatish maqsadida bir necha misollar keltirib o'tamiz. Birinchi misol - zanonaviy to'quv fabrikasida lazerli kesish va matoni bichishni olaylik. Qurilma CO<sub>2</sub> lazerli fokuslangan sistema va lazer nurlari aralashishidan, EHM dan iborat. Kesish jarayonida nur matoning ustki qismida 1 m/sek tezlikda aralashib turadi. Nurlarning shunday aralashuvi va matolarni EHM boshqarib turadi. Bunday qurilmalar bir soat davomida materialdan 50 ta kostyumni bichib bera oladi. Yana boshqa misol - lazerli kesishni aviatsiya sanoatida, jumladan, kosmik uchuvchi-apparatlarni ishlab chiqishda qo'llash. Bunda lazerlar yordamida titan, po'lat, alyuminiy varaqlarni avtomatik qirqish amalga oshiriladi.

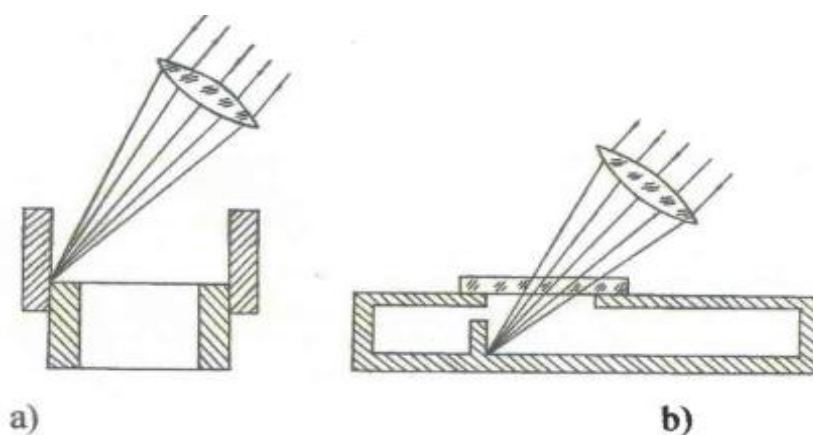
Keyingi paytlarda mutaxasislarni materiallarni lazerli termik qizitish usuli o'ziga jalb etmoqda. U nimalardan iborat? Ko'pgina mo'rt materiallar temperaturaning keskin o'zgarishi bilan qiziydi. Termik qizitishni boshqarish maqsadida hozir CO<sub>2</sub> lazer qo'llay boshlashdi. Qizish lazer nurlari bilan isitish liniyasi bo'ylab ketadi. Bunday usulda issiq o'tkazish darajasi past bo'lgan va uncha mustahkam bo'lmagan materiallar qayta ishlanadi. Keyingi yillarda tog' jinslarini yemirish va tonellar qazishda lazer nurlaridan foydalanib yasalgan qurilmalar keng qo'llanila boshlandi. CO<sub>2</sub> lazer bilan nurlantirilgan yoqut va marmarning shakli o'zgartirilganda ularning mustahkamligi ancha kamayadi. CO<sub>2</sub> lazerini tonellar o'tkazish va tog' jinslarini yemirish maqsadida qo'llashning ahamiyati bir necha laboratoriyalarda o'rganilmoqda.

***Lazerli payvandlash va qayta toblash.*** Lazerli payvandlashni boshqa turdagi payvandlash bilan solishtirib ko'raylik. Lazer nurlari bilan payvandlash



*argon+elektr nurlari* bilan payvandlashga nisbatan qayta ishlanayotgan material sirtiga energiyaning ko'proq to'planishini ta'minlaydi. Elektr nuri bilan payvandlashga nisbatan lazerli payvandlashni ishlatish ancha qulay: vakuumli sistema talab qilinmaydi, payvandlashni "shaffof oyna" orqali amalga oshirish mumkin. Lazerli payvandlash turlicha materiallarni han bir-biriga ulay oladi. Hosil bo'lgan tugunlar ham xuddi o'sha ulangan metallardek puxta chidamliligi bilan ajralib turadi. Bu payvandlash mikoelektronikada simlarni bir-biriga ulash kabi katta operatsiyalarda keng qo'llaniladi. Hozirgi paytda 1-10 kWt quvvatda nurlantirilgan payvandlash usuli qo'llanilmoqda. Avtomatik lazerli payvandlash avtomobillarning kuzovini va kardan (avtomobilda va xususan mashinalarda oshiq-moshiqsimon mexanizm) devorlarini payvandlashda titan va amominid varaqlarini, gazli simlarni ulashda ishlatiladi. So'nggi yillarda shuningdek, metall bo'lmagan materiallarni ham payvandlash rivojlanmoqda.

Faraz qilaylik: elektron-nurli trubka ichidagi qandaydir sim uzilib kontakt buzildi. Shu qiyin joyni payvandlashda lazer nurlari qo'llaniladi (8.10-rasm).



**8.10-rasm a) o'ta qiyin joylarni lazerli payvandlash; b) vakuumli yoki ichi gaz bilan to'ldirilgan kameralarni shaffof materiallar orqali lazerli payvandlash.**

Chunki, faqat lazergina vakuumli ballonning oynasidan o'ta olishi mumkin. Xuddi shu yerda lazer nurlarining eng ahamiyatli: uning eng qiyin joylarda ham payvandlash imkoniyatga ega ekanligida ko'rinadi. Shu bilan bog'liq ravishda inert

gazi bilan to'ldirilgan kameradagi u yoki bu mikroelektronika elementlarini ham payvandlash juda katta qiziqish uyg'otadi. Bu holda oksidlanish reaksiyasining oldi olinadi. Keyingi yillarda ko'pgina mamlakatlarda lazerli qayta toblash usuli juda avj olib ketdi. U rezistorlar qarshiligini to'g'rilash, material sirtini chiniqtirish, parametrlar qatlamini mustahkamligi vakuum pechlarida oddiy usulda qayta ishlangan qatlamlardan 2-3 marta ortadi. Lazerlarning mikroelektronikada qo'llanilishi haqida quyida to'xtalib o'tamiz.

Sirtida lazerli qayta toblash ayrim uncha katta bo'lmagan uchastkalarining mustahkamligini yanada oshirish maqsadida qo'llaniladi. Lazerdan foydalanish sirtqi qatlamni toblash, qayta ishlanayotgan detalni umumiy qizdirishsiz amalga oshirish imkoniyatini yaratadi, sirtqi va ichki qatlamni barobar toblantiradi, jarayonni tez amalga oshirish paytida detalni oksidlanishidan saqlaydi. Shunday qilib, lazerli toblash tanlangan maydon sirtini ta'mir etishdir. Lazerli toblash avtomobil sanoatida dvigatel silindri (golovka) boshchasini, yetakchi klapanlar va taqsimlovchi vallarni mustahkamlashda ishlatiladi. Sirtning qattiqligini ta'minlash maqsadida ham lazerli legirlash (metallga boshqa metall qo'shib fizik-kimyoviy xususiyatlarini yaxshilamoq) qo'llaniladi. Legirlovchi prisadkalar kukun ko'rinishida qayta ishlanadigan maydon sirtiga sepiladi. Lazer bilan nurlantirish jarayonida qizdirilgan kukun va material aralashib yupqa qatlamli detal paydo bo'ladi. Keyingi yillarda termik qayta ishlashga oid yangi lazerli texnologik jarayonlar paydo bo'ldi. Shunday jarayonlardan biriga materialni shisha bilan qoplash jarayoni ham kiradi. Agar lazer bilan nurlantirilgan materialning ustki qismi tez sovutilsa uning sirtida yupqa (shishasimon) amorfli qatlam qaydo bo'ladi, u juda yuqori sifatli bo'lib, korroziyalarga bardoshlilik bilan ajralib turadi.

***Lazerli parmalash.*** Lazer texnologiyasi bilan parmalash istalgan materialni tesha olish imkonini beradi. U ayniqsa, chidamliligi yuqori bo'lgan olmos, yoqut, sopol kabi materiallarni qayta ishlashda juda qo'l keladi. Lazerli parmalash mexanik parmalashdan o'zining sifatliligi bilan ajralib turadi, chunki qayta ishlanayotgan material bilan parmalash asbobi o'rtasida mexanik kontaktning

yo'qligi asbobning sinishiga yo'l qo'ymaydi hamda teshiklarning aniq ochilishini ta'minlaydi. Shuning bilar birgalikda ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi.

Lazer texnologiyasi bilan parmalash, ayniqsa soatsozlikda yoqut toshlar, olmos tola va filtrlarni ishlab chiqarishda keng qo'llanilmoqda. Shunday toshlarni parmalab ma'lum katta-kichiklikda parmalar yordamida teshikchalar ochish (diametri 0,05 mm) uchun 10-25 minutgina kifoya.

O'tgan asrning 60-yillaridan beri kam unumli parmalash metallarni bug'lantirish yo'li bilan teshik ochishga mo'ljallangan lazerli asboblardan almashtirilgan. Lazer qurilmalarining ishlab chiqarish unumdorligi bir sekunda bir teshik parmalash bilan tengdir. Bu esa mexanik parmalashdan ming marta yuqori unumdorlikka ega degan gapdir.

Juda ingichka sim olish uchun simlar juda kichik diametrli teshikchalardan o'tkazilib ingichkalashtiriladi. Bu teshikchalar (ingichkalashtirish kanallari) juda qattiq metallar, masalan olmosli qotishmalarga o'tkaziladi. Hammadan ham olmosdan o'tkazilgan teshikchalardan simni tortish (olmosli tola va filerlar) qulaydir. Lekin, eng yuqori qattqlikka ega bo'lgan olmoslarni qanday qilib parmalash mumkin? Masalan, ularni mexanik parmalash 10 soatdan ortiqroq vaqtni talab etadi. Lekin, bu teshikchalarni kuchli lazer impulslariga ega bo'lgan seriyalar bilan parmalash juda oson kechadi.

Lazerli usullar bilan olingan olmos tolalar ko'p mehnat talab qiladigan operatsiyalar - filerlarda qora teshiklar ochish uchun qo'llaniladi. Lazerli parmalar faqat qattiq materiallardagina emas, balki o'ta mo'rtligi bilan ajralib turadigan materiallarda ham teshikcha ochish uchun qo'llaniladi. Misol uchun kulolchilikni olaylik. Lazerlar bilar sopolda diametri 10 mikrometrli teshikchalarni ham hosil qilish mumkin. Mexanik parmalash bilan bunday teshikchalar hosil qilish aslo mumkin emas. To'quvchilik sanoati uchun filerlarni tayyorlash oddiy mexanik yo'l bilan filer ishlab chiqarishda qo'llaniladigan plastinkalardan voz kechish imkonini

beradi. Darvoqe, kulolchilikda filerlardagi teshikchalami faqat lazerlar yordamidagina ochish mumkin.

Lazer texnologiyasini muvaffaqiyatli qo'llab teshikchalar ochishda dinamik muvozanatlashgan tez aylanuvchi detallar, turbina rotorlar istiqbolli soha hisoblanadi. Bir impuls lazer nurlanishida keragidan ortiq o'rtacha massadan bir milligrammgacha metall olib tashlanadi. Teshikchalar ochish lazer texnologiyasi, shuningdek EHMLarda xotira plastinkasi, mikroskop va elektron nurlanish trubkalari diafragrammalarini tayyorlashda ham qo'llaniladi.

***Lazerlar yordamida yarimo'tkazgichlarga ishlov berish.*** Lazer texnologiyasini zamonaviy mikroelektronikada qo'llash maqsadida asbob – uskunalari yaratish jadallashib bormoqda. Bular integral sxemalardagi yupqa va qalin po'stli rezistorlarni sozlash, elementlarning aktiv va passiv sxemalarga bo'linishi, teshikchalar ochish uchun parmalash kabi sistemalardan iborat. Ko'pgina davlatlarning mikroelektronika sanoatida anchadan beri foto(shablon) andoza sistemalarining geometriyasini tayyorlashda va tekshirishda, o'sha ingichka simlarni payvandlashda gazli lazerlar qo'llanmoqda. Mikroelektronikada lazerni qo'llashga qiziqishning boisi bejiz emas, chunki u faqat o'sha qiyin bo'lgan sharoitlarda operatsiyalarni bajarishni emas, balki materiallarni lazer usuli bilan qayta ishlash, mehnat unumdorligini oshirish, iqtisodiy tejamkorlikka erishish bilan ham bog'liqdir.

Lazerlar eng murakkab muammolardan biri – integral sxemalar tayyorlash, fotoandozalarni tez va aniq tayyorlash masalasini hal qilish imkonini beradi. Bu asosan optik frezerlash va fotolitografik usullarda qo'llaniladi. Skrayberlash – bu yarimo'tkazgichli materiallarni kesish usuli bo'lib, integral sxemalarni tayyorlashda ishlatiladi. Lazerlar paydo bo'lguncha bu operatsiya murakkab kinematik sistemalarda olmosli skrayberlar bilan bajarilar edi. Endi esa olmosli skrayberlar bilan bir qatorda lazer qurilmali skrayberlar ham muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Bu qurilmalarning ustunligi shundaki, ular bilan tekis va aniq

vertikal kesmalar hosil qilish mumkin. Bu usul bilan materialni qirqishda unga ko'p mehnat sarflanmay samarali natija olishi, ya'ni materialdan yuqori foiz bilan kerakli detallarni qirqib olish mumkin, bu esa plastinkalarni avtomatik qayta ishlashni osonlashtiradi, plastinkalarni tejaydi.

Olmosli skrayberlashda kesish chegarasining kengligi 180 mikrometrni tashkil etib, bu plastinkadagi detallarni 5 foizga ko'paytirish imkonini beradi, faqat kichik kesmalar emas, yirik-yirik kesmalar olish imkonini ham beradi. Hozirgi kunlarda mavjud bo'lgan yupqa sirtli rezistorlar qoida bo'yicha nominal (detailarni hisoblashda e'tiborga olinadigan, yaxlitlangan o'lchami)dagi takror ishlab chiqarishni yetarlicha ta'minlay olmaydi. Mikrosxemalarning nominaldan 5 foiz chetga chiqishi ular bo'yicha ishlanayotgan detallar 1-2 foizgacha nuqsonli tayyorlanishiga sabab bo'ladi. Texnik jarayonga qo'shimcha operatsiya kiritishda rezistorlarni lazer bilan moslash orqali aniq o'lchovli detallar olish mumkin. Shu paytgacha qo'llangan moslamalar (mexanik, kimyoviy, elektron nurlanish) lazerli usullardan butunlay farqlanadi. Lazer qo'llangan jarayonda qayta ishlash kamchiliklarsiz aniqlik bilan bajariladi, nominaldan chetlashlar yuz bermaydi.

Quvvatli lazerlar yarim o'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Ionlar kiritilgandan so'ng plastinalarni qizdirish (kuydirish) va polikristallik kremniyda donalar o'lchamini kattalashtirishda stabiltronlarni tayyorlashda, metall kontaktlar yaratishda lazerlardan foydalaniladi. Masalan, yuqori energiyali ionlar kiritilganda kremniyning monokristallik tuzilishining buzilishi, uni tiklash uchun beriladigan termoishlov  $1000^{\circ}\text{C}$  da 30 min davom etadi. Lazer bu ishni 10 marta tez bajaradi. Lazer bilan samarali ishlov beriladigan yarimo'tkazgichlar texnologiyasi sohalari haqida to'xtalib o'tamiz.

***Yarimo'tkazgich sirtini tozalash va relyefini yaxshilash.*** Lazer yordamida tozalashda yarimo'tkazgich sirtidagi iflosliklar ketkaziladi, ammo sirtning o'zi zararlanmaydi. Ishlov beriladigan sirtga yot atomlar kirmaydi, vakuum sharoiti buzilmaydi. Lazer vakuum kamerasidan tashqarida bo'ladi, uning nuri shaffof deraza orqali kiritiladi, bunda bir jarayonda bir necha amallar, masalan, tozalash, metallni yoki epitaksial pardani vakuumga o'tkazish, tok keltiruvchi yo'lchalar

(tasmalar) hosil qilish va h.k. amallar bajariladi. Tozalash uchun nurining diametri 3,5 mm bo'lgan yoqut (rubin) kristalli lazer ishlatiladi. Kremniy sirtida uglerod va kremniy dioksidi pardalarini kuydirib yuborish uchun har birida  $2 \text{ J/sm}^2$  bo'lgan beshta ketma-ket impulslar energiyasi kifoya bo'ladi. Sirtni 16 ns davomiylikni ikki-uch ( $2 \text{ J/sm}^2$ ) impuls bilan nurlantirilsa, sirtning monokristalligi tiklanadi (u argon ionlari kirishidan buzilgan) va bir vaqtda argon ionlaridan tozalaydi. Metall pardalari sirtini tekislash uchun ularni 1 mks davomida lazer nurlanishi bilan qizdirish kifoya. Bu tekislash jarayonini vakuumda, havoda yoki inert gaz muhitida o'tkazish mumkin. Kremniyning epitaksial qatlamlari sirtidagi o'tkir chiziqlarni bartaraf qilish uchun lazer ishlovdan foydalaniladi, agar kremniy ( $0,2-0,8 \text{ J/sm}^2$ ) energiyali impulslar bilan nurlantirilsa, mazkur nuqsonlar (suyulib) to'la yo'q bo'lib ketadi.

### **Yarimo'tkazgichga kirishmalar kiritish va ularni qayta taqsimlash usullari.**

*Sirtiy qatlamlardan diffuziyalash usuli.* Bu usul sirtiy manbadan diffuziyalash usuliga o'xshaydi, ammo bunda legirovchi kirishmani lazer nurlanishi qizdiriladi. Sirt qatlami suyuladi va kirishma suyulgan modda ichiga diffuziyalanib kiradi. Ana shu usul bilan kremniyga donorlar va aktseptorlar (bor, fosfor, surma va b.) kiritiladi.

Yupqa yarimo'tkazgichli plastinalar sirtiga omik kontaktlar o'tkazish xuddi shu usulda amalga oshiriladi. 100 mm diametrli va 0,2 mm qalinlikdagi plastinalarni lazer bilan qizdirish termik kuchlanishlarga bog'liq buzilishlar qoldiradi. Oddiy texnologiyada esa ko'p kontaktlar shunday kuchlanishlar sababidan buzilib ketadi.

*Suyuq yoki gazzimon manbadan diffuziyalash usuli.* Yoqut (rubin) kristalli lazer nurlanishini p-Si plastinasi sirtiga o'tkazilgan etanoldagi surma trixloridi eritmasi orqali o'tkazib sirtidan 190 nm ichkarida p-n-o'tish hosil qilinadi. Gazzimon manba (10%  $\text{RN}_3+90\%$  Ar gazlar aralashma) muhitiga plastina joylanadi. Aleksandrit asosidagi lazer ( $\lambda=0,73 \text{ mkm}$ ) bilan ishlov beriladi. Uning nuri diametri  $\sim 3\text{mm}$ .

**Lazer yordamida fotolitik legirlash.** Bu usul yarimo'tkazgich sirtiga kirishma o'tkazish va uni plastina ichiga joylash jarayonlarini birgalikda olib borish imkonini beradi. Birinchi bosqichda gaz lazer nurlanishini yutadi, dissotsiatsiyalanadi, kirishmani ozod qiladi (fotoliz). Kirishma o'sha nurlanish ta'sirida sirtga o'tira borib, plastina ichiga kiradi.

**Lazer yordamida ionlar kiritish.** Tarkibida kirishma bo'lgan nishon quvvatli CO<sub>2</sub>-lazer nurlanishi ta'sirida bug'lantiriladi. Kirishma ionlari yarimo'tkazgichga kiradi.

**Yarimo'tkazgichlarda kirishmani qayta taqsimlash.** Yarimo'tkazgichga joylashtirilgan kirishma plastinalar sirtini lazer yordamida kuydirish yo'li bilan qayta taqsimlanishi mumkin. Bu esa asboblarning tavsiflarini yaxshilash imkonini beradi.

**Nuqsonlarni kuydirish.** Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida qo'llaniladigan termodiffuziya jarayonlarida elektrik jihatdan nofaol kirishmalar uyumlari, pretsipitatlar hosil bo'ladi. Ular yarimo'tkazgichlar va ular asosidagi asboblarning xossalari yomonlashtiradi. Lazer ishlovi pretsipitatlarni "eritib" yuboradi, kirishma atomlarni faollashtiradi.

Impulslarni davomiyligi 50 ns va energiya zichligi 1,5-1,8 J/sm<sup>2</sup> bo'lgan rubin lazeri bilan ishlov berilganda dislokatsiyalar va dislokatsion sirtmoqlar (ular kremniyda bor, fosfor ionlari va boshqa ionlar kiritilganda hosil bo'ladi) bartaraf qilinadi. Keyingi davrda kerakli xossali o'ta katta integral sxemalarni hosil qilishda ionlar kiritish usuli asosiy bo'lib qolgan. Ammo katta energiyali ionlar (200 keV gacha) yarimo'tkazgichning sirtiy qatlamini zararlaydi, ba'zan uni amorf holatga keltiradi. Lazer bilan kuydirish sirt qatlamini qayta kristallaydi.

Lazer kuydirishning ikki usuli mavjud:

- 1) bir necha sm<sup>2</sup> yuzali sirtni qisqa impuls (100 ns) bilan nurlantirish;
- 2) kichik yuzaga (dog'ga) fokuslangan uzluksiz lazer nurini material sirti bo'yicha siljitib yuborish. Uzluksiz lazer bilan kuydirish sharoiti shunday tanlanadiki, bunda sirt qiziydi, ammo suyulmaydi.

Demak, qayta kristallanish qattiq fazada yuz beradi. Bunda kiritilgan ionlarning plastina qalinligi bo'yicha taqsimoti o'zgarmas saqlanadi. Bir misol keltiramiz.  $5 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$  zichlikli va 100 keV energiyali arseniy (As) ionlari kiritilgan kremniy qatlamlarini kuydirish. Kuydirishgacha qatlam amorf tuzilishda 7 Vt li argon lazeri kuydirish o'tkaziladi, Si plastinkadagi lazer dog'ining diametri  $\sim 25 \text{ mkm}$ , nurning siljish tezligi 2,7 sm/s. Kuydirishdan so'ng qatlam mukammal kristallik tuzilishga ega bo'lib qoladi. Vaholanki, termik kuydirish ( $1000^\circ\text{C}$ , 30 min) amorf qatlamda dislokatsion sirtmoqlar ko'rinishida ko'p nuqsonlar ( $\sim 10^{10} \text{ sm}^{-2}$ ) qoldiradi.

Lazer bilan kuydirish afzalliklari:

- 1) kirishmaning diffuzion qayta taqsimlanish sezilmaydi, murakkab birikmalarda (masalan,  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  da) tarkib saqlanadi;
- 2) termik kuydirishga nisbatan lazer kuydirishda legirlash samaradorligi yuqori bo'ladi;
- 3) zaryad tashuvchilar faolligi bir necha marta ortiq bo'ladi.

***Kirishmalarni getterlash.*** Getterlash deb asboblarning faol sohalaridan tez diffuziyalanadigan metall kirishmalar (oltin, kumush, mis va boshqalar) ni ketkazish jarayoniga aytiladi, chunki bu kirishmalar asboblarning sifatini pasaytiradi.

Odatda, getterlash sohalarini plastinaning notekis tomonida hosil qilinadi, bunda muayyan nuqsonlar kiritilib, ular yuqorida aytilgan keraksiz kirishmalarni o'ziga biriktirib oladi. Lazer ishlovi oqibatida hosil bo'lgan nuqsonlar oson nazorat qilinadi, ifloslik kiritmaydi va barqaror bo'ladi. Ular kirishmalarni texnologik jarayonlar o'tkazilganda ham ushlab tura oladi.

Getterlash samaradorligini noasosiy zaryad tashuvchilar yashash vaqti bo'yicha baholanadi. Metall kirishmalar qancha kam bo'lsa, yashash vaqti shuncha katta bo'ladi.

***Polikristall kremniy qarshiligining o'zgarishi.*** Yarimo'tkazgichli asboblarning va integral mikrosxemalarda metall o'tkazgichlar o'rniga ko'pincha legirlangan polikristallik kremniy (PK) pardalardan foydalaniladi. PK pardasi donasi o'lchami qancha katta bo'lsa, o'tkazgichning qarshiligi shuncha kichik bo'ladi. Lazer bilan



kuydirish donalar o'lchamini kattalashtiradi, binobarin, piroliz yordamida (620 °C va past bosimda) o'stirilgan PK pardalari qarshiligini kamaytiradi. Lazer tizimi 30 ns davomiylikni va energiya zichligi 2-59 mVt/sm<sup>2</sup> bo'lgan impulslar hosil qiladi. Rubin lazerdan foydalanilgan holda to'lqin uzunligi 0,6943 mkm yoki neodim lazer bo'lganda – 1,06 mkm bo'ladi, namunada yorug'lik dog'i 5 sm.

Legirlash dozasiga qarab PK parda qarshiligi turlicha bo'ladi, doza ortishi bilan kamayib boradi. Ammo quvvat zichligi katta bo'lganda PK pardalari qatlamlanib, ularning qarshiligi ortadi. Arseniy (As) bilan legirlangan PK pardalari o'lchami kuydirishgacha 30 nm, termik kuydirishda u 40 nm ga yetadi, lazer bilan kuydirishda 150 nm gacha yetadi. Mos ravishda, qarshiliklar nisbati 15000:890:360. Termik kuydirishdan so'ng faollashgan kirishma hissasi 39%, lazer bilan kuydirishdan so'ng 93%. Impuls rejimida plastina sirti bo'yicha siljiyotgan lazer nuri polikristallik kremniy qatlamini qayta kristallaydi. Bu qarshilikning yana ham kamayishiga olib keladi.

*Amorf va polikristall qatlamlarining qayta kristallanishi.* Epitaksial texnologiya yarimo'tkazgichli asboblarda yaratilishida katta o'zgarish qildi. Ammo uning ba'zi kamchiliklari bor. Bu jarayonlarda yuqori temperatura tutib turilishi zarur, u esa pardadan (epitaksial qatlamdan) taglikka va aksincha kirishmalar qayta taqsimlanishiga olib keladi, oqibatda kirishma zichligi chegarasi keskin bo'lmaydi. Bunday kamchiliklar lazerlar yordamida bartaraf qilinishi mumkin.

Polikristall yoki amorf qatlamlarni qayta kristallash yo'li bilan epitaksial pardalar olish texnologiyasining kelajagi bor. Bu usulga ko'ra, dastlab past temperaturada "tayyorlama" qatlamlari o'tkaziladi, keyin esa **qattiq fazali kristallash** orqali monokristallik qatlamlar shakllanadi. Oqibatda parda – taglik chegaralari keskinlashib qattiq fazali qayta kristallash barcha bosqichlarda o'ta yuqori vakuum bo'lishini talab qiladi.

Agar lazer nurlanishi quvvati va uning nurini siljitib borish tezligi amorf qatlamni monokristallik taglikkacha suyultirishga yetarlik bo'lsa, bu jarayon normal sharoitda kechishi mumkin. Yuqori chastotada changlab o'tqazilgan 440 nm qalinlikdagi amorf germaniy qatlamini **suyuq** fazadan qayta kristallash yo'li

bilan yuqori sifatli monokristallik qatlam hosil qilinadi. Bunda ishlatiladigan argon lazeri nurlanishi quvvati 9 Vt, siljib borish tezligi 200 sm/s. Jarayon vaqti kichik bo'lgani natijasida kirishmalar pardadan taglikka va aksincha o'ta olmaydi.

Impulsi lazerlardan foydalanganda vakuumda qatlamlarni (changlatib) o'tqazgandan keyinoq havoda qayta kristallash yo'li bilan yuqori sifatli kremniy avtoepitaksial qatlamlari hosil qilinadi. Lazer ishlovi tufayli germaniyaning kremniy taglikka va kremniyning sapfir taglikda **geteroepitaksial** qatlamlarini olish mumkin.

***Polikristall kremniy tasmalarini kristallash.*** Kremniy tasmalarini (lentalarini) o'stirish arzon kremniy plastinalarini olish usullaridan biridir. Bu usul kesish, yedirish va silliqlashdan amallarsiz bajariladi. Bu amallarga esa dastlabki material 75% gacha isrof bo'ladi. Dastavval, kremniyni bug' fazasidan (past bosimda) vaqtincha taglikka o'tqaziladi. Keyin kremniy qatlami ajratib olinadi, taglikdan esa keying jarayonda yana foydalaniladi. Bu usul bilan 100 mkm va ortiq qalinlikdagi kremniy plastinalari olinadi. O'stirilgan tasma lazer bilan kerakli o'lchamli plastinalarga ajratiladi. Biroq bu plastinalar mayda donali polikristallik tuzilishga ega, amalda ulardan foydalanib bo'lmaydi. Ularni ishlatishga yaroqli qilish uchun quyidagi amallar bajariladi:

Polikristall donalarini yiriklash uchun lazerga ishlov beriladi. Lazer nuri, masalan, 7,5 sm/min tezlikda siljib borib tasmaning torgina qismini suyultiradi. Qayta kristallashdan so'ng polikristallik kremniy yirik donador tuzilishga ega bo'lib qoladi. Yuqori sifatli tasmalarning sirti yaltiroq, mayda panjaraviy relefga ega. Relif davri 4,5 mkm. Argonda kuydirilganda silliq ko'zgusimon sirt hosil bo'ladi. Bunday tasmasimon materiallarda noasosiy zaryad tashuvchilar yashash vaqti katta va tuzilish nuqsonlari kam. Qayta kristallangan tasmasimon yarimo'tkazgichlar quyoshiy elementlar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi.

***“Dielektrik ustida kremniy” qatlamini qayta kristallash.*** Lazer yordamida qayta kristallash usuli bilan amorf moddalar sirtida shakllantirilgan “dielektrik ustida kremniy” qatlamlari boshqa usullar bilan o'stirilgan qatlamlarga xos kamchiliklardan xoli. Bu holda tuzilmaning asosi kremniy taglik bo'ladi. Qayta

kristallash impulsli yoki uzluksiz lazer yordamida amalga oshiriladi. Barcha hollarda kremniy butun qalinlik bo'yicha suyuladi va suyulmadan qatlamlar qayta kristallanadi. Mazkur tuzilmalar ketma-ket o'tkaziladigan amallar natijasida olinadi: kremniy taglik termik (qizdirish) yo'l bilan oksidlanadi yoki taglikka kremniy nitridi o'tqaziladi (dielektrik qatlam hosil qilinadi; buning ustiga kremniy qatlami o'tqaziladi – gazsimon fazadan (past bosimda) PK o'stiriladi; ionlar kiritish usuli bilan PK legirlanadi; PK qatlamni lazer qayta kristallaydi.

Yaxlit kremniy qatlamlariga lazer ishlov berilganda ular polikristallikligicha qoladi, ammo donalar o'nlab mkm gacha kattaradi. Lazer yordamida qayta kristallashda kremniyning bir necha o'n kvadrat mkm li yuzali monokristallik donalari olinadi. Shunday usul bilan tayyorlangan “dielektrik ustida kremniy” qatlamlari asosida MOYa – tranzistorlar, katta integral mikrosxemalar (KIMS) tayyorlanadi.

**Yedirish.** Ultrabinafsha spektr sohasida nurlanish chiqaradigan lazerlardan polimer va metall pardalarni bevosita yedirish uchun foydalaniladi. Yedirishning bir necha usullari mavjud: qattiq fazadan bug'lantirish yo'li bilan yedirish, lazer rag'batlantirgan yedirish. Bu amallardan integral sxemalar hosil qilishda keng foydalaniladi.

## IX BOB. SIRT VA BIOFAOL FUNKSIONAL XOSSALARNI TADQIQOT USULLARI.

### 9.1. Potensiometriya, konduktometriya, elektroliz, adsorbtsiya.

*Potensiometriya.* Potensiometrik analiz usullari elektrod potensialini ochishga asoslangan bo'lib, elektrod potentsiali bilan eritmaning konsentratsiyasi orasidagi bog'lanishni o'rganadi. Elektrolit eritmasiga elektrodlar tushirilganda, elektrod bilan eritma orasidagi sirt chegarasida potensial yuzaga keladi. Bu potensial Nernst tenglamasi yordamida ifodalanadi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}} \quad (9.1)$$

Bu yerda:

$E$  — elektrod potentsiali,  $E^0$  — volt bilan o'lchangan standart elektrod potentsiali;

$R$  — universal gaz doimisi, 8,314 J/(mol·K) teng;

$T$  — mutloq harorat;

$F$  — Faradey doimiysi, 96485,33 Kl·mol<sup>-1</sup> teng;

$n$  — jarayonda qatnashgan elektronlar soni;

$a_{Ox}$  va  $a_{Red}$  yarim reaksiyada qatnashgan oksidlovchi va qaytaruvchilarning mos ravishdagi aktivligi.

Agar Nernst formulasiga  $F$  va  $R$  kiritib, natural logarifimdan o'nli lagarifimga o'tsak,  $T=298K$  da quyidagi formulani olamiz.

$$E = E^0 + \frac{0,0591V}{n} \lg \frac{a_{Ox}}{a_{Red}} \quad (9.2)$$

Potensiometrik analiz usullari bevosita va bilvosita usullarga bo'linadi.

Bevosita usullarda moddalarning konsentratsiyalari va aktivliklari (pH, pM, pA), dissotsiatsiya konstantalari (pKa, pKb), muvozanat va barqarorlik konstantalari, eruvchanlik ko'paytmalari va boshqa fizik-kimyoviy kattaliklar aniqlanadi.

Bilvosita usullar yordamida titrlash (protolitom etriya, oksredmetriya, kompleksimetriya va shu kabilar) davomida titrlashning oxirgi nuqtasi topiladi. Potensiometriyada potensialni o'lchash uchun indikator (vodorod selektiv shisha,

natriy yoki boshqa ionga selektiv shisha yoki membrana, metall, metall oksid va boshqa) va taqqoslash (normal vodorod, kumush xloridli, talliy xloridli, to'yingan kalomel va boshqa) elektrodlar ishlatiladi.

Potensiometriyaning ayrim ionlarni aniqlashga mo'ljallangan indikator elektrodleri ishlatiladigan sohasiga ionometriya deyiladi. Taqqoslash elektrodleri o'lchash davomida doimiy haroratda o'z potensialini o'zgartirmaydi. Potensiometrik titrlashning oxirgi nuqtasini topish uchun hisoblash, chizma (integral, differensial, ikkinchi darajali hosila, egri chiziqlarni to'g'rilash — Gran) va muayyan potensial (pH) gacha titrlash usullari mavjud.

**Konduktometriya** tekshirilayotgan eritmaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini o'lchashga asoslangan. Ushbu elektrokimyoviy usul analitik kimyoning eng qadimiy fizik-kimyoviy usullaridan biri hisoblanadi. Odatda konduktometriya havodagi ifloslovchi moddalarni aniqlashda va kamdan-kam holatlarda suv va tuproqni tahlil qilishda foydalaniladi. Konduktometriya asosida ishlab chiqilgan qator gazoanalizatorlar azot sanoatida, oltingugurt vodorodi, oltingugurt oksidi, azot oksidi, galogenlar va galogen vodorodlarni aniqlashda muvaffaqiyatli foydalaniladi.

Korxonada ishchi zonasi havosida toksik fosfor oksidlarini aniqlashda, sanoatda konduktometrik gazoanalizator keng qo'llaniladi, uning ta'siri tekshirilayotgan moddalarning polipropilen tolali, suv bilan sug'oriladigan filtrlovchi to'siq orqali ularni o'tkazish yo'li bilan suv tomonidan yutilishiga asoslangan. Bunda fosfor angidridi fosfor kislotasini hosil qiladi, fosforning quyi oksidlari esa kaliy permanganat ishtirokida fosfor kislotasigacha oksidlanadi, u o'z navbatida suv eritmasida dissotsiatsiyalanadi. O'lchov yacheykasida eritmaning elektr o'tkazuvchanligi 2 ta platina elektrodi yordamida aniqlanadi.

Konduktometriya shuningdek, gazli, ayniqsa suyuqlik va ionli xromatografiyada detektirlash usuli sifatida ham katta ahamiyatga ega.

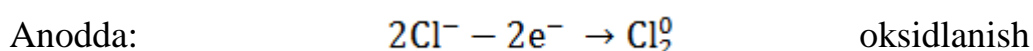
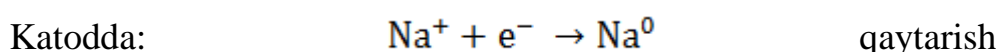
Havoda, suvda va tuproqda ionlarni (nitratlar, xloridlar, sulfatlar, sianidlar va boshqalar) aniqlash zarur bo'lganda xromatografik taqsimlash va keyinchalik

birikmalami konduktometriya (yoki kulonometriya) yordamida detektirlash eng maqbul usul hisoblanadi.

**Elektroliz jarayoni.** Elektrolit eritmasi yoki suyuqlanmasi orqali o'zgarmas elektr toki o'tkazilganda elektrodalarda boradigan oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari elektroliz deb ataladi. Elektroliz jarayoni maxsus qurilmalar – elektrolizerlar yoki elektrolitik vannalarda olib boriladi.

Agar elektrolitning suvdagi eritmasiga o'zgarmas tok manbaiga ulangan elektrod tushirilsa, eritmada tartibsiz harakatda bo'lgan ionlar bir tomonga yo'naladi: kationlar katodga, anionlar esa anodga tomon yo'naladi. Elektr toki manbaining ishlashi natijasida elektronlar anoddan katodga uzatiladi, shu sababli anodda elektronlar yetishmay qoladi, katodda esa ko'payib ketadi. Elektronlar katoddan musbat zaryadlangan ionlarga o'tadi va ularni neytral atomlarga aylantiriladi. Manfiy zaryadlangan ionlar anodga kelib unga o'z elektronlarini beradi va o'zi zaryadsizlanadi. Shunday qilib, elektrolizning mohiyati shundaki, katodda qaytarilish anodda esa oksidlanish jarayoni boradi.

Masalan, suyuqlantirilgan NaCl ning elektrolizi jarayonini ko'rib chiqamiz. Agar NaCl suyuqlanmasi orqali elektr toki o'tkazilsa, suyuqlanmadagi Na<sup>+</sup> va Cl<sup>-</sup> ionlari tegishli elektrodlar tomon yo'naladi va ularda quyidagi jarayonlar sodir bo'ladi:



Suyuqlantirilgan NaCl ning elektrolizi umumiy tarzda quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

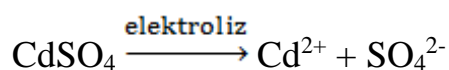


Suyuqlantirilgan elektrolitlarning elektrolizi bilan elektrolit eritmalarining elektrolizi bir-biridan farq qiladi.

Tuzlarning suvdagi eritmalarining elektrolizida eritmada tuz ionlaridan tashqari suvning dissotsiyanishidan hosil bo'lgan H va OH<sup>-</sup> ionlarining hosil bo'lishi ham hisobga olinadi.

Katod atrofida elektrolit va vodorod kationlari hamda anod atrofida elektrolit va gidroksid ionlari to'planadi. Katod va anodda boradigan oksidlanish-qaytarilish jarayoni ionlarning oksidlanish-qaytarilish potentsiallari qiymatiga bog'liq.

Tuz eritmalarining aktiv anod qo'llanilgandagi elektrolizi. Bunday elektroliz jarayonida anod materiali eriydi. Masalan, kadmiy sulfat eritmasining elektrolizini misol kilish mumkin:



Elektroliz qonunlari. Elektroliz vaqtidagi anodda boradigan oksidlanish jarayonida anod materiali ikki guruhga: erimaydigan va eriydigan anodlarga bo'linadi.

Oksidlanmaydigan materialdan (grafit, platina) yasalgan anod erimaydigan (inert) anod, oksidlanadigan materialdan yasalgan anod eriydigan (aktiv) anod deyiladi.

Elektr energiyasining ta'sirida vujudga keladigan kimyoviy jarayonlar unumi bilan elektr toki o'rtasida miqdoriy bog'lanish borligini dastlab 1836-yilda ingliz olimi M.Faradey aniqladi. Faradey fanga elektrod, anod, katod, anion, kation, elektrolit, elektroliz tushunchalarini kiritdi. Faradey o'z tajribalarini bajarishda bir necha galvanik elementni ketma-ket ulab, batareya hosil qildi; elektroliz qilishda ana shu batareyadan elektr manbai sifatida foydalandi. U o'zining ilmiy kuzatishlari asosida quyidagi elektroliz qonunlarini kashf etdi:

1. Faradeyning I qonuni. Elektroliz vaqtida elektrodda ajralib chiqadigan moddaning massasi miqdori eritmadan o'tgan elektr toki miqdoriga to'g'ri proporsional bo'ladi.

2. Faradeyning II qonuni. Agar bir necha elektrolit eritmasi orqali bir xil miqdorda ketma-ket ulangan holda, elektr o'tkazilsa elektrolarlarda ajralib chiqadigan moddalarning massa miqdorlari o'sha moddalarning kimyoviy ekvivalentlariga proporsional bo'ladi.

Elektroliz vaqtida elektrolarda 1 g – ekvivalent modda ajralib chiqishi uchun elektrolit eritmasidan 96500 kulon elektr toki o'tishi kerak. Bu son Faradey soni (F) deyiladi.

Faradey qonunlaridan

$$m = \frac{EIt}{F} \quad (9.3)$$

yoki

$$m = \frac{Eq}{F} \quad (9.4)$$

ifoda kelib chiqadi.

Bunda, m-moddaning massasi, E-moddaning gramm ekvivalenti (g-ekv); I-tok kuchi; q-elektr miqdori; t-vaqt; F-Faradey soni; F=96500.

Elektroliz metallurgiya, kimyo sanoati va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi. Metallarni ularning birikmalaridan ajratib olish, metall buyumlarni korroziyadan saqlashda, metal sirtiga korroziyabardosh metall qoplash kabi ishlarda elektrolizdan foydalaniladi.

**Adsorbsiya** – qattiq yoki suyuq moddalar (adsorbentlar) sirtiga suyuq yoki gaz holdagi modda (adsorbat) larning konsentrlanishi (yutilishi). Adsorbsiya adsorbent sirtidagi molekulalararo kuch ta'sirida sodir bo'ladi. Adsorbat molekulalari adsorbent sirtiga yaqinlashib, unga tortiladi va adsorbatning bir (mono), ikki (bi-) va hokazo ko'p (poli-) molekulari adsorbsion qavatini hosil bo'ladi. Adsorbatning adsorbsion qavatdagi konsentratsiyasi ma'lum darajaga yetganidan keyin desorbsiya boshlanadi.

Yutilgan modda adsorbsion qavatda o'z xususiyatini saqlab qolsa, fizik adsorbsiya, o'zgarsa, ya'ni adsorbent bilan kimyoviy biriksa, kimyoviy adsorbsiya deyiladi.

Fizik adsorbsiya temperatura, bosim, konsentratsiyaga, adsorbent va adsorbatning tabiatiga, shuningdek, adsorbent tuzilishiga ham bog'liq. Adsorbsiya hodisasi tabiatda keng tarqalgan. Yerga solingan o'g'it, avvalo tuproqqa adsorbetsiyalanadi. O'simlik tuproqdagi ozuqani ildizi orqali adsorbsiya jarayoni asosida o'zlashtiradi. Adsorbsiya gaz va suyuq aralashmalarni ajratishda biologik



jarayonda, havoni iflos gazlardan tozalashda, eritmalarini har xil qo'shilmalardan holi qilishda, ulardan erigan moddalarni ajratib olishda adsorbsiyadan keng foydalaniladi.

**Qattiq jism sirtidagi adsorbsiya.** Qattiq jismlar ham suyuqliklar kabi sirt energiyasiga ya'ni sirt tarangligiga ega bo'ladi. Ammo xaligacha qattiq jismning sirt tarangligini aniq o'lchash usuli ma'lum emas.

Qattiq jism sirtida gazning adsorbilanishini miqdor jihatdan xarakterlash uchun yo gaz bosimining kamayishi yoki adsorbent massasining ortishi o'lchanadi, chunki adsorbsiya vaqtida adsorbentning massasi ortadi.

Adsorbentning sirt birligiga ( $1 \text{ m}^2$  ga) yutilgan moddaning gramm-molekula hisobidagi miqdori solishtirma adsorbsiya deyiladi. Solishtirma adsorbsiyani topish uchun adsorbsiyaviy muvozanat vaqtida yutilgan modda miqdorini (mol hisobida) adsorbent sirtiga bo'lish kerak:

$$G = \frac{x}{S} \quad (9.5)$$

bu yerda  $G$  - solishtirma adsorbsiya;  $x$  - yutilgan modda miqdori;  $S$  - adsorbent sirti.

Lekin g'ovak-g'ovak tuzilgan qattiq adsorbentlarning (ko'mir, silikageli va hokazolarning) sirtini o'lchash juda qiyin bo'lgani uchun amalda solishtirma adsorbsiyani topishda yutilgan modda miqdori adsorbent og'irligiga bo'linadi;

$$\frac{x}{m}$$

bu yerda  $x$  - yutilgan moddaning gramm hisobidagi og'irligi;  $m$  - adsorbentning gramm hisobida olingan og'irligi. Har qanday adsorbent ma'lum miqdordan ortiq moddani yuta olmaydi. Moddaning sirt birligiga ( $1 \text{ m}^2$  ga) yutilishi mumkin bo'lgan eng ko'p miqdori maksimal solishtirma adsorbsiya deyiladi va  $G^\infty$  bilan belgilanadi.

Qattiq jismlarda bo'ladigan adsorbsiya hodisasini tekshirish natijasida qutbli adsorbentlar qutbli moddalarni va ionlarni yaxshi adsorbilashi, qutbsiz adsorbentlar esa qutbsiz moddalarni adsorbilashi aniqlangan.

Agar qutbsiz adsorbent sirtida  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $\text{NH}_2$  - qutb guruhi bo'lgan organik moddalar eritmalardan adsorbilansa, bu molekularning qutbsiz radikallari qutbsiz adsorbentga yo'nalgani holda molekulaning qutbdi guruhlari qutbli suyuqlikka tomon yo'naladi. Agar yutiluvchi moddada adsorbent tarkibidagi atom yoki atomlar guruhi bo'lsa, u modda yaxshi adsorbilanadi. Qutbli va geterogen adsorbentlarning sirti suvni yaxshi, lekin benzolni yomon adsorbilaydi; bular gidrofil adsorbentlar deyiladi. Qutbsiz adsorbent suvni yomon, lekin benzolni yaxshi adsorbilaydi; bular gidrofob (yoki liofob) adsorbentlar deyiladi.

Masalan, ko'mir gidrofob adsorbentlarning tipik vakili, silikagel esa gidrofil Adsorbentlarnikg vakili hisobladi. Adsorbilanish maqsadlari uchun aktivlangan ko'mir juda ko'p ishlatiladi. Aktivlangan ko'mir g'ovak modda bo'lib, asosan, uglerodan iborat. Turli organik moddalarning havo kirmaydigan joyda qizdirilishidan hosil bo'lgan ko'mirda har xil smolalar bo'lib, ular ko'mirning teshiklarini bekitib qo'yadi. Bu smolalarni yo'qotib, ko'mirning g'ovakligini oshirish maqsadida ko'mir maxsus ishlanadi, ya'ni aktivlashtiriladi. Ko'mir qanday sharoitda aktivlanganiga qarab, yo kislotalarni yoki asoslarni ko'proq adsorbilaydi. Masalan,  $900^\circ\text{C}$  da aktivlangan toza ko'mir kislotalarni adsorbilaydi;  $400\text{-}450^\circ\text{C}$  da aktivlangan ko'mir asoslarni yaxshi adsorbilab, kislotalarni adsorbilamaydi.

I.A.SHilov aktivlangan ko'mir o'z sirtida yod kislotalarni yoki asoslarni adsorbilash sababini ko'mirga ishlov berilayotganda uning sirtida birikmalar, ya'ni asos yoki kislota xarakteriga ega bo'lgan oksidlar hosil bo'lishidandir deb tushuntirdi. Adsobsiya bilan bog'liq ishlarda, ko'mirdan tashqari, boshqa bir adsorbent - silikagel ham ko'p ishlatiladi. Silikagel silikat kislotankng suvsizlantirilgan gelidir. Silikagel kislota xarakteriga ega bo'lgan adsorbentlar qatoriga kiradi; u asosan, asoslarni adsorbilaydi.

Aktivlangan ko'mir gidrofob adsorbentlar, shuning uchun u qutbsiz moddalarni yaxshi adsorbilaydi. Silikagel esa gidrofil adsorbent bo'lgani uchun qutbli moddalarni yaxshi adsorbilaydi.

Eritmalarda bo'ladigan adsorbsiya vaqtida, erigan modda bilan bir qatorda, erituvchi ham adsorbilanishi sababli, erituvchi sifatida suv olinsa, adsorbent sifatida ko'mir ishlatiladi, aksincha, suvsiz eritmalar uchun adsorbent sifatida silikagel ishlatiladi.

Adsorbsiya jarayoni kimyoviy texnologiyada katta rol o'ynaydi. Masalan, gaz aralashmalarini ajratib tozalashda faol ko'mir, silikagel, kolloid moddalar kabi adsorbentlar ishlatiladi. Adsorbsiyadan koks gazlaridan benzol olishda foydalaniladi. Buning uchun faol ko'mir bilan to'latilgan adsorberga adsorbent to'yinguncha gaz aralashmasi yuboriladi. So'ngra adsorberga 100 °C li suv bug'i beriladi; suv bug'i ko'mirga yutilgan benzolni siqib chiqaradi. Natijada, benzol va suvdan iborat sistema hosil bo'ladi; benzol suvda erimasligi uchun endi benzolni ajratib olish qiyin bo'lmaydi. Gazlar aralashmasini ajratishda ketma-ket desorbtsiya o'tkaziladi. Avval past haroratda gazlar aralashmasi adsorbentga yuttiriladi. Keyin asta-sekin qizdirganda gazlar o'zining qaynash haroratiga muvofiq adsorbentdan chiqib boradi. Shu tariqa geliy va boshqa inert gazlar olinadi.

## **9.2. Zeta potensial, diffuzometriya, filtratsiya.**

*Elektr-kinetik potensial.* Kolloid zarrachalarning sirti katta bo'lganligi uchun ionlar ularga oson yopishadi, ya'ni adsorbilanadi. Suyuqlik qattiq zarrachaga nisbatan (yoki zarracha suyuqlikka nisbatan) harakat qilganida qo'sh elektr qavatning adsorbsion va diffuzion qavatlari orasida hosil bo'ladigan potensial elektro-kinetik potensial deb yuritiladi. U zeta ( $\xi$ ) harfi bilan belgilanadi va zeta potensial deb yuritiladi.

Eritmadagi barcha ionlar konsentratsiyasi elektro-kinetik potensial kattaligiga ta'sir etadi. Eritmada ionlar konsentratsiyasi kamaysa, qo'sh elektr qavatning qalinligi ortadi, zeta-potensial ham ortadi. Agar diffuzion qavatdagi ionlarning hammasi adsorbsion qavatga o'tsa, u holda zeta-potensial nolga teng bo'lib qoladi. Zeta-potensial qiymatini hisoblash va kolloid zarracha zaryadining

ishorasini aniqlash uchun elektroforez va elektroosmos hodisalarini tekshirish natijasida qo'lga kiritilgan ma'lumotlardan foydalaniladi.

Zeta potentsiali (z-potensial) qattiq va suyuqliklar orasidagi chegaralar o'rtasidagi farqdir. Bu suyuqlikda to'xtatilgan zarralar elektr zaryadining o'lchovidir. Zeta potentsiali ikki qatlamdagi yoki Sternning potensialiga ega bo'lgan elektr yuza potensialiga teng bo'lmagani uchun, ko'pincha kolloid tarqalishning ikki qatlamli xususiyatlarini aniqlash uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan yagona qiymat hisoblanadi.

Elektrokinetik potensial sifatida ham tanilgan Zeta salohiyati millivolt (mV) bilan o'lchanadi.

Kolloidlarda zeta potentsiali - zararli kolloid ion atrofida ion qavatida elektr potensial farqining mavjudligi. Boshqacha qilib aytganda, bu qobiq tekisligida ikki qatlamli interfeysdagi salohiyat. Odatda zeta potentsiali qanchalik baland bo'lsa, kolloid yanada barqaror bo'ladi. -15 mV dan kamroq salbiy zeta salohiyati odatda zarrachalar aglomeratsiyasining boshlanishini aks ettiradi. Zeta potentsiali nolga teng bo'lganda, kolloid qattiq turg'unlashadi.

***Zeta potentsialini o'lchash.*** Zeta potentsiali bevosita o'lchanmaydi. Nazariy modellardan yoki eksperimental tarzda hisoblangan, ko'pincha elektroforetik harakatga asoslangan. Asosan, zeta potentsialini aniqlash uchun, zaryadlangan zarrachaning elektrokimyoga javoban tezligini kuzatib turadi. Zeta potentsialiga ega bo'lgan zarralar qarshi zaryadlangan elektrodga o'tadi. Migratsiya darajasi zeta potentsialiga mutanosib. Tezlik odatda Laser Doppler Anemometr yordamida o'lchanadi. Hisoblash 1903-yilda Mariya Smoluchovskiy tomonidan tasvirlangan nazariyaga asoslanadi. Smoluchovskiy nazariyasi tarqalgan zarrachalarning har qanday konsentratsiyasi yoki shakli uchun amal qiladi. Shu bilan birga, u yetarli darajada yuqqa juft qatlamni qabul qiladi. Ushbu sharoitlarda elektroakustik va elektrokinetik tahlillarni o'tkazish uchun yangi nazariyalar qo'llaniladi.

Zetametr deb ataladigan qurilma bor - u qimmat, lekin o'qimishli operator ishlab chiqarilgan qiymatlarni izohlashi mumkin. Zeta metrlari odatda ikkita elektroakustik ta'sirlardan biriga tayanadi: elektr sonik amplitudasi va kolloid

tebranish oqimi. Zeta salohiyatini ifodalash uchun elektroakustik usuldan foydalanishning afzalligi - namunani suyultirishga hojat yo'q. Suspansiyonlar va kolloidlerin xususiyatlari katta darajada zarracha-suyuqlik interfeysining xususiyatlariga bog'liq bo'lgani sababli, zeta potentsialini bilish amaliy qo'llanmalarga ega.

**Filtrlash** (*kimyoda*) — suyuqlik yoki gazni o'tkazib, qattiq jismlarni tutib qoladigan filtrlovchi to'siq yordamida suspenziyalar yoki aerezollarni ajratish jarayoni. Filtrlash maxsus qurilma — filtrda amalga oshiriladi. Suspenziyani filtrlashda suyuqlikdan ajraladigan qattiq jismlar filtrlovchi to'siqda ko'pincha nam cho'kma hosil qiladi. Bu cho'kma suv va boshqa suyuqliklar bilan yuvib tushiriladi yoki quritish maqsadida havo bilan puflanadi.

Juda qovushqoq va konsentratsiyasi kichik nozik dispers suspenziyalarning qattiq zarralari filtrlovchi to'siqning teshikchalariga singib, cho'kma hosil qilishi yoki qilmasligi mumkin. Teshikchalarni kamaytirish yoki kichraytirish maqsadida yordamchi moddalar (diatomit, perlit, asbest, sellyuloza va boshqalar) qo'llanadi. Bunday moddalar filtrlovchi to'siqqa beriladi yoki suspenziyaga qo'shiladi.

Filtrlovchi to'siq orqali o'tgan suyuqlik filtrat deb ataladi.

Filtrlashning quyidagi turlari bor:

a) suspenziyaning o'zinigina ajralishi, ya'ni suspenziya tarkibidagi filtrlovchi to'siqda tutib qolingan qattiq jismlarni ajratish;

b) suspenziyani quyultirish — filtrlovchi to'siq orqali suyuq fazaning bir qismini o'tkazib yuborib, suspenziyaning konsentratsiyasini oshirish;

v) suyuqlikni tiniqlashtirish — uni oz miqdordagi muallaq moddalardan tozalash.

Filtrlash bir jinsli bo'lmagan suyuq sistemalarni ajratish, gazlarni tozalashning samarali usulidir, u laboratoriya va sanoatda (kimyo, oziq-ovqat, neftni qayta ishlash, konchilik va boshqa sohalarda) keng qo'llanadi.

### **9.3. Biostimulyatsiya va degradatsiya.**

Tibbiyot amaliyotida elektromagnit nurlanish, infraqizil, ultrabinafsha va yorug'lik nurlari bilan davolash usullari lazer nurlari bilan davolashdan ancha oldinroq boshlangan. Infraqizil nur bilan davolanganda to'qimalarda modda almashinuvi tezlashadi, shamollash markazlarining so'rilib ketishiga erishiladi va og'riq qoldiruvchi ta'sir ko'rsatiladi. Turli kasalliklar: shamollash, kuyish va sovqotishda muskul to'qimalari jarohatlanganda uning og'riqni qoldiruvchi ta'siridan foydalaniladi. Yorug'lik nuri odam organizmiga isituvchi ta'sir ko'rsatib 1 sm chuqurlikkacha boradi.

Ko'rinadigan nurning turli ranglari markaziy nerv sistemasiga ta'sir qilib bemorning ruhiy holatini yaxshilashga yordam beradi. Shuningdek shamollash, radikulit va boshqa kasalliklarni davolashda qo'llaniladi.

Ultrabinafsha nurlarining to'liq uzunliklariga ko'ra uzun to'liq uzunligi 400-315 nm, o'rtacha to'liq uzunligi 315-280 nm va qisqa to'liq uzunligi 280 nm dan kichik bo'lgan nurlarga bo'linadi. Oftobda yurgan odamning badani qorayishidan xabaringiz bor. Qorayish natijasida teri orqali ultrabinafsha nurning yutilishi 13 dan 8 foizgacha kamayar ekan.

Qisqa to'liq uzunlidagi nurlarni atmosferaning azon qavati kuchli yutib yerdagi o'simlik va hayvonot dunyosini uning zararli oqibatlaridan himoyalaydi. Ultrabinafsha nurlari odam organizmiga kimyoviy ta'sir ko'rsatib moddalar almashinuvda ishtirok yetadi va stimullovchi natija beradi. Bugungi kunda tibbiyotda lazer nurlaridan ham samarali foydalanilmoqda. Bunda tor to'liq uzunligi oralig'idagi infraqizil va ko'rinadigan nurlardan foydalaniladi. Lazerning kichik energiyali turlari davolashda, katta energiyali turlari xirurgik operatsiyalarda qo'llaniladi.

Past energiyali lazerlar biostimulyatsiya effektini beradi ya'ni to'qima, qon aylanish sistemalaridagi qonni, hujayralar harakatini faollashtiradi. Degradatsiyaga uchragan organik birikma molekulasidagi uglerod atomlarining soni kamayadi va molekulalar og'irligi kamayadi.

*Degradatsiya* ma'nosi: buzilish, taslim bo'lish va hal qilish. Biror narsaning shakllanishi va joylashishiga ishora qiladi. Polimer tarkibidagi makromolekulyar kichik molekulalarga aylanadi.

Plastik degradatsiya: plastik degradatsiyalash atamasi polimer polimerining hayot aylanish jarayonining oxiriga mos keladi. Plastik degradatsiyalash polimerning molekulyar og'irligi va polimer materialining (plastik) fizik xususiyatlarining pasayishi bilan izohlanadi. Odatda bajarilishlar quyidagilar: plastmassalar mo'rt, yoriq, yumshatilgan va mexanik kuchini yo'qotadi. Plastiklarning yoshi va yomonlashishi degradatsiyaga uchraydi. Biroq, umuman olganda, plastmassalar ekologik jihatdan zararli bo'lmagan qismlarga bo'linadi yoki CO<sub>2</sub> va suvga aylanadi va o'nlab yillar va yuz yillar davom etadigan tabiiy tsikllarga qaytadi.

Shuning uchun, tez degradatsiyalash texnologiyasi plastiklarni ifloslanishning oldini olish uchun yuqori darajada suyuladigan yuqori molekulyar uglevodorodlar va organik materiallarni tanlash uchun ishlatiladi.

Issiqlik, yorug'lik, mexanik kuch, kimyoviy reaktivlar va mikroorganizmlar kabi tashqi omillar ta'siri ostida polimer molekulyar zanjirlarning tasodifiy sinishi, yon guruhlar va kam molekulalarning yo'q qilinishi natijasida polimerizatsiya darajasining pasayishiga olib keladi va nisbatan molekulyar massa.

Ayrim olimlar degradatsiyaga nisbatan turli fikrlarga ega. Degradatsiya mahsulotlarining karbonat angidrid va suv degradatsiyasi deb ataladigan ko'rinishi bor.

## **X BOB. NANOFIZIKA VA NANOTEXNOLOGIYA TADQIQOT USULLARI.**

### **10.1. Elektron mikroskopiya, atom kuchaytirgichli mikroskopiya, tunnel mikroskopiya.**

Inson dunyoga keliboq unga oldindan ma'lum bo'lgan usullar bilan, ya'ni ko'rish, qo'l bilan ushlab, ta'm bilish orqali atrof-muhitni faol o'rgana boshlaydi. Birinchi odam paydo bo'lishidan to XVII asrgacha bu usullar olam to'g'risida axborot olishning yagona usullari bo'lib xizmat qilgan. Optika rivojlanishi natijasida birinchi teleskop va mikroskoplar yaratilishi, olimlarga inson ko'zi ko'ra oladigan chegaradan ancha ichkariga kirib borish imkonini berdi.

Inson o'zining ixtirochiligi bilan qanchalar g'ururlanmasin, uning juda ko'p yutuqlari asosida tabiatdan "ko'rib olgan" qonuniyat yotadi. Inson ko'zi kuzatilayotgan obyekt qismlarini farqlovchi ma'lum bir ajratuvchanlikka ega bo'lgan tabiiy optik qurilmadir. Normal ko'z uchun ajratuvchanlik (25 sm - eng yaxshi ko'rish masofasida) 0,1-0,2 mm ni tashkil qiladi.

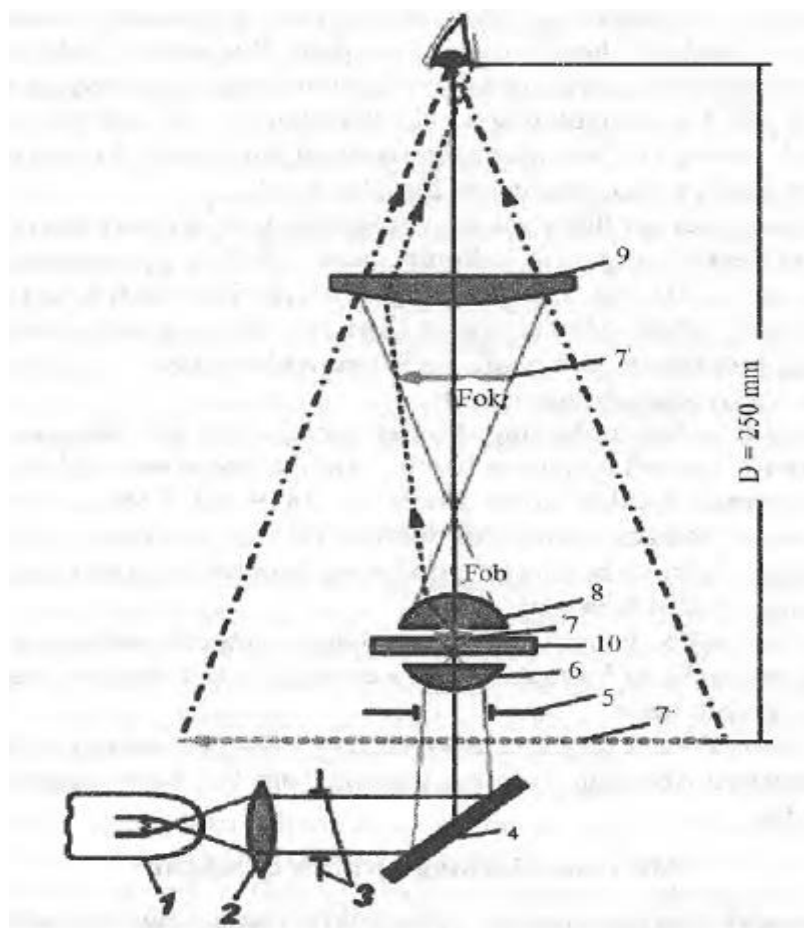
Mikroorganizmlar, o'simlik va hayvon hujayralari, kristallarning mikrostrukturalari o'lchamlari esa bu o'lchamdan ancha kichikdir. Bunday obyektlarni topish va o'rganishni mikroskoplarsiz amalga oshirib bo'lmasdi.

Mikroskop (grekcha "micros" - kichik va "scopeo" - ko'rish so'zlaridan olingan) ko'zga ko'rinmas obyektlarni kattalashgan tasvirlarini hosil qiluvchi optik qurilma. U juda ko'p fanlarning, jumladan, biologiyaning rivojiga inqilobiy ta'sir o'tkazdi. Tasvir sochuvchi yoki yig'uvchi linzalardan o'tish tufayli kattalashadi. Bu hodisani namoyish qiluvchi eng sodda asbob bu - lupadir.

Birinchi optik mikroskop 1609-1610-yilari Galiley tomonidan qurilgan. U ikkita linzadan iborat bo'lib, biri okular, ikkinchisi esa obyektiv deb ataladi. Buyumga yaqin tomonda joylashgan obyektiv tasvirni birinchi marta kattalashtiradi, ko'zga yaqin joylashgan okular esa tasvirni yana bir marta kattalashtiradi.



Odatda, namuna yupqa qatlam ko'rinishida olinib, undan o'tayotgan nurda ko'riladi. Shuning uchun buyum stolchasi ostida kondensor deb ataluvchi linzalar va yorug'lik manbai majmuasi joylashgan bo'ladi. Ular manba yorug'ligini to'plab, uni quyiroqda turgan buriluvchi oyna orqali namunaga tushirib beradi. 10.1-rasmda optik mikroskopning ishlash sxemasi ko'rsatilgan.



**10.1-rasm. Optik mikroskopning ishlash sxemasi.**

**1-yoritgich lampa; 2-yorug'likni tekis taqsimlovchi linza; 3-diafragma; 4-  
oyna; 5-apertura diafragmasi; 6-kondensor; 7''-obyektning mavxum,  
kattalashgan tasviri, 7-tekshirilay'lgan obyekt, 7-obyektning kattalashgan  
haqiqiy tasviri; 8-obyektiv; 9-okular; 10-buyum stolchasi.**

18-asrdan boshlab mikroskop rivojlanishi asosan, uning mexanik qismlari sifatini yaxshilash hisobga olib borildi. Linzalar sirtini silliqlash va to'g'rilash usullari shu darajada takomillashdiki, 19-asr boshlarida ular tasvirni 1000 marta kattalashtira olardi.

Mikroskoplarning fabrikalarda ko'plab ishlab chiqarilishi va fabrikalar orasidagi raqobat mikroskop narxini pasaytirib yubordi. Natijada ular kundalik laboratoriya asbobiga aylanib qoldi, hatto har bir shifokor yoki talaba ham mikroskop olishga qurbi yetadigan bo'ldi. Shu vaqtdan boshlab haqiqiy "mikroskop g'alayoni" boshlandi.



**10.2-rasm. Laboratoriya mikroskopining tuzilishi.**

Tadqiqotchilar oldida yangi oldin ochilmagan dunyoga yo'l ochildi. Kashfiyotchilar ishtiyoqida, ular mikroskop ostida nima to'g'ri kelsa o'shani igna uchini, tishga o'rnashgan kirni, qon va yomg'ir tomchisini va h.k. qo'yib tekshira boshladilar. Birin ketin yangi kashfiyotlar qilina boshlandi.

Iqtidorli havaskor mikroskopchi A. Levenguk chuqurchadan olgan suv tomchisida birinchi marta eng sodda mikroorganizmlarni ko'rdi. Tadqiqotchi ular shaklini ko'ribgina qolmasdan, ular harakatlanishi usullari va hatto ko'payishini ham kuzatdi. Ular birinchi marta qonning qizil tanachalari - eritrotsitlar to'g'risida ma'lumotlar berdi.

1677-yili Levenguk shifokor - talaba L. Gam bilan birgalikda spermatozoidlarni kashf etdi. R. de Graaf esa mikroskop yordamida sut emizuvchilar urg'ochilarining jinsiy bezlari ham qushlarning tuxumdoni singari tuxumchalar hosil qilishini aniqladi. Sut emizuvchilarda ham tuxumdon mavjudligi urug'lanish mohiyatini tushunishga yaqinlashtirdi.

1773-yili A. Levenhukning kuzatishlaridan deyarli 100 yil o'tgach, daniyalik zoolog O.F. Myuller bakteriyalarni juda yaxshi kuzata oldi va ularning shakli va ko'rinishlarini ifodalab berdi.

Mikroskoplar qo'llanilishi hayvonlarning turli a'zolari mikrostrukturalarini batafsil o'rganish imkonini berdi. M. Malpigi tanadagi kapillarlarini ko'rdi. Bu esa V. Garveyning qon aylanish tizimi to'g'risidagi bilimlarini to'ldirdi. Malpigi o'pka, jigar, buyrak va o't pufagining mikroskopik tuzilishini bayon qilib berdi. Ya. Svammerdam chivinlar, hasharotlar tuzilishi va rivojlanishini o'rgandi. O'simlik va hayvonlarning shu paytgacha no'malum bo'lgan tizimi qismlarini o'rganish natijasida barcha tirik mavjudotlar asosini juda kichkina hujayralar tashkil qilishi aniqlandi. 1839-yili T. Shvann hujayra nazariyasini ifodalab berdi. Olim barcha tirik organizmlar hujayralardan tuzilganligini va barcha to'qimalar ma'lum bir hujayralardan tuzilganligini ko'rsatib bera oldi.

Shunday qilib, hujayra nazariyasi barcha organik tabiatning morfologik yagonaligini ko'rsatdi, bu esa evolutsion ta'lim'ning tasdiqlanishiga yordam berdi. Bu misollar yana bir karra asboblarning rivoji fan va texnika rivoji bilan birga ketishini isbotladi. Ularning yutuqlari bir-biri bilan chambarchas bog'liqdir. Mikroskoplarning ajratish qobiliyati Levenhuk davridan boshlab optik mikroskoplarning kattalashtirishi 300 dan 1500 gacha ortgan bo'lsada, uning ajratuvchanligini yanada ortirish "Reley chegarasi" deb nomlanuvchi nazariy chegara to'sqinlik qiladi.

19-asrning 70-yillarida ingliz fizigi Jon Reley tomonidan aniqlangan qonunga asosan mikroskopning chegaraviy eng katta ajratuvchanligi obyektga tushayotgan yorug'lik nuri to'lqin uzunligining yarmiga tengdir. Masalan, obyekt to'lqin uzunligi  $\lambda=650$  nm bo'lgan lazer nuri bilan yoritilsa, chegaraviy ajratuvchanlik 325 nm ni tashkil qiladi.

Bu noma'qul to'siq yorug'lik difraksiyasi hodisasi bilan tushintiriladi, nuqtaning hatto mukammal obyektivdagi tasviri ham odam ko'ziga nuqta bo'lib ko'rinmaydi. Difraksiya hodisasi tufayli u dumaloq dog'ga o'xshaydi va uni birin ketin joylashgan yorug' va qorong'u halqalar o'rab turadi. Agar ikki nurlanuvchi

obyekt bir-biriga yaqin joylashsa, ularning difraksiya halqalari bir birining ustiga qoplanib, yoritilganligi murakkab taqsimlangan, shuvalgan tasvir hosil bo'ladi.

Optik mikroskopning ajratuvchanligini oshirish uchun mikroskopchilar turli xil texnik yechimlar qidira boshladilar. Xususan, yorituvchi to'lqin uzunligini iloji boricha qisqartirib, ultrabinafsha mikroskoplarni yaratdilar ( $\lambda=280, 300$  nm). Bu mikroskoplar o'lchamlari 150-170 nm bo'lgan obyektlarni ko'rish imkonini beradi. Ultrabinafsha mikroskoplarning ajratuvchanligi oddiylarnikidan deyarli ikki marta katta bo'lsada, ularning jiddiy kamchiligi mavjud. Bu ultrabinafsha nurlar biologik obyektlarni buzadi, shuning uchun ular biotexnologik tadqiqotlar uchun yaramaydi.

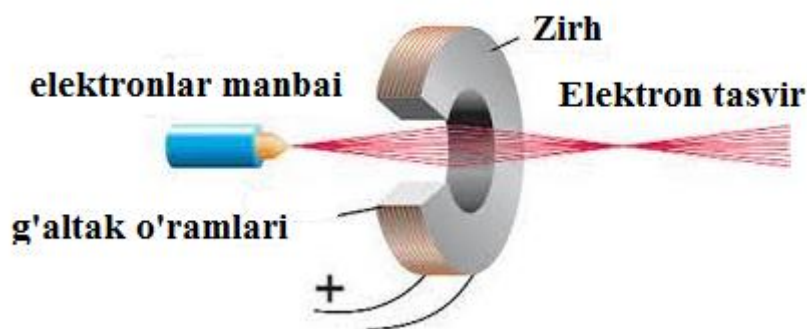
**Elektron mikroskop.** NANO o'lchamli obyektlarni o'rganish uchun optik mikroskoplarning (hatto ultrabinafshalarniki ham) ajratuvchanligi yetarli emasdir. Shuning uchun 1930-yillarda mikroskoplarda yorug'lik nuri o'rniga elektronlar oqimidan foydalanish g'oyasi paydo bo'ldi. Kvant fizikasidan bizga ma'lumki, elektronlar oqimining de Broyl to'lqin uzunligini fotonlarnikidan 100 martalab kichik qilish mumkin.

Ma'lumki, bizning ko'zimiz obyektidan kelgan yorug'lik to'lqinlari yordamida tasvir hosil qiladi. Agar ushbu yorug'lik to'lqinlari ko'zga tushguncha mikroskopning optik sistemasi orqali o'tsa, biz kattalashgan tasvirni ko'ramiz. Bunday yorug'lik nurlari yo'nalishlarini asbobning obyektiv va okularidan iborat linzalar boshqaradi.

Qanday qilib elektronlar oqimi yordamida obyekt tasvirini katta ajratuvchanlik bilan hosil qilish mumkin? Boshqacha aytganda, qanday qilib yorug'lik nuri o'rniga zarrachalar oqimi ishlatilganda buyumni ko'rish mumkin? Javob juda sodda. Elektronlar oqimini tashqi elektrik va magnetik maydonlar yordamida samarali boshqarish mumkin.

Elektronlarning elektromagnetik maydonlardagi harakatini o'rganuvchi va kerakli maydonlar hosil qiluvchi qurilmalar hisob kitoblarini amalga oshiruvchi fan - elektron optika deb ataladi.

Obyektning elektron tasviri tashqi elektrik va magnetik maydonlar yordamida, taxminan, optik tasvir linzalar yordamida hosil qilingandek, yaratiladi. Elektron mikroskopda elektronlar oqimini fokuslovchi va sochuvchi qurilmalar “elektron linzalar” deb ataladi



### 10.2-rasm. Elektron linzalar sxemasi.

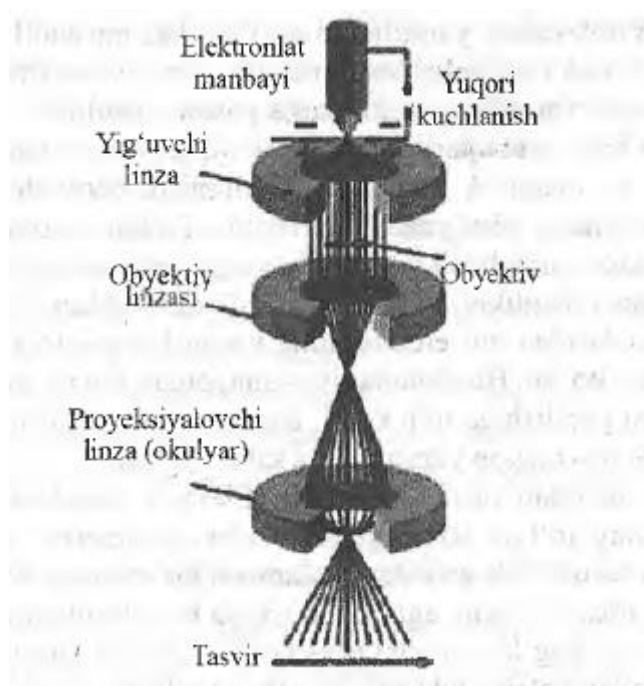
Simli g'altakning magnetik maydoni yig'uvchi yoki sochuvchi linzalardek ishlaydi. Magnetik maydonni jamlash uchun g'altakni nikel va kobalt qotishmasidan tayyorlangan maxsus “zirh” bilan qoplanadi. Uning ichida elektronlar oqimi uchun faqat ingichka oraliq qoladi xolos. Bu usulda olingan magnetik maydon Yer shari magnetik maydonidan 10, 100 ming marta kuchli bo'ladi.

Afsuski, bizning ko'zimiz elektronlar oqimini to'g'ridan to'g'ri ko'ra olmaydi. Shuning uchun tasvirni “chizish” uchun lyumenitsient ekranlardan foydalaniladi (ular elektronlar ta'sirida nurlanadi). Shu qonuniyat asosida elektron nur naychasi, monitorlar, televizorlar va ossillograflar ishlaydi.

Elektron mikroskopning turlari ko'p bo'lib, ular ichida eng ko'p qo'llaniladigani rastrli elektron mikroskop (REM). Agar oddiy televizorning elektron nur naychasi ichiga ekrani va elektronlar manbayi orasiga biror obyektни joylashtirsak, REM ning sodda sxemasini hosil qilamiz.

Bunday mikroskopda qalinligi 10 nm atrofida bo'lgan ingichka elektron-nur dastasi obyekt ustidan gorizontall yo'nalishda yurib uni skanerlaydi va har bir nuqtadan olingan signallarni sinxron ravishda kineskopga beradi.

Butun jarayon televizor ishlashiga o'xshab ketadi. Elektronlar oqimi manbai bo'lib qizdirilgan volfram tolasi ishlatiladi. U qizdirilganda termoelektron emissiya natijasida undan, elektronlar uchib chiqadi (10.3-rasm).



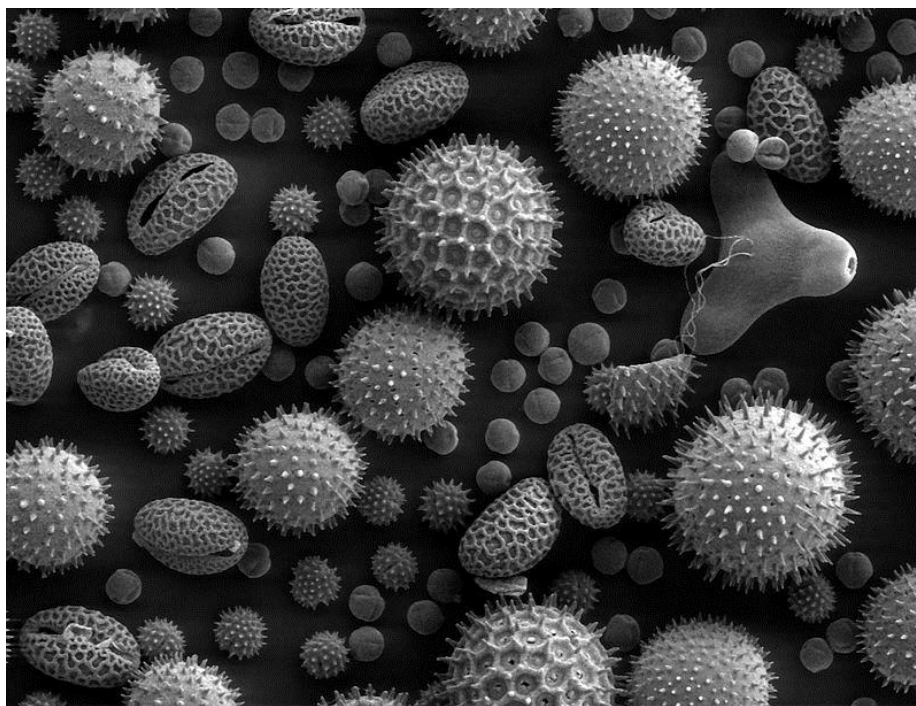
**10.3-rasm. Rastrli elektron mikroskop sxemasi.**

Elektronlar oqimi namuna orqali o'tganda ba'zi elektronlar namuna atomlari yadrolari yoki elektronlar bilan to'qnashish natijasida sochiib ketadi, boshqalari esa namunadan to'g'ri o'tib ketadi. Ba'zi hollarda rentgen nuri chiqaruvchi ikkilamchi elektronlar paydo bo'ladi. Bu jarayonlarning barchasini maxsus detektorlar qayd qiladi va o'zgartirilgan holda ekranga chiqariladi, natijada o'rganilayotgan obyektning kattalashgan tasviri hosil bo'ladi.

Bu holda kattalashtirish deb tasvir o'lchamining elektronlar oqimi skanerlagan namuna qismi o'lchamiga nisbati tushiniladi. Elektronlarning to'lqin uzunligi fotonlarnikidan o'n martalab kichik bo'lgani uchun zamonaviy REM larda kattalashtirish 10 million martani, ajratuvchanlik esa bir necha nanometrni tashkil qiladi. Bu esa hatto alohida atomlarni ko'rish imkonini beradi.

Elektron mikroskopning asosiy kamchiligi uning to'la vakuumda ishlashi zarurligidir. Chunki kamera ichida biror gaz bo'lsa, ular elektronlar oqimi ta'sirida

ionlashib, tasvirni ancha buzgan bo'lar edi. Undan tashqari, elektronlar oqimi biologik obyektlarni buzib tashlaydi, shuning uchun ularning biotexnologiyaning ko'p sohalarida qo'llanilishi imkoni yo'qdir.



**10.4-rasm. Rastrli electron mikroskopda gulchangning mikrofotografiyasi.**

Elektron mikroskop yaratilishi tarixi bu ikki mustaqil rivojlanay'lgan fan va texnika yo'nalishlari birlashib, ilmiy izlanishlar uchun ajoyib yangi baquvvat asbob yaratilishiga yorqin misoldir.

Mumtoz fizika yutuqlarining eng cho'qqisi yorug'likning tarqalishini, elektrik va magnetik hodisalarni tushuntirib beruvchi elektromagnetik maydon nazariyasi yaratilishi bo'ldi. To'lqin optikasi difraksiya hodisasini, tasvirning hosil bo'lish mexanizmini, yorug'lik mikroskoplaridagi ajratuvchanlikni aniqlovchi omillarni tushuntirib berdi. Kvant fizikasi yutuqlaridan biri elektronning korpuskular — to'lqin xossalarining ochilishi bo'ldi. Bu alohida rivojlanayotgan fan yo'nalishlari elektron optikani yaralishiga olib keldi. Bu esa 1930-yillari muhim kashfiyot, elektron mikroskop yaratilishiga sabab bo'ldi.

Olimlar bu bilan tinchlanmadilar. Elektrik maydonda tezlatilgan elektronlarning to'lqin uzunligi bir necha nanometrni tashkil qiladi. Agar biz

molekula yoki atomlar panjarasini ko'rmoqchi bo'lsak, bu yomon emas, albatta. Lekin, agar atom ichiga ko'z tashlamoqchi bo'lsakchi? Kimyoviy bog'lar nimaga o'xshaydi? Alohida kimyoviy reaksiya jarayoni qanday ko'rinishda bo'ladi? Bu savollarga javob topish uchun turli mamlakat olimlari neytron mikroskoplar yaratmoqdalar.

Neytronlar protonlar singari atom yadrosi tarkibiga kira oladi, ular elektronlarga nisbatan deyarli 2000 marta og'ir. De-Broyl ifodasiga, asosan, ularga mos keluvchi to'lqin uzunligi ham elektronnikidan 2000 marta kichik bo'ladi, ya'ni neytronlarning de-Broyl to'lqin uzunligi nanometrning mingli ulushi pikometrlarga to'g'ri keladi. Ular yordamida atomlarning barcha jihatlarini tasvirlash imkoni tug'iladi.

Neytron mikroskoplarning bir qancha ijobiy tomonlari mavjud. Ular zaryadsiz bo'lganligi uchun namunalarning qalin qatlamlariga ham oson kirib boradi, vodorod atomlarini ham yaxshi akslantira oladi. Lekin, bunday mikroskopni qurish ham juda qiyin. Neytronlarning zaryadi yo'qligi uchun ularni magnetik va elektrik maydonlar yordamida boshqarib bo'lmaydi, ularni turli xil datchiklar yordamida sezish ham mushkul. Undan tashqari, og'ir va beso'naqay neytronlarni atomlardan chiqarish ham ancha mushkul. Shuning uchun hozir mavjud bo'lgan neytron mikroskoplar hali mukammallikdan ancha uzoq.

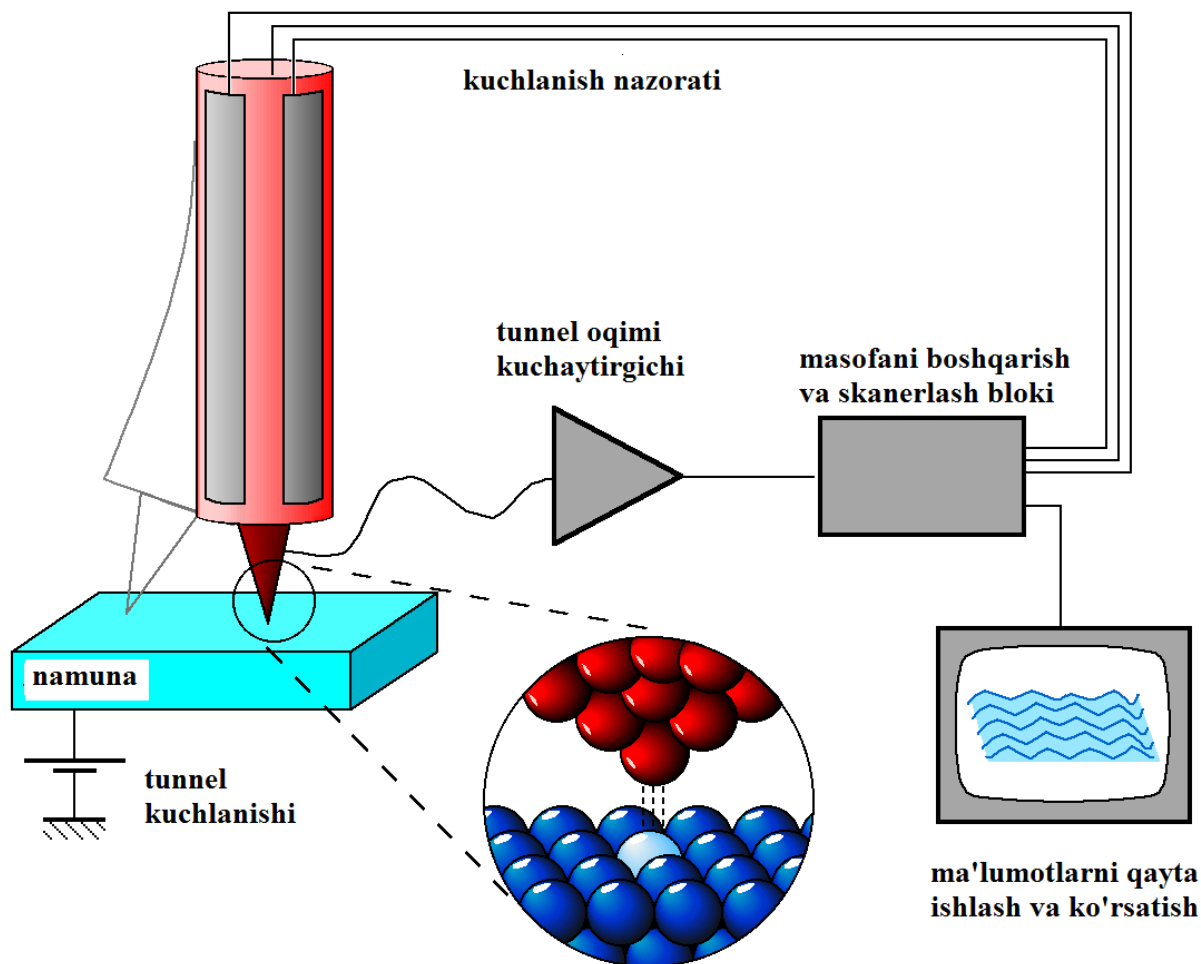
Skanerlovchi zondli mikroskoplar (SZM). Faraz qilaylik, sizning ko'zingizni bog'lab, qandaydir buyum to'g'risida ma'lumot berishingizni so'rashdi. Siz nima qilasiz? Albatta, siz buyumni qo'lga olib, uni ushlab ko'rib, qandaydir ma'lumot olishga harakat qilasiz. Lekin, siz qancha urinmang buyumning ba'zi xossalari to'g'risida (masalan, uning rangi to'g'risida) ma'lumot ola bilmaysiz. Shunga qaramasdan, siz buyum shakli, o'lchami, temperaturasi, qattiqligi, materiali to'g'risida ma'lumot berishingiz mumkin.

Skanerlovchi zondli mikroskoplar mana shunday buyum sirtini "paypaslash" usulida ishlaydi. Skanerlovchi zond mikroskoplari atom darajasidagi ajratuvchanlikka ega bo'lib, faqat vakuumda emas, balki gazli va suyuq muhitlarda



ham ishlay oladi. Bugungi kunda ular nanotexnologlarning asosiy analitik qurilmasi bo'lib xizmat qilmoqda.

Skanerlovchi tunnel mikroskop (STM). STM asosi namuna sirti ustida undan bir nanometrdan kichik uzoqlikda sirpanib yuruvchi juda o'tkir ignadan iboratdir. Tunnel effekti tufavli igna uchi bilan sirt orasida tunnel tok o'tadi.



**10.5-rasm. STM ning ishlash sxemasi.**

Tunnel tokning namuna bilan igna orasidagi masofaga juda kuchli bog'liqligi (bu masofaning 0,1 nm ga o'zgarishi tunnel tokni 10 marta o'zgartiradi) STM ning yuqori sezuvchanligini ta'minlaydi. Shunday kichik masofada ignani tutib turish uchun tunnel tok qiymatiga bog'liq o'zgaruvchi pezomanipulyatorlar bilan boshqariladigan kuzatuvchi sistema qurilmasi yaratilgan.

Boshqaruvchi signallar qiymatini o'lchab tekshiriladigan soha balandligini aniqlaydi. Ignani namuna sirti bo'ylab harakatlantirib, bir atom o'lchami qadar aniqlikda sirt tuzilishini aniqlash mumkin.

Tunnel tokini o'lchashga asoslangan ushbu mikroskop yordamida olinadigan tasvirlar sirt yaqinidagi elektronlarning fazaviy taqsimlanishi to'g'risida ma'lumotlar beradi. Yaqqol qilib aytganda, tunnel mikroskop namuna sirti yaqinidagi elektronlar taqsimotini "ko'radi".

Atomiy - kuch mikroskop. Tunnel mikroskop kashf qilingach, butun dunyo olimlari bu asbob o'ziga xos noyob ekanligini tan oldilar. U kashf qilinguncha hech kim sirtni bunday katta aniqlikda, atomma-atom ko'ra olmagan edi. STM larni ham o'ziga xos kamchiliklari mavjud. Uning yordamida faqat elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi materiallarni o'rganish mumkin. Shuning uchun STM yordamida dielektriklar o'rganilganda, ularning sirtini juda yupqa metall qatlam bilan qoplashga to'g'ri keldi, bu esa ba'zan noqulaydir.

1986-yilning oxirida STM ixtirochilaridan biri bo'lgan Binning yangi skanerlovchi mikroskopni taklif etdi. U tunnel tokni emas, balki modda atomlari orasidagi tortishish kuchlarini o'lchaydi. Yangi asbob atomiy - kuch mikroskop (AKM) deb nomlangan. Unda ignaning sirtga tortuvchi kuch o'zgarishlari aniqlanadi. Igna uncha katta bo'lmagan atomlar orasidagi kuchlar ta'sirida egiluvchi kantileverga o'rnatiladi. Bu kuchlar igna uchi bilan namuna sirti orasida vujudga keladi. Zond namuna sirtini, tom ma'noda "paypaslab" chiqadi.

Kantileverning eng kichik og'ishlari ham uning ichki sirtidan qaytib fotodiodga tushayotgan lazer nuri yordamida aniqlanadi. Fotodiod toki qiymatiga qarab tekshirilayotgan obyektning sirt relyefi haqida fikr yuritish mumkin.

Bugungi kunda eng ko'p tarqalgan quyidagi atomiy - kuch mikroskoplarning (AKM) turli ko'rinishlarini ko'rib o'tamiz:

- Magnetik - kuch mikroskop (MKM) da zond sifatida uchi magnitlangan igna ishlatiladi. Sirtning igna bilan ta'sirlashuvi natijasida sirtidagi mikromagnetik maydonlarni aniqlash va sirtning magnetik xaritasini tuzish mumkin.

- Elektrik - kuch mikroskop (EKM) - unda igna uchi bilan namuna sirti kondensator sifatida qaraladi va sirt bo'ylab sig'imning o'zgarishi aniqlanadi.

- Skanerlovchi issiqlik mikroskopi namuna sirti bo'ylab temperatura taqsimotini aniqlaydi. Uning ajratuvchanligi 50 nm gacha yetadi. Bundan kichik o'lchamlarda temperaturadek makroskopik kattalikning ma'nosi yo'qoladi.

- Skanerlovchi friksion mikroskop sirtni tirnog'ida "tirnab" ishqalanish kuchlari xaritasini chizadi.

- Magnitrezonans mikroskop sirtning zondagi tez o'zgaruvchi magnetik maydonga ko'rsatgan reaksiyasiga qarab alohida elektronlar spinlari tasvirlarini hosil qiladi.

- Atomiy-kuch akustik mikroskop qattiq va yumshoq namunalarning har bir nuqtasidagi Yung modulini juda katta aniqlikda o'lchash imkonini beradi.

AKM lar kamchiliklaridan biri, ular namuna ichki tuzilishini o'rgana olmaydi. Zond faqat sirt bo'ylab yurgani uchun ichkarini ko'ra olmaydi. Lekin, olimlar bu to'siqni ham yengib, uch o'chamli atomiy - zond tomografiya deb nomlanuvchi haqiqiy dizassembler yaratdilar. Ular namunaning ma'lum bir qismini skanerlab bo'lgach, undan bir atom qalinlikdagi qatlamni "yulib" tashlaydi, so'ng shu joyni yana skaner-laydi, bunda har bir yangi atom parametrlari yozib boriladi. Zamonaviy tomograflar sekundiga 20000 atom (soatiga 72 mln. atom) ni "yulib" olishlari mumkin.

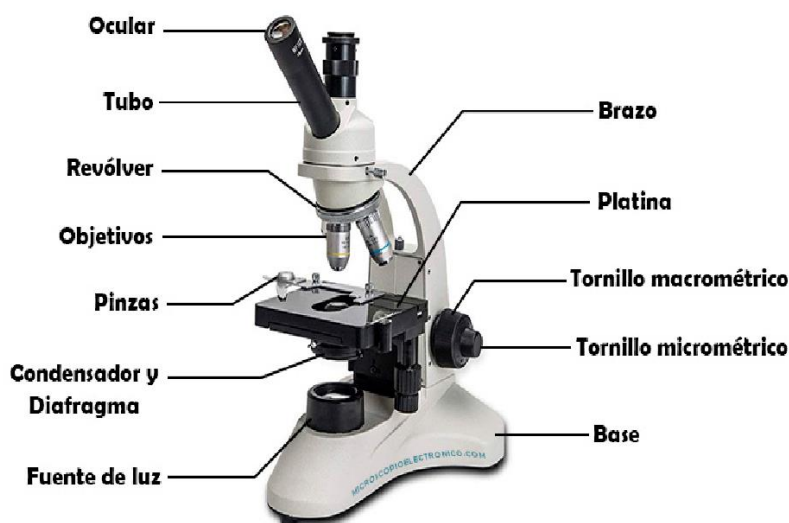
Yaqin maydon skanerlovchi optik mikroskoplar. Yaqin maydon skanerlovchi optik mikroskoplar (SNOM) alohida e'tiborga sazovordir. Ishlash qonuniyatiga ko'ra ular tunnel mikroskoplarini eslatadi. Faqat ularda zond o'rniga juda ingichka optik toladan qilingan "shaffof igna" ishlatiladi. Tunnel tok o'rniga shaffof ignadan o'tayotgan lazer nuri xarakteristikalarini o'zgarishlari aniqlanadi.

Qanday qilib obyekt skanerlanadi? Diametri ishlatilayotgan lazer nuri to'lqin uzunligidan ham ichikroq bo'lgan optik-tolali zond skanerlovchi namuna sirtiga yaqin olib kelinadi (bu masofa yorug'lik to'lqin uzunligidan kichik) va xuddi sirtni "sezgandek" bo'ladi. "Sezishning" ma'nosi: optika qonunlariga asosan ikki xil optik zichlikka ega bo'lgan sirtlar chegarasida yorug'lik nuri sinadi va qaytadi. Bu yerda ham yorug'lik nuri optik tola uchidan qaytadi. Bunda yorug'lik nuri toladan uzoq masofalarga chiqib ketmaydi, chunki tola bilan sirt orasidagi masofa to'lqin

uzunligidan kichik. Shuning uchun yorug'lik nuri toladan biroz "to'kilib chiqadi" xolos.

Tolaning boshqa uchida qaytgan nurni qabullagich joylashtirilgan. Optik zond namunani tunnel mikroskop ignasi singari skanerlaydi. Agar tekshirilayotgan sirt bilan optik zond uchi orasidagi masofa o'zgarsa, qaytgan nur xarakteristikasi (amplituda va fazasi) ham o'zgaradi. Bu o'zgarishlar qabullagich yordamida qabul qilinib, sirtning relyefini tuzishda foydalaniladi.

Atomiy - kuch mikroskopiya shunchalik samarali bo'ldiki, uning asosida faqat namuna sirti relyefni emas, balki boshqa ko'rsatkichlarini ham aniqlasa bo'ladi.



### 10.6-rasm. Optik skanerlovchi mikroskopning tuzilishi.

Bu usulda ajratuvchanlik 50 nm gacha yetadi, bu oddiy optik mikroskopnikidan o'n martalab yuqoridir. Undan tashqari, yaqin maydon optik mikroskopiyasi biologik obyektlarni o'rganish uchun juda mos keladi. Chunki, bunda bioobyekt AKM va elektron mikroskoplar holdagi signallar ta'sirlaridan, mexanik yoki ionlashtiruvchi ta'sirlardan mustasno bo'ladi. Lazerning kam quvvatli, oddiy, yorug'lik nurlari esa bioobyektga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

**Ultratovush** - chastotasi 20000 Gs katta bo'lgan elastik tebranishlar va to'lqinlar. Ultratovushni past chastotali ( $1,5 \cdot 10^4$  Gs), o'rta chastotali ( $10^5$ — $10^7$  Gs) va yuqori chastotali ( $10^7$ — $10^9$  Gs) ultratovushga bo'lish mumkin.

Ultratovush tebranishlarni hosil qilishda ma'lum fizik hodisalarga asoslanib yasalgan ultratovush nurlatkichlari qurilmalaridan foydalaniladi. Mexanik nurlatkichlarda ultratovush tebranishlar gaz yoki suyuqlik oqimining mexanik energiyasi hisobiga sodir bo'ladi. Elektromagnit nurlatkichlarning magnitostriksiya va pyezoelektr hodisalariga asoslangan turlari keng tarqalgan.

Ultratovushsuv osti kemalarini izlashda, dengiz (okean) chuqurligini aniqlashda, texnologik jarayonlarni tezlatishda, qiyin kechadigan ba'zi kimyoviy reaksiyalarni ro'yobga chiqarishda, massa almashinish, kristall o'stirish, elektroliz kabi jarayonlarni tezlatishda, moddalarning fizik xususiyatlarini o'rganishda, materiallar sifatini tekshirishda, moddalarga ishlov berishda, diagnostika va davolashda keng qo'llaniladi.

Ultratovush bilan davolash — davolash va diagnostika maqsadida ultratovushdyan foydalanish. Ultratovushning ta'sir etish mexanizmi mexanik (hujayra va to'qimalar mikromassaji), termik (issiq hosil bo'lishi) va fizikkimyoviy faol moddalar hosil bo'lishi va boshqa omillarga asoslangan.

Ultratovush tibbiyot amaliyotida 30-yillardan qo'llana boshlandi. Undan davo maqsadida foydalanishda maxsus apparatlar qo'llaniladi. Ultratovush tanaga 1 sm dan 5—6 sm gacha chuqurlikda kiradi, bu undan turli a'zolari davolashda foydalanishga imkon beradi. Ultratovush bilan asosan, uning to'qimalardagi xujayralar ichki jarayonlarini (oqsil biosintezi, biologik faol moddalarning hosil bo'lishi, va boshqalar) faollashtirishga yordam beruvchi kichik dozasi bilan foydalaniladi.

Ultratovush organizmga mexanik, fizik, kimyoviy va issiq ta'sir qiladi. Ultratovushning terapevtik ta'siri mahalliy va umumiy reaksiyalardan iborat bo'lib, neyreflektor va gumoral yo'l orqali yuzaga chiqadi. Ultratovush ma'lum dozada og'riqsizlantiruvchi, so'ruvchi, yallig'lanishga qarshi, spazmolitik, fibrionolitik, qonni suyultiruvchi ta'sir qiladi. Uning ta'sirida bitish va tiklanish jarayonlari tezlashadi, nervmuskul apparati qo'zg'aluvchanligi oshadi. Periferik nerv tolasidan impuls o'tishini tezlashtiradi, to'qimaning trofik funksiyasini yaxshilaydi va h.k.

Tayanch-harakat apparati kasalliklari (artrit, artroz, revmatoid artrit, periferik nerv sistemasi jarohati va kasalligi, hazm a'zolari kasalliklari, me'da va 12 barmoq ichak kasalliyutari), quloq, tomoq va burun kasalliklari (tonzillit, faringit), ginekologik kasalliklar (salpingoofaritlar), urologik kasalliklar (prostatit) va stomatologik kasalliklar (parodontoz)ga yaxshi naf beradi.

Ultratovushni qo'llash bemorga to'g'ri kelishi kelmasligini faqat vrach aniqlab beradi. To'qimalarni kesish kabi xirurgik operatsiyalarda ham ultratovush asboblardan foydalaniladi. Ultratovush diagnostika maqsadlarida tosh va yot jismlarni, homilaning joylashish holati hamda boshining o'lchamini va boshqalarni aniqlashda qo'llaniladi.

**Ultramikroskop** (ultra... va mikroskop) — oddiy mikroskop yordamida ko'rib bo'lmaydigan mayda zarralarni ko'rishga xizmat qiladigan optik asbob. Ultramikroskop ko'riladigan ob'yekt (zarralar)ni yoritish usuli bilan oddiy mikroskopdan farq qiladi. Oddiy mikroskoplarda qo'llaniladigan obyektни yoritib kuzatish usuli o'rniga, bunda qorong'ilashtirilgan maydon usulidan foydalaniladi. Ultramikroskopda ob'yektни yoritish uchun kuchli yorug'lik manbai va juda katta yorug'lik kuchiga ega bo'lgan optik tizimlar qo'llaniladi. Bu usulda tekshirilayotgan obyekt (zarralar) nur bevosita kuzatuvchining ko'ziga tushmaydigan qilib, yon tomondan juda kuchli yoritiladi. Har bir yoritilgan zarra kuzatuvchiga qorong'i maydonda o'zidan yorug'lik sohib turuvchi yorug' nuqta bo'lib ko'rinadi. Turli xildagi ultramikroskop yordamida turli dispers sistemalarpat zarralarning konsentratsiyasi va harakati aniqlanadi. Ultramikroskopiya yordamida  $2 \cdot 10^{-9}$  m gacha kattalikdagi zarralarni o'rganish mumkin. Dastlabki ultramikroskopiya 1903-yilda avstriya olimlari G.Zidentopf (1872-1940) va R. Zigmondi (1865-1929) tomonidan yaratilgan.

## **10.2. Lazerli nanotexnologiyalar.**

***Lazer nurlanishlarning umumiy ta'rif.*** Lazer nurining muhit bilan o'zaro fizik ta'sirining rivojlanishi hamda lazerlarning sanoatdagi ishlab chiqarilishi lazerni oddiy asbobdan har xil texnologik jarayonlarni o'tkazish qurilmasiga aylantirdi.

Texnologlar tomonidan lazerga qiziqish lazer nurlanishning g'ayrioddiy xarakteristikalarini bilan bog'liqdir. Yorug'likning monoxromatik dastasini olish ehtimolligi lazerni aloqa masalalarini yechishda, meteorologiya va tibbiyotda almashtirib bo'lmaydigan nurlanish manbasiga aylantirildi. Lazer (dastasining) nurining yuqori jadalligi va monoxromatikligi gazli muhitlar va moddalarga ta'sir o'tkazish imkonini beradi. U esa lazerlardan izotoplarni bo'lish, ximiyaviy reaksiyalarni o'tkazish va har xil biologik obyektlarga maqsadli holda ta'sir o'tkazish imkoniyatini yaratdi. Energiya oqimi zichligining yuqoriligi va quvvatning yuqori darajadali termik texnologik jarayonlarda lazer nurini (unikal) yuqori darajadagi takomillashgan qurilmaga aylantiradi.

Lazer nuri uzluksiz doimiy amplitudali, impulsli va yuqori quvvatga ega bo'lishi mumkin. Ko'pgina qurilmalarda lazerdan boshqa manba orqali nurlanishni kuchaytirgich sifatida foydalaniladi. Kuchaytirilgan signal boshlang'ich signal bilan to'liq uzunligi, fazasi va qutblanishi bilan mos keladi. Bu optik qurilmalarda juda muhim hisoblanadi. Yorug'likning oddiy manbalari nurni turli yo'nalishlarda keng diapazon bo'ylab sochadi.

Bundan tashqari lazer bo'lmagan manbalarning nurlanishi odatda muhim qutblanishga ega bo'lmaydi. Aksincha, lazer nurlanishi monoxromatik va kogerent bo'lib, doimiy to'liq uzunligi va aniq fazaga shuningdek ma'lum qutblanishga ega. Kogerent bo'lmagan manbalardagiga qarama-qarshi ravishda kvant generatorning bir-biridan mikroskopik masofalarda bo'lgan qismlaridan chiqayotgan elektromagnetik to'liqlar o'zaro kogerent bo'ladi. Bu jihatdan kvant generatorlari kogerent radio to'liqlari manbalariga o'xshash bo'ladi.

Nurlanishning kogerentligi optik kvant generatorlarining qariyb hamma xususiyatlarida ko'rinadi. Nurlanishning to'la energiyasi bundan istisno

bo'ladi, chunki bu energiya kogerent bo'lmagan manbalardagi kabi dastavval uzatilayotgan energiyaga bog'liq bo'ladi. Lazerlarning nurlanishi kogerentligi bilan bog'langan ajoyib xususiyati shundan iboratki, energiya vaqt davomida, spektrda, fazoda tarqalish yo'nalishlari bo'yicha konsentratsiyalanadi. Ba'zi kvant generatorlarining nurlanishi yuqori darajada monoxromatik bo'ladi. Boshqa lazerlar davom etish vaqti  $10^{-12}$  s ga teng bo'lgan juda qisqa impulslar chiqaradi, shuning uchun bunday nurlanishning oniy quvvati juda katta bo'lishi mumkin.

Lazerlarning yaratilishi insoniyat ilmiy-texnik taraqqiyotining ulkan yutuqlaridan biri desa bo'ladi. Lazerlar yaratilishining boshlanishi 1916-yilga borib taqaladi. O'sha yili buyuk fizik olim **A.Eynshteyn** birinchi bo'lib, majburiy nurlanish tushunchasini kiritdi va nazariy yo'l bilan majburiy nurlanish uni majburlovchi nurlanishga kogerentligini (mosligini) ko'rsatadi. 1930-yilda **P.Dirak** o'zi tomonidan yaratilgan nurlanishning kvantomexanik nazariyasi asosida majburiy nurlanish va uning kogerentlik xususiyatlarini chuqurroq va aniqroq taxlil qilib, tushuntirib berdi. Lekin bu lazerning yaratilishi uchun yetarli emas edi. 1930-yildan boshlab optik spektroskopiya sohasida ko'plab ilmiy-tadqiqot ishlari boshlanib ketdi.

Bu izlanishlar natijasida atomlar, molekulalar, ionlarning energetik sathlari haqida ko'plab ma'lumotlar olindi va keyinchalik turli lazerlarning yaratilishida ishlatildi. Bu ishlarga S.Y.Frish va V.A.Fabrikant kabi Rossiya olimlari ham o'z hissalarini qo'shishdi. 1939 yilda **V.A.Fabrikant** birinchi bo'lib, yorug'lik nurining majburiy nurlanish hisobiga kuchayishining imkoniyati borligini aytdi. 1951-yilning yozida, u o'zining xodimlari bilan majburiy nurlanish yordamida elektromagnit nurlanishni (ultrabinafsha, ko'rinuvchi, infraqizil va radioto'lqinlar sohasida) kuchaytirish uslubi uchun avtorlik guvohnomasini olishga taklif berishgan. Bu takliflarida lazerlarning faol muhitini yaratishning asosiy g'oyalari bayon etilgan edi. Lekin optik kuchaytirish g'oyalaridan tashqari, uni amalda bajarish va nihoyat kogerent nurlarning hosil qilish uchun o'ziga xos teskari bog'lanishli optik rezonator bo'lishi kerak edi.



O'sha yillarda fanning optika bo'limida optik soha uchun rezonatorlar o'ylab topilmagan edi. Kvant elektronikasi yoki lazerlar fizikasining rivojlanishida radiofizikaning bo'limi bo'lgan radiospektroskopiya muhim omil bo'ldi. Uning keskin rivojlanishi 1940-yillardan boshlanib, ilmiy izlanishlar yo'nalishi atom va molekula spektroskopiyaasidan tashqari vaqt va chastotaning, ya'ni o'ta yuqori chastota (O'YUCH) standartlarini yaratilishga bag'ishlangan edi. Bu ilmiy izlanishlar natijasida 1950-yillarning boshlarida bir-birlaridan mustaqil ravishda *N.G.Basov*, *A.M.Proxorov* (FIAN, Rossiya) va *Ch.Tauns* (AQSH, Kolumbiya universiteti) tomonidan majburiy nurlanish g'oyalaridan amalda foydalanib, ammiak molekulasida ishlovchi molekulyar kuchaytirgich va generator (Mazer) yaratildi.

**Mazer** (**Maser** - *microwave amplification by stimulated emission of radiation*) - ingliz so'zlaridagi bosh harflardan tashkil topgan va mazmuni mikroto'lqinni majburiy nurlanish hisobiga kuchaytirishdir. Shu ishlari uchun ular 1964-yili Nobel mukofotining sovrindori bo'lishdi.

Kvant elektronikasining rivojlanishi elektromagnit to'lqinning yangi, infraqizil va ko'zga ko'rinuvchi sohalarida kogerent nurlanish olishga yo'naltirildi. Dunyoning ko'p ilmiy laboratoriyalarida lazerlar yaratish ustida ish boshlab yuborildi. Bu ishlarning rivojlanishida A.M. Proxorovning kvant qurilmalarida ochiq optik rezonator sifatida Fabri-Pero (etaloni) interferometrini qo'llash g'oyasi hal qiluvchi omil bo'ldi. Boshqa tomondan lazerlarning ba'zi turlari, masalan ranglantirilgan aralashmali lazerlar yoki yarim xromatik qattiq jisimli lazerlar chastotalarning bir qancha to'plamini keng spektral diapazonda boshqara oladi.

Lazerlar fanning ikki sohasi kvant mexanikasi va termodinamika hamkorligida yaratilgan. Lekin lazerlarning ko'pchilik turlari xatolar va urinishlar orqali yaratilgan. Dastlabki lazer 1960-yilda *Teodor Meyman* tomonidan Malibudagi Hyuz kompaniyasining tadqiqotlar laboratoriyasida yaratilgan. Meyman o'z ixtirosida 694 nanometr to'lqin uzunligida qizil nurlanish beruvchi rubindan yasalgan sterjendan foydalandi. Deyarli u bilan bir vaqtda eronlik fizik

*Ali Yovon* gazli lazerni namoyish qildi. Keyinroq u o'z ixtirosi uchun Albert Eynshteyn nomidagi mukofotga sazovor bo'ldi.

Lazer ishlashining asosiy mohiyati ishlovchi qismning uyg'otishi natijasida elektronlarning ko'chishi bilan bog'liq. Ishlovchi qism optik rezonatorga o'rnatiladi. Majburiy nurlantiruvchi mexanizm yordamida to'lqinlar aylanishi natijasida uning energiyasi eksponensial ravishda ortib boradi. Nurni kuchaytiradigan aktiv muhitning tipiga qarab lazerlar - qattiq jisimli, gazli, yarimo'tkazgichli va suyuqlikli lazerlarga bo'linadi. Yanada aniqroq aytganda, lazerlarning turlarini sinflashda majburiy yig'ish usuli ham muhim rol o'ynaydi.

***Nanotexnologiyalar nima?*** Elektron manbalarda keltirilishicha, "nano" 1960-yildan muomalaga kiritilgan bo'lib, yunoncha "mitti" ma'nosini bildiradi. Boshqacha aytganda, nano qo'shimchasi u yoki bu birlikni ya'ni metrning milliarddan ( $10^{-9}$ ) bir bo'lagini anglatadi. Oldiniga nanometr, nanosekund, aniqrog'i, birliklarning eng kichiklarini aks ettirishga xizmat qilgan "mitti" so'zi asta-sekinlik bilan "bo'linmas zarralar", ya'ni atomlar ustida tadqiqot olib boruvchi sohalarda keng qo'llanila boshladi. Bu sohada izlanishlar ancha oldindan olib borilganiga qaramay, "nano" qo'shimchasi ilk bor 1974-yili texnologiya atamasi bilan birga qo'llaniladi. Bu tushuncha yaponiyalik Norio Taniguchi tomonidan kiritilgan edi. U o'lchamlari bir mikrondan kichik bo'lgan texnologiya va mexanizmlarni ***nanotexnologiya*** deb atash taklifini kiritdi. Bu esa, o'z navbatida, ilg'or texnologiyalarning yangi yo'nalishini belgilab berdi.

1959 - yilda Nobel mukofoti laureati Richard Feynman modda tuzilishining kichik o'lchamlardagi muammosi haqida gapirib, ***"Pastda ham juda ko'p joy bor"*** (***"There is plenty of space on the bottom"***) ma'ruzasida ***"biron bir fizikaviy yoki kimyoviy qonun atomlarning o'zaro vaziyatini o'zgartirishga xalaqit bermaydi"*** deb aytgan edi.

Nanotexnologiyalar - bu XXI asr texnologiyasi bo'lib, uglerod nanotrubkalar aosida katta natijalarga erishish mumkin. Bu natijalar elektronika va texnikada, tibbiyotda, kimyoviy texnologiyalarda qo'llanish perspektivalarini ochadi. 1991-

yilda Nec kompaniyasidan Suomi Niyama uglerod nanotrubkalarini ochdi. Nanotrubkalar sohasida “Ikki o’lchovli materiallar-grafenni” tadqiq etish bo’yicha Andrey Geym va Konstantin Novosyolov 2010 - yilda Nobel mukofotiga sazovor bo’lishdi. Uglerodli nanotrubkalar - trubka shaklida joylashgan million atomdan iborat uglerodli nanozarrachalardir. Nanotrubkalarni ixtiro qilinishi olimlarga juda ko’p nanouskunalarini yaratishga yordam berdi. Masalan: *nanoskalpel, nanoshprits, nanotermometr, nanopintsept va nanotarozilar*.

Birinchi bo’lib nanouskunalaridan ikki uglerodli nanotrubkadan iborat nanopintsept yaratildi. Bu nanopintseptlar bilan xuddi Xitoy tayoqchalari singari yirik molekulalarni joyidan jildirish yoki bir – biriga ulash mumkin. Keyin dunyoda eng sezgir nanotarozilar yaratildi. Bu nanotarozilar yordamida atom va molekulalardan materiallar hosil qilish uchun bir dona molekulani tortishga erishildi. Undan keyin, odatdagi oddiy tana issiqligini o’lchagichga o’xshagan lekin, undan juda ko’p marta kichik bo’lgan nanotermometr ixtiro qilindi. 2006-yili uglerodli nanotrubkadan nanoskalpelni olimlar yaratdilar. Bu nanoskalpel yordamida jonli hujayrani yorib ko’rish mumkin bo’ldi. 2007-yili nanoshprits yaratildi. Hujayralar ichiga qobiqlariga zarar etkazmagan holda u yoki bu narsani kiritish mumkin bo’ldi. Nanotrubkalar odam sochidan yuz ming marta kichkina lekin po’latdan yuz marta mustahkam. Bir millimetrli nanotrubkaning ipi 20 tonnalik og’irlikni ko’tarishi mumkin. Nanotrubkalar juda mustahkam bo’lishiga qaramay egiluvchandir. Nanotrubkalar yirtilmaydi, sinmaydi, juda kuchli ta’sir ostida esa ularning atomlari qayta joylashib oladi. Nanotrubkalar uglerodning atomlaridan iborat bo’ladi. Nanotrubkalarda bor bo’lgan xususiyatlar boshqa hech qaysi materiallarda yo’q.

Nanotrubkalardan kuchli temperaturaga chidamli bo’lgan sun’iy muskullarni yaratish mumkin. O’t o’chiruvchilar va kosmonavtlarni kiyimlarini tikish uchun yengil va mustahkam materiallarni nanotrubkalardan tayyorlash mumkin. Nanotrubkalardan hozirgi kundagi kompyuterlardagi elementlardan bir necha yuz marta kichkina bo’lgan elementlarni tayyorlash mumkin. Yana nanotrubkalardan suyuqlik va gazni ushlab turish uchun konteynerlar tayyorlash mumkin. Masalan,

nanotrubkali konteynerga vodorod to'ldirilsa, yaqin vaqt ichida dunyo yo'llarida avtomobillar vodorod yoqilg'isida yuradi bu esa ekologik muammolarni hal qiladi, chunki mashinadan vodorod yoqilg'isi chiqindisi suv bug'i singari bug'lanadi. Shunday qilib, nanotrubkalar ichiga zaharli gazlarni qamash ham mumkin. Bu holatda ichkaridagi gazlar mustaqil ravishda chiqib ketmaydi. Faqatgina inson tomonidan boshqariladigan maxsus idishlarda, ya'ni, nanotrubkalar, ichkaridagi gazlarni chiqarib yuborishi mumkin.

Nanotexnika uchun birinchi vositalar IBM da ishlab chiqarildi. 1982-yilda Gerd Binning (Gerd Binning) va Genrix Rorer (Genirh Rorer) tunnel mikroskopini yaratishdi va nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi va amerikalik tadqiqotchi Don Eygler (Don Egler) atomlarni metall sirtida joylashtirib ulardan "IBM" yozuvini hosil qildi. IBM ning Shveytsariya bo'limidagi ikki olimi G.Binning va G.Rored 1981-yilda yuzalar mikrorelefini o'lchash muammolari bilan shug'ullanib, materialning yuzasidagi yakka atomlarni ham farqlash qobiliyatiga ega bo'lgan mikroskopni yaratishga sazovor bo'ldilar.

Xulosa qilib aytganda, nanotexnologiyalar, nanomateriallar va ular asosida yaratilayotgan qurilmalar fan va texnika rivojlanishining asosiy elementlari hisoblanadi. Ular insonlar uchun zarur bo'lgan yangi ehtiyojlarni paydo bo'lishiga va bu ehtiyojlarni qondirishda muhim unsur hisoblanadi.

***Tibbiyotda lazerlar va nanotexnologiyalar.*** So'nggi yarim asr ichida lazerlar oftalmologiya, onkologiya, plastik jarrohlik va tibbiyotning ko'plab boshqa sohalarida va biotibbiyot tadqiqotlarida keng qo'llanildi. Kasalliklarni davolash uchun yorug'likdan foydalanish imkoniyati ming yillar oldin ma'lum bo'lgan. Qadimgi yunonlar va misrliklar terapiyada quyosh nuridan foydalandilar va bu ikki fikr hatto mifologiyada bir-biri bilan bog'liq edi - yunon xudosi Apollo quyosh va shifo xudosi edi. Va bundan 50 yil oldin nurlanishning izchil manbaini ixtiro qilganidan keyingina tibbiyotda nurdan foydalanish potensiali aniqlandi. Maxsus xususiyatlari tufayli lazerlar quyosh yoki boshqa manbalardan keladigan nurlanishdan ko'ra samaraliroq. Har bir kvant generatori juda tor to'lqin uzunligi diapazonida ishlaydi va izchil yorug'lik chiqaradi.

Shuningdek, tibbiyotda lazerlar katta kuchlarni yaratishga imkon beradi. Energiya nurini juda kichik bir nuqtada to'plash mumkin, buning natijasida uning yuqori zichligiga erishiladi. Ushbu xususiyatlar bugungi kunda lazerlar tibbiy diagnostika, terapiya va jarrohlikning ko'plab sohalarida qo'llanilishiga olib keldi.

**Teri va ko'zni davolash.** Lazerlarni tibbiyotda qo'llash oftalmologiya va dermatologiyadan boshlangan. Kvant generatori 1960-yilda kashf etilgan. Va oradan bir yil o'tgach, Leon Goldman tibbiyotda yoqut qizil lazer yordamida kapillyar displazi, tug'ma belgilar va melanomani qanday olib tashlash mumkinligini namoyish etdi. Bunday dastur kogerent nurlanish manbalarining ma'lum bir to'lqin uzunligida ishlash qobiliyatiga asoslanadi. Kogerent nurlanish manbalari o'simtalarni, zarblarni, sochlarni olib tashlash uchun keng qo'llaniladi. Dermatologiyada turli xil va to'lqin uzunlikdagi lazerlar qo'llaniladi, bu turli xil davolangan lezyonlar va ularning ichidagi asosiy singdiruvchi modda tufayli, shuningdek, bemorning terisiga bog'liq. Bugungi kunda dermatologiya yoki oftalmologiyani lazersiz mashq qilish mumkin emas, chunki ular bemorlarni davolashda asosiy vositaga aylandi. Ko'zni to'g'rilash va oftalmik qo'llanilish uchun kvant generatorlaridan foydalanish 1961-yilda Charlz Kempbell tibbiyotda qizil lazerdan foydalangan holda, retinali parchalanish bilan og'rikan bemorni davolashda birinchi shifokor bo'lganidan keyin kengaydi.

Keyinchalik, oftalmologlar bu maqsadda spektrning yashil qismida argon kogerent nurlanish manbalaridan foydalanishni boshladilar. Bu erda ko'zning o'ziga xos xususiyatlari, ayniqsa uning linzalari, nurni retinal dekolma hududiga yo'naltirish uchun ishlatilgan. Qurilmaning yuqori konsentratsiyalangan kuchi uni tom ma'noda payvandlaydi.

**Lazerli jarrohlik** - lazer koagulyatsiyasi va fotodinamik terapiya – molekula degeneratsiyasining ba'zi shakllari bo'lgan bemorlarga yordam berishi mumkin. Birinchi protsedurada qon tomirlarini muhrlash va molekula ostida ularning patologik o'sishini sekinlashtirish uchun kogerent nurlanish nurlari qo'llaniladi. Shunga o'xshash tadqiqotlar 1940-yilda quyosh nuri ostida o'tkazildi, ammo ularning muvaffaqiyatli yakunlanishi uchun shifokorlar kvant generatorlarining

noyob xususiyatlariga muhtoj edilar. Argon lazeridan keyingi foydalanish ichki qon ketishini to'xtatish edi. Qon tomirlarini to'sib qo'yish uchun gemoglobin, qizil qon tanachalarining pigmenti bo'lgan yashil chiroqning tanlab so'rilishi ishlatilgan. Saraton kasalligini davolash uchun o'simga kiradigan va uni ozuqa moddalari bilan ta'minlaydigan qon tomirlari yo'q qilinadi. Bunga quyosh nuri yordamida erishib bo'lmaydi. Ehtimol, tibbiyot juda konservativ, ammo kogerent nurlanish manbalari uning turli sohalarida tan olingan. Tibbiyotdagi lazerlar ko'plab an'anaviy asboblarning o'rnini bosdi.

**Vizualizatsiya va diagnostika.** Tibbiyotdagi lazerlar ko'plab boshqa kasalliklar singari saraton kasalligini erta aniqlashda muhim rol o'ynaydi. Masalan, Tel-Avivda bir guruh olimlar infraqizil nurlanish manbalaridan foydalangan holda IQ spektroskopiyasiga qiziqish bildirdilar. Buning sababi shundaki, saraton va sog'lom to'qimalar turli xil infraqizil patentsiyaga ega bo'lishi mumkin. Ushbu usulning istiqbolli dasturlaridan biri bu melanomani aniqlashdir. Teri saratoni bilan erta tashxis qo'yish bemorning omon qolishi uchun juda muhimdir. Hozirgi vaqtda melanomani aniqlash ko'z bilan amalga oshiriladi, shuning uchun u shifokorning mahoratiga ishonish uchun qoladi. Isroilda yiliga bir marta har bir kishi melanoma uchun bepul tekshiruvdan o'tishi mumkin. Bir necha yil oldin yirik tibbiyot markazlaridan birida tadqiqotlar o'tkazildi, natijada IQ diapazonidagi farqni, potensial, ammo xavfli bo'lmagan belgilar va haqiqiy melanoma o'rtasidagi farqni vizual ravishda kuzatish mumkin bo'ldi. Katsir 1984-yilda birinchi SPIE biotibbiy-optik konferensiyasining tashkilotchisi va uning Tel-Avivdagi jamoasi infraqizil to'lqin uzunliklariga shaffof bo'lgan optik tolalarni ishlab chiqdilar, bu esa ushbu usulni ichki diagnostikaga kengaytirdi.

**Tirik organizmlarning mikroskopiyasi.** Fan, texnologiya va tibbiyotda **lazerlar mikroskopiyani** ko'p turlarida ham asosiy rol o'ynaydi. Ushbu sohada ko'plab rivojlanishlar amalga oshirildi, ularning maqsadi skalpelni ishlatmasdan bemorning tanasida nima sodir bo'lishini tasavvur qilishdir. Saratonni olib tashlashning eng qiyin qismi bu jarroh hamma narsa to'g'ri bajarilganligiga

ishonch hosil qilishi uchun mikroskop xizmatiga murojaat qilishdir. Jonli va real vaqtda mikroskopiya qilish qobiliyati muhim yutuqdir.

Muhandislik va tibbiyotda lazerlarning yangi qo'llanilishi optik mikroskopiyaning yaqin zonasida skanerlashdir, bu esa standart mikroskoplarga qaraganda ancha katta hajmdagi tasvirlarni ishlab chiqarishga qodir. Ushbu usul o'lchamlari yorug'lik to'lqin uzunligidan kam bo'lgan uchlarida iplar bo'lgan optik tolalarga asoslangan. Bu pastki tollqinli tasvirlashga imkon berdi va biologik hujayralarni tasvirlash uchun asos yaratdi. Ushbu texnologiyani IR lazerlarida qo'llash Altsgeymer kasalligi, saraton va hujayralardagi boshqa o'zgarishlarni yaxshiroq tushunishga yordam beradi.

**Shaxsiy davolanish.** Lazerlar ishlatiladigan yana ikkita yo'nalish – bu genetika va epigenetika. Kelajakda hamma narsa nano darajada bo'ladi, bu esa dori-darmonlarni hujayra miqyosida bajarishga imkon beradi. Femtosekundli impulslarni keltirib chiqaradigan va ma'lum to'lqin uzunligiga moslashtiradigan lazerlar shifokorlar uchun ideal sheriklardir. Bu har bir bemorning genomiga qarab individual davolanish uchun eshiklarni ochadi.

**Leon Goldman - lazer tibbiyotining asoschisi.** Kvant generatorlarini odamlarni davolashda qo'llash haqida gap ketganda, Leon Goldmanni eslamaslik mumkin emas. U lazer tibbiyotining “otasi” sifatida tanilgan. Birgalikda radiatsiya manbai ixtiro qilinganidan bir yil o'tgach, Goldman uni teri kasalliklarini davolashda qo'llagan birinchi tadqiqotchi bo'ldi. Olim tomonidan qo'llanilgan usul lazer dermatologiyasining keyingi rivojlanishiga yo'l ochdi. Uning 60-yillarning o'rtalarida olib borgan tadqiqotlari retinali jarrohlikda **yoqut kvant generatorini** ishlatishga va kogerent nurlanishning terini bir vaqtning o'zida kesib tashlash va qon tomirlarini muhrlash, qon ketishini cheklash kabi kashfiyotlarga olib keldi. Faoliyatining katta qismini Cincinnati universitetida dermatolog sifatida o'tkazgan Goldman Amerika Tibbiyot va Jarrohlik sohasida **Lazerlar Jamiyatiga** asos soldi va lazer xavfsizligi uchun asos yaratishga yordam berdi.

**Boshqa dasturlar.** Lazer yordamida urologlar siydik yo'llarining torayishini, yarani, siydik toshlarini, siydik pufagini va kattalashgan prostata davolashlari

mumkin. Tibbiyotda lazerdan foydalanish neyroxirurglarga aniq kesmalar qilish va miya va orqa miya endoskopik monitoringini o'tkazish imkonini berdi. Veterinariya shifokorlari lazerlardan endoskopik muolajalar, o'smalarning koagulyatsiyasi, kesmalar va fotodinamik davolanish uchun foydalanadilar. Stomatologlar teshiklarni teshishda teshiklarni ochishda, antibakterial muolajalarni amalga oshirishda, tishlarning yemirilishini pasaytirishda va orofatsial tashxis qo'yish uchun nurlanishdan foydalanadilar.

*Nanomeditsina.* So'nggi paytlarda bir qator biologik qo'llanmalar uchun mos xususiyatlarga ega bo'lgan ko'plab nanostrukturalar paydo bo'ldi. Ulardan eng muhimi:

- kvant nuqta - juda sezgir hujayrali tasvirlashda ishlatiladigan nanometr o'lchamidagi yorug'lik zarralari;
- tibbiy amaliyotda qo'llanilgan magnit nano-zarrachalar;
- terapevtik molekulalar uchun polimer zarralari;

Nanotexnologiyaning rivojlanishi va tibbiyotda lazerlardan foydalanish, qisqasi, dorilarni qabul qilish usulida inqilob qildi. Nanopartikullarni o'z ichiga olgan dorilarni to'xtatib turish, ta'sirlangan to'qimalar va hujayralarga tanlab ta'sir ko'rsatib, ko'plab birikmalarning terapevtik indeksini oshirishi mumkin (eruvchanligi va samaradorligini oshiradi, toksiklikni kamaytiradi). Ular faol moddani yetkazib berishadi, shuningdek tashqi stimulyatsiyaga javoban faol moddaning chiqarilishini tartibga soladi. Nanoteranostika - bu nano-zarrachalar, dori aralashmalari, terapiya va diagnostika tasvirlash vositalaridan ikki tomonlama foydalanishni ta'minlaydigan yana bir tajribaviy yondashuv bo'lib, bu shaxsiylashtirilgan davolanishga yo'l ochadi. Tibbiyot va biologiyada lazerlardan mikrodisseksiya va fotoablatsiya uchun foydalanish turli darajalarda kasallikning fiziologik mexanizmlarini tushunishga imkon berdi. Natijalar har bir bemorni tashxislash va davolashning eng yaxshi usullarini aniqlashga yordam beradi. Vizualizatsiya sohasidagi yutuqlar bilan uzviy bog'liq holda nanotexnologiyalarni rivojlantirish ham ajralmas bo'ladi. Nanomeditsina saraton, yuqumli kasalliklar yoki tashxis qo'yishning ayrim turlarini davolashning istiqbolli yangi shaklidir.



Tibbiyotda lazerlar o'zlarining qo'llanilishini *lazerli skalpel* shaklida topdilar. Uning jarrohlik operatsiyalari uchun ishlatilishi quyidagi xususiyatlar bilan belgilanadi:

- ❖ U nisbatan qonsiz kesma hosil qiladi, chunki shu bilan birga u to'qimalarni ajratish bilan birga juda katta bo'lmagan qon tomirlarini nur bilan yaraning chetlarini koagulyatsiya qiladi;
- ❖ Lazerli skalpel kesish xususiyatlarining doimiyligi bilan ajralib turadi. Qattiq jism (masalan, suyak) bilan aloqa qilish skalpelga zarar bermaydi. Mexanik skalpel uchun bunday holat halokatli bo'lar edi;
- ❖ Lazer nurlari, uning shaffofligi tufayli, jarroh operatsiya qilinayotgan hududni ko'rishga imkon beradi. Oddiy skalpelning pichog'i, shuningdek, elektr pichoqning pichog'i har doim ma'lum darajada jarrohning ish maydonini to'sib qo'yadi;
- ❖ Lazer nurlari to'qimaga biron bir mexanik ta'sir ko'rsatmasdan masofani kesadi;
- ❖ Lazerli skalpel mutlaq bepushtlikni ta'minlaydi, chunki faqat radiatsiya to'qima bilan o'zaro ta'sir qiladi;
- ❖ Lazer nurlari qat'iy ravishda mahalliy darajada ishlaydi, to'qimalarning bug'lanishi faqat markazida bo'ladi. Qo'shni to'qima joylari mexanik skalpeldan foydalangandan kamroq zarar ko'radi;
- ❖ Klinik amaliyot shuni ko'rsatdiki, lazerli skalpeldan olingan jarohat zarar qilmaydi va tezroq davolanadi.

Jarrohlik amaliyotida lazerlardan amaliy foydalanish SSSRda 1966-yilda A.V.Vishnevskiy institutida boshlangan. Ko'krak va qorin bo'shlig'ining ichki a'zolarida operatsiyalarda lazerli skalpel ishlatilgan. Hozirgi kunda plastik jarrohlik operatsiyalari, qizilo'ngach, oshqozon-ichak, buyraklar, jigar, taloq va boshqa a'zolar lazer nurlari yordamida amalga oshirilmoqda. Ko'p sonli qon tomirlari, masalan, yurak, jigarda joylashgan organlarda lazer yordamida operatsiyalarni bajarish juda jozibali.

## Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.

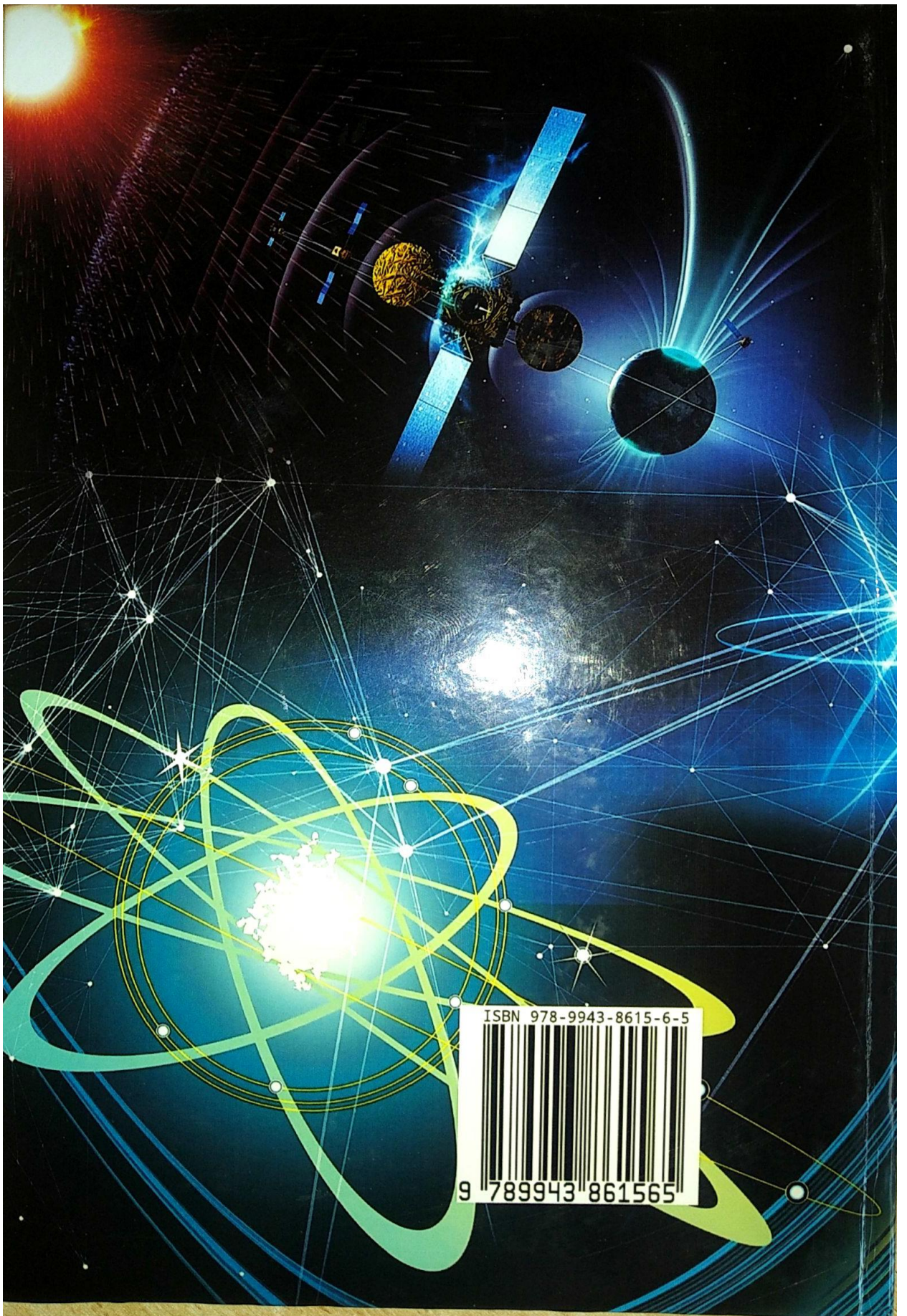
1. T.M.Babayev. "Yuqori molekulyar birikmalar". Toshkent-2015. 412 b.
2. M.I.Nazarbayev., A.Z.Sobirjonov. "Biofizika". Toshkent-2018. 128 b.
3. P.P.Вильданов., F.Б.Эшонқулов. "Оптик нурланишнинг когерентлик эффектлари". Ўқув қўлланма. -Т.: "Университет". 2009. 68b.
4. R.R.Vildanov, G'.B. Eshonqulov. "Lazerli fizika va lazerli texnologiya: Optik signallarni qabul qilish va qayta ishlash asoslari" O'quv qo'llanma. T.: "Universitet", 2005. 56 b.
5. A.Б. Мигдал. "Квантовая физика для больших и маленьких". М.: Наука. 1989. 144 b.
6. N.Raximov, R.Rasulov. "Nanofizika va nanoelektronika asoslari". Namangan-2012. 118 b.
7. H.O.Abdullayev, S.U.Abdulboriyev. "Nanotexnologiyaga kirish". Uslubiy qo'llanma. Namangan-2012. 20 b.
8. A.Quvatov. "Fizikaviy tadqiqot usullari". Laboratoriya ishlari uchun o'quv qo'llanma. Toshkent-2006. 9 b.
9. G'.Murodov, H.Xushvaqto'v. "Spektroskopiya asoslari". Toshkent 2015. 50 b
10. A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov, Q.A.Ismoilov. "Nanozarralar fizikasi, kimyosi va texnologiyalari". Toshkent-2014. 219 b.
11. A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov, Sh.Ermatov. "Qattiq jism fizikasi". Toshkent-"Moliya"-2001. 238 b.
12. A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov, E.Musayev. "Yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblarning texnologiyasi". Toshkent-2006. -22 b.
13. A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov, S.Vlasov, V.Abduazimov. "Yarimo'tkazgichlar sirt fizikasi". Toshkent-2010. -25 b.
14. S.Zaynobiddinov, Sh.Yo'lchiyev, D.Nazirov, M.Nosirov. "Yarimo'tkazgichlarda atomlar diffuziyasi". Toshkent-2012. -68 b.

- 15.** T.M.Mo'minov, A.B.Xoliqulov. "Atom yadrosi va zarralar fizikasi".  
Toshkent-2009. -67 b.

Terishga berildi 12.09.22. Bosishga ruxsat berildi 12.11.22. Bichimi 84x108 1/32  
Times new roman garniturasida offset usulida chop etildi. Nashr bosma tabog'i  
32,0. Shartli bosma tabog'I 32,0.

Alisher Navoiy nomidagi  
O'zbekiston Milliy kutubxonasi  
“FA’N VA TA’LIM” nashriyotida chop etildi.





ISBN 978-9943-8615-6-5



9 789943 861565