

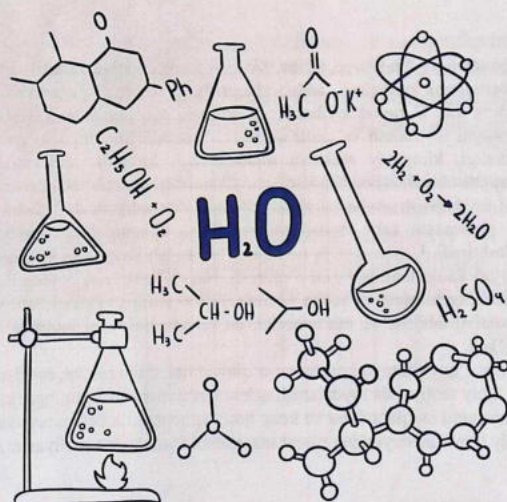


KIMYO MUHANDISLIGI

ROB HANSON

ROB HANSON

KIMYO MUHANDISLIGI



“Donishmand ziyosi”
Toshkent – 2025

UO*K 544.02:62(075.8)
KBK 24.12ya73
H 26

544:62
H 26

**O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi
huzuridagi Oliy ta'limni rivojlantirish tadqiqotlari markazining
buyurtmasiga asosan nashrga tayyorlandi va chop etildi.**

Ingiliz tilidan **Matluba OMONOVA** tarjimai

Rob Hanson.

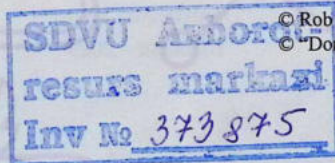
Kimyo muhandisligi [Matn]: qo'llanma / Rob Hanson. – Toshkent: "Donishmand ziyosi", 2025. – 272 b.

Kimyo muhandisligi – bu kimyo, fizika, biologiya, matematika va iqtisodiyot tamoyillarini, energiya va materiallarni loyihalash, ishlab chiqarish, tashish va o'zgartirishda qo'llanadigan muhandislik tarmog'idir. U zavod loyihalari va ishlarini, shu jumladan xavfsizlik va xatarlarni baholash, jarayonlarni loyihalash va tahlil qilishni o'rganadi. Shuningdek, kimyo muhandisligi nazorat muhandisligi, kimyoviy reaksiya muhandisligi, biologik muhandislik va yadroviy muhandislik bilan chambarchas bog'liq. Kimyo muhandisligi materiallar va energiyadan iqtisodiy jihatdan samarali foydalanish usullarini ishlab chiqadi. Xomashyoni dori-darmonlar, neft-kimyo mahsulotlari va plastmassa kabi foydali mahsulotlarga aylantirishda kimyo va muhandislik tarmoqlarini birlashtiradi. Ushbu darslik sohaning rivojlanish jarayonini ko'rib chiqadi va uning asosiy tushunchalari va qo'llanilishlarini o'rganadi. Mavzularni uzoq muddatli yondashuv bilan tahlil qilishda, ularning zamonaviy vosita sifatida soha o'sishiga ta'sirini ham yoritadi. Kitobda taqdim etilgan batafsil tahlillar va ma'lumotlar, bu sohada ishlovchi mutaxassislar va talabalar uchun foydali bo'ladi.

Mazkur xorijiy o'quv adabiyoti professor-o'qituvchilar, doktorantlar, magistrantlar va talabalarning o'quv va ilmiy faoliyatida foydalanish uchun mo'ljallangan. Shuningdek, ilmiy izlanishlar olib borayotgan mustaqil tadqiqotchilar va keng ilmiy jamoatchilik uchun tavsiya qilinadi.

Ushbu xorijiy o'quv adabiyotidan tijorat maqsadida foydalanish qat'iyan man etiladi.

ISBN 978-9910-715-50-1



© Rob Hanson, 2025
© "Donishmand ziyosi", 2025

SO'ZBOSHI

Ushbu kitobni siz azizlarga taqdim etish men uchun katta sharaftir. U ko'plab hamkasblarim va bu sohaning boshqa vakillari bilan olib borilgan izlanishlar-u muhokamalardan so'ng sinchkovlik bilan yozildi. Shu fursatdan foydalanib, hayotimning har bir bosqichida meni to'xtovsiz qo'llab-quvvatlab kelgan oilam va do'stlaringa samimiy minnatdorchiligimni izhor qilmoqchiman.

Kimyo muhandisligi – bu kimyo, fizika, biologiya, matematika va iqtisodiyot asosida energetika hamda xomashyo materiallarni loyihalash, ishlab chiqarish, tashish va o'zgartirish bilan bog'liq muhandislik sohasi. Bu soha zavodlarni loyihalash va ulardan foydalanish, xavfsizlikni ta'minlash, xavf-xatarlarni baholash, jarayonlarni tahlil qilish va takomillashtirish bilan shug'ullanadi. Shu bilan birga, kimyoviy muhandislik boshqaruv muhandisligi, kimyoviy reaksiya muhandisligi, biologik muhandislik va yadro muhandisligi kabi yo'nalishlar bilan uzviy bog'liqdir.

Kimyo muhandisligi xomashyo manbalari va energetikadan samarali hamda iqtisodiy jihatdan tejamkor usulda foydalanish yo'llarini ishlab chiqadi. Ushbu soha xomashyolarni dori-darmon, neft-kimyo mahsulotlari va plastmassa kabi foydali mahsulotlarga aylantirishda kimyo va muhandislik tarmoqlaridan foydalanadi.

Mazkur o'quv qo'llanma kimyo muhandisligi sohasining rivojlanish yo'li, asosiy tushunchalari va qo'llanmalari bilan tanishtiradi. Kitobda istiqbolli rejalarni hisobga olib, kimyoviy muhandislikning zamonaviy rivojlanishi to'g'risida mavzular berilgan. Unda keltirilgan ma'lumotlar va tahlillar ushbu sohada faoliyat yuritayotgan mutaxassislar hamda shu yo'nalish bo'yicha tahsil olayotgan talabalarga asqatadi.

Boblarning qisqacha mazmuni

1-bob. Kimyo muhandisligi nima?

Kimyo muhandisligi – energiya va materiallarni samarali ishlab chiqarish, loyihalash va o'zgartirish bilan shug'ullanuvchi muhandislik sohasi. Bu bobda kimyo muhandisligining mazmuni kengroq ochib berilgan.

2-bob. Kimyo muhandisligining bo'limlari

Kimyo muhandisligi turli kichik yo'nalishlarga bo'linadi. Ular orasida polimer muhandisligi, kimyoviy reaksiya muhandisligi, biokimyoviy muhandislik, farmatsevtika muhandisligi va boshqalar mavjud. Ushbu yo'nalishlar ikkinchi bobda batafsil yoritilgan.

3-bob. Kimyoviy kinetika

Kimyoviy kinetika – kimyoviy reaksiyalar tezligini o'rganadigan kimyo sohasi. Bu bobda to'qnashuv nazariyasi, kimyoviy muvozanat, massa harakati qonuni (Nyutonning ikkinchi qonuni) kabi tushunchalar muhokama qilinadi.

4-bob. Elektrokimyoviy muhandislik

Kimyo muhandisligining elektrokimyoviy jarayonlar, masalan, elektroliz¹, elektrokimyoviy ajratish va korroziya² bilan bog'liq sohalari elektrokimyoviy muhandislik deb ataladi. To'rtinchi bob elektrokimyoviy muhandislik yo'nalishi bo'yicha tushunchalarni sodda tarzda ochib beradi.

5-bob. Kimyo muhandisligining xilma-xil tomonlari

Kimyo muhandisligining asosiy jihatlari – ajratish jarayonlari, birlashish operatsiyalari, kimyoviy kinetika, jarayonlarni loyihalash va boshqalardan iborat. Ushbu bob shu kabi jarayonlar haqida yaxlit tasavvur hosil qilishga yordam beradi.

Rob Hanson

¹ **Elektroliz** – bu elektr toki yordamida kimyoviy moddalarni ajratish yoki o'zgartirish jarayoni.

² **Korroziya** – bu materiallarning atrof-muhit bilan ta'sirida buzilishi yoki shikastlanishi jarayoni, odatda metallarning oksidlanishi yoki zanglashi.

Kimyo muhandisligi nima?

1

- Kimyoviy element
- Kimyoviy birikma

Kimyo muhandisligi energetika va xomashyo manbalaridan samarali foydalanish, ularni ishlab chiqarish, loyihalash va o'zgartirish bilan shug'ullanuvchi kimyo fanining muhim tarmoqlaridan biri bo'lib, fizik, kimyoviy, matematik, biologik va iqtisodiy tamoyillarga asoslanadi. Ushbu bo'limda keltirilgan mavzular kimyo muhandisligi haqida chuqurroq tushuncha hosil qilishimizga yordam beradi.

Kimyo muhandisligi – bu zavodlardagi moddalarning fizik yoki kimyoviy holatini o'zgartirish jarayonlarini boshqarish va loyihalash bilan shug'ullanadigan fan. Bu soha kimyo, fizika va matematika tamoyillariga tayanib, sanoatda keng qo'llaniladi.

Fizik-kimyo va fizika qonunlari kimyoviy muhandislik faniga doir jarayonlarning amaliyligi va samaradorligini boshqaradi. Fanimiz doirasida termodinamik mulohazalardan kelib chiqadigan energiya o'zgarishlariga oid qonun-qoidalar ko'proq ahamiyat kasb etadi. Matematika fani optimallashtirish va modellashtirish jarayonlarida asosiy vosita hisoblanadi. Optimallashtirish materiallar, obyektlar va energiyani imkon qadar samarali va tejamkor tarzda tartibga solsa, modellashtirish murakkab jarayon tizimlarining nazariy matematik prototiplarini³ kompyuter yordamida yaratadi.

Kimyo muhandisligi ishlab chiqarish sanoati kabi qadimiy soha bo'lib, uning ildizlari ilk sivilizatsiyalar tomonidan amalga oshirilgan fermentatsiya⁴ va bug'latish jarayonlariga borib taqaladi. Zamonaviy kimyo muhandisligi XIX asrning ikkinchi yarmida yirik kimyoviy ishlab chiqarish jarayonlarining rivojlanishi bilan paydo bo'ldi. Kimyo muhandisligi mustaqil fan sifatida rivojlanishi davomida yirik zavodlarni boshqarish va loyihalash muammolarini hal etish bilan birgalikda ularni muntazam ishlab chiqarish uchun ham bosqichma-bosqich o'tish yo'llarini ishlab chiqdi.

³ **Prototip** – bu yangi kimyoviy moddalar yoki reaksiyalarni ishlab chiqishda ishlatiladigan dastlabki namuna. U laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkaziladi va keyingi tadqiqotlar yoki ishlab chiqish jarayonlarida asos bo'ladi.

⁴ **Fermentatsiya** – bu mikroorganizmlar yordamida kislorodsiz sharoitda organik moddalar parchalanib, energiya hosil bo'lishi jarayonidir. Bu jarayon pivo, vino, non kabi mahsulotlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

XIX asrning o'rtalarida kimyoviy moddalar ishlab chiqarish kichik hunarmandchilik amaliyotlaridangina iborat edi. Kimyoviy muhandislikka bo'lgan talab tobora ortib bordi; zararli chiqindilar tufayli jamoatchilik tashvishlana boshladi; ishlab chiqarishda ham raqobat yanada kuchaydi. Bu esa samaradorlikni oshirishga turtki bo'ldi: yirik operatsiyalarni amalga oshirish uchun resurslarga ega bo'lgan korporatsiyalar paydo bo'ldi, ushbu soha oddiy hunarmandchilikdan ilmiy asoslangan sanoatga aylandi. Natijada, ishlab chiqarish jarayoniga oid bilimga ega bo'lgan kimyogarlar – sanoat kimyogarlari yoki kimyo texnologlari kabi kasb egalari talab paydo bo'ldi. Umuman olganda, “kimyo muhandisi” atamasi shu tariqa paydo bo'ldi.

Kimyoviy modda

Kimyoviy modda – bu materiyadan tarkib topgan har qanday modda bo'lib, u suyuqlik, qattiq jism yoki gaz shaklida bo'lishi mumkin. Kimyoviy modda deganda, sof modda (element) yoki har qanday aralashma (eritma, birikma yoki gaz) tushuniladi.

Tabiatda uchraydigan kimyoviy moddalarga misollar

Tabiiy kimyoviy modda qattiq, suyuq yoki gaz holatida bo'lishi mumkin. Bunday qattiq jismlar, suyuqliklar yoki gazlar alohida elementlardan tashkil topgan bo'ladi yoxud molekullar shaklida ko'plab elementlarni o'z ichida saqlaydi.

- Gazlar: Kislorod va azot tabiiy ravishda uchraydigan gazlar bo'lib, ular nafas olayotgan havoning asosiy qismini tashkil qiladi. Vodorod esa koinotdagi eng keng tarqalgan tabiiy gaz hisoblanadi.

- Suyuqliklar: Koinotdagi eng muhim tabiiy suyuqlik suv bo'lsa kerak. Suvning tarkibi vodorod va kisloroddan iborat. U muzlaganda kengayadi va shu bilan boshqa ko'plab suyuqliklardan farq qiladi. Ushbu tabiiy kimyoviy xususiyat na faqat Yerning geologiyasi, geografiyasi va biologiyasiga, balki katta ehtimol bilan boshqa sayyoralarinikiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

- Qattiq jismlar: Tabiatda uchraydigan har qanday qattiq jism kimyoviy moddalardan tashkil topgan o'simlik tolalari, hayvon suyaklari, toshlar va tuproq – bularning barchasi kimyoviy moddalar hisoblanadi. Ba'zi minerallar, masalan, mis yoki rux faqat bitta elementdan iborat bo'lsa, granit bir necha elementlardan tashkil topgan metamorfik jinsdir⁵.

Sun'iy paydo qilingan kimyoviy moddalarga misollar

Insonlar qadimgi tarixni yozishdan ham avval kimyoviy moddalarni ixtiro qilishgan bo'lsa kerak. Taxminan 5000 yil oldin, qadimgi odamlar mis va qalayni birlashtirib, bronza deb ataladigan kuchli metallni yaratishgan. Bronzaning ixtiro

⁵ **Metamorfik jinslar** – yuqori issiqlik va bosim ta'sirida o'zgarib, yangi xususiyatlarga ega bo'lgan jinslar. Masalan, marmar va shist.

qilinishi esa katta voqea bo'ldi, chunki u insoniyatga yangi asboblarni, qurollar va zirhlar yaratish imkoniyatini berdi.

Bronza – bu bir nechta metall va boshqa elementlarning aralashmasi bo'lib, qotishmalar qurilish va savdoda keng tarqalgan asosiy materiallardan biri bo'lgan. So'nggi yuz yillar davomida turli elementlarning kombinatsiyasi natijasida zanglamas po'lat, yengil aluminii, folga va boshqa foydali mahsulotlar yaratildi.

Sun'iy kimyoviy moddalar oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatini tubdan o'zgartirib yubordi. Elementlarning birikmalari oziq-ovqatni arzon narxlarda saqlash va unga ta'm berish imkonini yaratdi, shuningdek, kimyoviy moddalar oziq-ovqatning turli xil, ya'ni qarsillovchi yoki yumshoq xususiyatlarini yaratishda yordam beradi. Sun'iy kimyoviy birikmalar farmatsevtika sanoatining muhim qismiga aylanib ulgurdi. Farmatsevtiklar faol va faol bo'lmagan kimyoviy moddalarni dori-tabletkalarga birlashtirib, turli kasalliklarni davolash imkonini yaratmoqdalar.

Kimyoviy element

Kimyoviy element – bu kimyoviy jarayonlar orqali mayda bo'laklarga ajratib bo'lmaydigan har qanday moddadir. Elementlar barcha moddalar tarkibidagi asosiy materiallar hisoblanadi.

Hozirgi kunda bizga 118 ta kimyoviy element ma'lum. Ulardan taxminan 20 foizga yaqini laboratoriyalarda faqat sintetik ravishda tayyorlanganligi sababli, biz ularni tabiatda deyarli uchratmaymiz. Uchratsak ham juda kam miqdordagina bo'lishi mumkin. Ma'lum elementlar orasida 11 tasi: vodorod, azot, kislorod, flor, xlor va oltita noyob gazlar normal sharoitda gaz holatda bo'ladi. Ikkitasi: brom va simob esa suyuq holatda, yana ikkitasi: sezii va gellii esa xona haroratida yoki undan yuqori haroratda eriydi, qolganlari esa qattiq moddalardir. Elementlar bir-biri bilan birlashib, murakkabroq moddalarga, ya'ni birikmalarga aylanadi. Mavjud bo'lgan birikmalar soni cheksiz; hozirda taxminan bir millionga yaqini fanga ma'lum va har kuni yangi birikmalar kashf etilmoqda. Ikki yoki undan ortiq element birlashib, birikma hosil qilganda o'z xususiyatlarini yo'qotadi va hosil bo'lgan mahsulot o'z tarkibiy elementlaridan ancha farq qiladigan xususiyatlarga ega bo'ladi. Masalan, kislorod va vodorod kabi gaz holatidagi elementlar (ularning xususiyatlari bir-biridan farq qiladi) birlashib suv birikmasini hosil qiladi, bu esa kislorod yoki vodoroddan butunlay boshqa birikmadir. Suv kimyoviy element emas, chunki u vodorod va kisloroddan tashkil topgan murakkab modda. Ammo, bu ikkita modda elementlar hisoblanadi, chunki ularni hech qanday kimyoviy jarayon yordamida yanada soddalarga ajratib bo'lmaydi. Tabiatda uchraydigan moddalarning ko'pchiligi birikmalarning aralashmalaridir. Misol uchun, dengiz suvi – bu suv va boshqa ko'plab birikmalarning aralashmasidan iborat, ulardan

eng keng tarqalganlari natriy xlorid, ya'ni osh tuzidir. Aralashmalar birikmalardan farq qiladi, chunki ular jismoniy jarayonlar yordamida tarkibiy qismlariga ajratilishi mumkin; masalan, oddiy bug'latish jarayoni dengiz suvidan oddiy suvni boshqa birikmalardan ajratib olishga yordam beradi.

Elementlarning atom tabiati

Materiyaning tabiati haqidagi tushuncha elementlar tushunchasi bilan birga rivojlangan. Tarixning turli davrlarida materiyaga nisbatan uzluksiz yoki uzlukli degan qarashlar mavjud bo'lgan. Uzluksiz materiya g'oyasiga ko'ra, borliq bir xil va cheksiz qismlarga bo'linib, har bir qism o'Ichamidan qat'i nazar o'xshash xususiyatlarga ega deb qaralgan. Bu, aslida, Aristotelning nuqtayi nazariga o'xshaydi, u o'zining elementar xususiyatlar nazariyasini uzluksiz materiya bilan bog'lagan. Boshqa tomondan, uzlukli materiya zarrachalar deb tasavvur qilindi, ya'ni u faqat ma'lum bir nuqtaga qadar bo'linadi, bu nuqta esa atomlar deb ataladigan asosiy birliklardir. Ushbu konsepsiya, ya'ni atom gipotezasiga ko'ra, asosiy birlik (atom)ning bo'linishi faqat tubdan farqli xususiyatlarga ega bo'lgan zarrachalarni hosil qilishi mumkin. Demak, atomlar moddalar bilan bog'liq xususiyatlarning yakuniy tashuvchilari hisoblanadi.

Umuman olganda, atom gipotezasi yunon faylasufi Demokritga tegishli deb hisoblanadi. U barcha materiya to'rt element atomlaridan: yer, havo, olov va suvdan tashkil topgan deb o'ylagan. Biroq Aristotelning uzluksiz materiya haqidagi tushunchasi uzoq vaqt davomida yetakchi nazariya bo'lib keldi. XVI asrga kelibgina kashf etilgan eksperimental dalillar atom nazariyasiga qayta murojaat qilishga majbur qildi.

Ikki turdagi eksperimental dalillar atom gipotezasini qo'llab-quvvatlagan: birinchisi – gazsimon moddalar xatti-harakatlarining batafsil tahlili bo'lsa, ikkinchisi turli kimyoviy reaksiyalar davomida kuzatiladigan molyar massa munosabatlaridir. Ingliz kimyogari Jon Dalton kimyoviy birikma qonunlarini tushuntirishda atomlarning o'ziga xos xususiyatlarga ega ekanlik g'oyasini birinchi bo'lib ilgari surdi va bu qonunlarning tajriba asosida kashf etilganligini asoslab berdi.

Keyinchalik, atom gipotezasini mustaqil ravishda tasdiqlovchi ko'plab eksperimental tekshiruvlar amalga oshirildi va hozirda bu gipoteza butunlay qabul qilingan. 1969-yilda elektron mikroskop yordamida uran va toriyning alohida atomlarini to'g'ridan to'g'ri kuzatish imkoni paydo bo'ldi.

Atomlarning tuzilishi

Element moddalarining atomlari murakkab tuzilishga ega bo'lib, proton, neytron va elektron deb ataluvchi zarrachalardan tashkil topgan. Eksperimental natijalarning ko'rsatishicha, atom ichida protonlar va neytronlardan iborat kichik yadro mavjud bo'lib, uning atrofini elektronlar buluti o'rab turadi. Ushbu subatomik zarrachalarning asosiy xususiyatlari ularning og'irligi va elektr zaryadi hisoblanadi.

Protonlar musbat zaryadga, elektronlar esa manfiy zaryadga ega bo'lsa, neytronlar elektr jihatdan neytral(zaryadsiz)dir. Bir atomning diametri taxminan 10^{-8} santimetr (cm) bo'lib, uning yadro diametridan 10000 baravar kattaroq. Neytronlar va protonlar, birgalikda yadro zarrachalari deb ataladi, ularning nisbiy og'irligi taxminan bir atom massasi birlikka teng, shu bilan birga elektronning og'irligi bundan taxminan 1/200 qismini tashkil qiladi. Chunki neytronlar va protonlar yadroda joylashgan bo'lib, atomning deyarli to'liq massasi shu yadroda jamlangan. Yadrodagi protonlar soni elementning atom raqamiga tengdir. Protonlar va neytronlarning umumiy soni esa massa raqami deb ataladi, chunki bu raqam atomning boshqa atomlar bilan solishtirma nisbiy og'irligini ifodalaydi. Atom elektr jihatdan neytral bo'lgani sababli, atom raqami nafaqat yadrodagi protonlar yoki musbat zaryadlar sonini, balki atomning yadrosidan tashqaridagi elektronlar yoki manfiy zaryadlar sonini ham bildiradi. Elementlarning kimyoviy xususiyatlari ularning atomlaridagi elektronlar soni va joylashuvi bilan uzviy bog'liq. Shu tarzda, elementlar o'zlarining atom raqamlari orqali bir-biridan to'liq farqlanadi. Bundan kelib chiqadiki, elementga nisbatan "barcha atomlari bir xil atom raqamiga ega bo'lgan modda" – degan ta'rifni qo'llasak ham bo'ladi.

Izotoplarning mavjudligi

Tabiatda uchraydigan ko'plab toza elementlarning eksperimental tekshiruvi shuni ko'rsatadiki, barcha atomlar bir xil atom raqamiga ega bo'lsa ham, ularning atom og'irligi bir xil emas. Bunday holat atomlarning yadrosida neytronlar soni turlicha bo'lsagina yuz berishi mumkin. Bir xil atom raqami va turli nisbiy og'irliklarga ega bo'lgan atomlar guruhi **izotoplar** deb ataladi. Tabiatda uchraydigan elementning izotopik shakllari soni bittadan (masalan, fluor) o'ntagacha (qalay) bo'lishi mumkin. Elementlarning ko'pchiligi kamida ikkita izotopga ega bo'ladi.

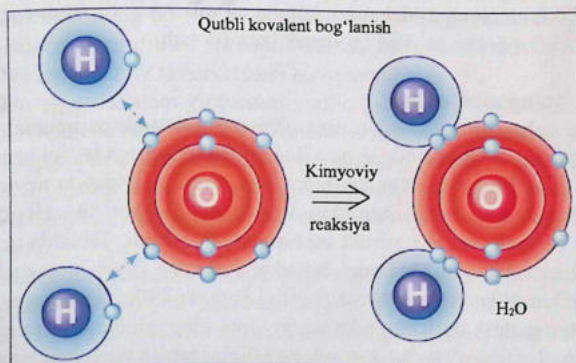
Elementning atom og'irligi, odatda, izotoplarning tabiiy taqsimotiga asoslangan holda atomlarning o'rtacha izotopik og'irligini topish bilan aniqlanadi. So'nggi yillarda, turli tabiiy element namunalariidagi izotoplarning tarqalishi va massalarini aniqlash uchun ilg'or mass-spektrometriya⁶ usullari qo'llanilmoqda.

Kimyoviy birikma

Ikki yoki undan ortiq kimyoviy elementlarning atomlaridan iborat, bir xil molekullardan tashkil topgan modda **kimyoviy birikma** deb ataladi. Koinotdagi barcha moddalar 100 dan ortiq turli kimyoviy elementlarning atomlaridan tashkil topgan bo'lib, ular tabiatda kimyoviy birikma holatida yoki sof holatda uchraydi. Har qanday sof elementning namunasi faqat o'sha elementga xos bo'lgan

⁶ Mass-spektrometriya – bu moddalarni tahlil qilishda qo'llaniladigan ilmiy usul bo'lib, unda moddalar molekullari yoki ionlari massasi va zaryadi bo'yicha ajratiladi va o'lchanadi. Ushbu spektrometriya kimyo, biologiya, farmatsevtika va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi.

atomlardan tashkil topgan bo'ladi. Masalan, uglerod atomlari temir atomlaridan, temir atomlari esa oltin atomlaridan farq qiladi. Har bir elementning o'ziga xos belgisi bo'lib, ular bir, ikki yoki uch harfdan iborat bo'lishi mumkin. Bu belgilar ularning hozirgi yoki tarixiy nomlaridan kelib chiqqan holda berilgan. Masalan, uglerod, vodorod va kislorodning belgisi mos ravishda C, H va O deb belgilanadi. Temirning belgisi esa uning lotinchadagi dastlabki nomi **fer**rumdan olingan bo'lib, **Fe** deb nomlanadi. Kimyo fanining asosiy tamoyili shuki, turli elementlarning atomlari bir-biri bilan birikib kimyoviy birikmalarni hosil qiladi. Masalan, metan uglerod va vodorod elementlaridan iborat va undagi har bir uglerod atomi to'rt vodorod atomiga nisbatan birikkan holda CH_4 molekulasini tashkil etadi. Birikmalarning formulalari unda qanday atomlar borligini ko'rsatadi. Misol uchun, CH_4 formulasi. Indeksar esa atomlarning turiga qarab ularning sonini ko'rsatadi. Agar atomlar soni bitta bo'lsa indeksga bir soni yozilmaydi.



Suv molekulasini ikkita vodorod va bitta kislorod atomidan tashkil topgan. Bitta kislorod atomining tashqi qatlamida oltitadan sakkiztagacha elektron bo'ladi. Ikkita vodorod atomi kislorod atomiga birikib, uning tashqi qatlamida sakkizta elektronni hosil qiladi. Shu tariqa kislorod atomining tashqi qobig'i to'liqladi.

Suv, vodorod va kisloroddan tashkil topgan kimyoviy birikma bo'lib, unda har bir kislorod atomiga ikki vodorod atomi to'g'ri keladi. Uning kimyoviy formulasi H_2O bilan ifodalanadi. Natriy xlorid esa natriy (Na) va xlor (Cl) elementlarining 1:1 nisbatda birlashuvidan hosil bo'lgan kimyoviy birikma. Natriy xloridning formulasi NaCl bo'lsa ham, bu birikma haqiqiy NaCl molekularini o'z ichiga olmaydi. Aksincha, unda teng miqdorda musbat zaryadga ega natriy ionlari (Na^+) va manfiy zaryadga ega xlorid ionlari (Cl^-) bor. Yuqorida keltirilgan moddalarda

kimyoviy birikmalarning ikkita asosiy turi aks ettirilgan, ya'ni ular molekulyar (kovalent) va ionli birikmalardir. Masalan, metan va suv molekullardan tashkil topgan bo'lib, ular molekulyar birikmalar hisoblanadi. Natriy xlorid esa ionlardan iborat bo'lib, ionli birikmadir.

Turli kimyoviy elementlarning atomlarini alifbodagi harflar bilan ifodalash mumkin: alifbo harflari minglab so'zlarni hosil qilish uchun turli usullarda birlashtirilgani kabi, elementlarning atomlari ham turli usullarda birlashib, juda ko'p birikmalarni hosil qiladi. Hozirgi kunda millionlab kimyoviy birikmalar fanga ma'lum va hali kashf etilmagan yoki sintez qilinmagan yana millionlab birikmalar mavjud. Tabiatda uchraydigan ko'pgina moddalar, aytaylik, yog'och, tuproq va toshlar kimyoviy birikmalarning aralashmasidan iborat. Ushbu moddalarni tarkibiy qismlarga ajratish fizik usullar yordamida amalga oshiriladi, bu usullar atomlarning birikmalardagi tartibini o'zgartirmaydi. Birikmalar kimyoviy o'zgarishlar orqali tarkibidagi elementlarga ajralishi mumkin. Kimyoviy o'zgarish (yoki kimyoviy reaksiya) – bu atomlarning tashkil etilish tartibi o'zgartiriladigan jarayon. Masalan, metanning molekulyar kislorod (O_2) ishtirokida yonishi karbonat angidrid (CO_2) va suvni hosil qiladi:



Bu reaksiya yonish reaksiyasiga bir misol bo'lib, unda uglerod, vodorod va kislorod atom birikmalaridagi o'zgarishlar aks etadi.

Kimyoviy birikmalar turli xil xususiyatlarga ega. Misol uchun, oddiy harorat va bosim sharoitida ayrimlari qattiq modda, ayrimlari suyuq va boshqalari esa gaz holatida bo'ladi. Ularning ranglari kamalak ranglariga o'xshab turlicha bo'lishi ham mumkin. Ba'zi birikmalar insonlar uchun juda zaharli bo'lsa, boshqalari hayot uchun zarurdir. Birgina atomning birikmada o'zgarishi moddaning rangini, hidini yoki zaharli xususiyatlarini o'zgartirishga sabab bo'lishi mumkin.

Bu katta xilma xillikni tushunish uchun tasniflash tizimlari yaratilgan. Yuqorida keltirilgan misolda, birikmalar molekulyar (kovalent) yoki ionli deb tasniflandi. Shuningdek, birikmalar organik yoki noorganik ham bo'lishi mumkin. Organik birikmalar, ko'pincha tirik organizmlardan ajratib olingani sababli shu nom bilan ataladi. Ular odatda uglerod atomlarining zanjiri yoki halqalaridan tashkil topadi. Uglerodning o'ziga va boshqa elementlarga turli xil usullarda bog'lanishi natijasida to'qqiz milliondan ortiq organik birikmalar hosil bo'ladi. Organik bo'lmagan birikmalar esa noorganik birikmalar deb ataladi.



Simob (kimyoviy belgisi: Hg) oddiy haroratda suyuq holatda bo'lgan yagona metall element hisoblanadi.

Organik va noorganik moddalar keng tasniflarga ega bo'lsa-da, ular tarkibidagi aniq elementlar yoki elementlar guruhlariga ko'ra ko'plab kichik turlarga bo'linadi. Masalan, noorganik birikmalar orasida oksidlar O^{2-} ionlari yoki kislorod atomlari, gidridlar H^- ionlari yoki vodorod atomlari, sulfidlar esa S^{2-} ionlari va boshqalar mavjud. Organik birikmalarning ichki guruhlariga alkogollar (ular $-OH$ guruhini o'z ichiga oladi), karboksil kislotalari ($-COOH$ guruhi), aminlar (ular $-NH_2$ guruhiga kiradi) va boshqalar kiradi.

Davriy jadval

Atomlarning birikmalar hosil qilishdagi turli xil xususiyatlarini davriy jadval orqali yana ham yaxshiroq tushunishimiz mumkin. Davriy jadval dastlab elementlarning kimyoviy xususiyatlaridagi tartib va qonuniyatlarni ko'rsatish maqsadiga tuzilgan edi. Kimyo fani rivojlanib borgan sari esa elementlarni kimyoviy faolligiga ko'ra guruhlariga ajratish imkoni paydo bo'ldi. O'xshash xususiyatlarga ega bo'lgan elementlar davriy jadvalning vertikal ustunlarida joylashtirilgan va biz ularni **guruhlar** deb ataymiz. Elementlarning davriy jadvaldagi joylashuvi ular atomidagi elektronlarning tartibi bilan uzviy bog'liq. Atomning kimyoviy xususiyatlarni belgilovchi elektronlar uning tashqi qatlamida joylashgan. Bunday elektronlar valent elektronlar deb ataladi.

		☐ Ishqoriy metallar ☐ Galogenlar ☐ Ishqoriy yer metallari ☐ Inert gazlar ☐ O'tish metallari ☐ Yerosi elementlari (21,39,57-71) ☐ Boshqa metallar ☐ va lantanoidlar (faqat 57-71) ☐ Boshqa metallmaslar ☐ Aktinoidlar																			
davr	guruh																			18	
1	1	2																	2		
1	H																		He		
2	3	4																	10		
	Li	Be																	Ne		
3	11	12																	18		
	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Ar			
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118			
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og			
lantanoidlar qatori 6		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71						
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
aktinoidlar qatori 7		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103						
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr						

* Xalqaro toza va amaliy kimyo ittifoqi (IUPAC) tomonidan qabul qilingan raqamlash tizimi.

Elementlarning davriy jadvali

Masalan, davriy jadvalning 1-guruhidagi elementlarning atomlarida bitta valent elektron, 2-guruhdagi elementlarning atomlarida esa ikkita valent elektron bo'ladi va shu tarzda davom etib, 18-guruhda elementlar soni sakkiztaga yetadi. Atomlarning birikmalar hosil qilish usullarini bilishning eng oddiy va muhim qoidasi shuki, atomlar o'zlarining valent qatlamlarini bo'shatishga yoki to'ldirishga moyil bo'ladi, ko'p hollarda esa to'liq sakkizta elektron bilan to'la bo'ladi. Davriy jadvalning chap tomonidagi elementlarning kimyoviy reaksiyalarda valent elektronlarini yo'qotish ehtimoli yuqori. Masalan, natriy (1-guruhda) bitta valent elektronini yo'qotib, +1 zaryadli ion hosil qiladi. Har bir natriy atomi 11 ta elektron (e^-)ga ega bo'lib, ular har biri -1 zaryadga ega va bu yadroning +11 zaryadini teng miqdorga keltiradi. Agar natriy atomidan bir elektron yo'qotilsa, unda 10 ta manfiy va 11 ta musbat zaryad qoladi, natijada umumiy zaryad +1 bo'ladi: $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$.

Davriy jadvalning 1-guruhida natriyning pastki qismida joylashgan kaliy reaksiyalarida xuddi shunday +1 zaryadli ion (K^+)ni hosil qiladi. Shuningdek, 1-guruhning boshqa elementlari – rubidiy (Rb), seziy (Cs) va fransiy (Fr) ham +1 zaryadli ionlarni hosil qiladi. Davriy jadvalning o'ng tomonida joylashgan elementlarning atomlari odatda reaksiyalarda valent qavatini to'ldirish uchun elektronlarni qabul qilish yoki ulashishga moyil bo'ladi. Masalan, 16-guruhdagi kislorod atomida

oltita valent elektron bo'lib, tashqi qavatini to'ldirish uchun yana ikkita elektron talab qiladi. Kislorod bu holatga elektronlarni yo'qotish yoki ulashishi mumkin bo'lgan elementlar bilan reaksiyaga kirishish orqali o'tadi. Kislorod atomi magniy (Mg) atomi bilan reaksiyaga kirishib, magniyning ikki valent elektronini olib, Mg^{2+} va O^{2-} ionlarini hosil qiladi. Neytral magniy atomi ikkita elektron yo'qotganda, Mg^{2+} ionini va neytral kislorod atomi esa ikki elektron olganda, O^{2-} ionini hosil qiladi. Hosil bo'lgan Mg^{2+} va O^{2-} ionlari 1:1 nisbatda birlashib, MgO (magniy oksid) ionli birikmasini hosil qiladi. (Magniy oksidi birikmasi zaryadlangan zarrachalarni o'z ichiga olsa ham uning umumiy zaryadi yo'q, chunki unda teng miqdorda Mg^{2+} va O^{2-} ionlari mavjud.) Shuningdek, kislorod kalsiy (magniy ostida joylashgan) bilan reaksiyaga kirishib, CaO (kalsiy oksidi)ni hosil qiladi. Kislorod shu tarzda boshqa elementlar bilan ham reaksiyaga kirishadi. Berilliy (Be), stronsiy (Sr), bariy (Ba) va radiy (Ra) bular 2-guruhdagi qolgan elementlardir. Bir guruhdagi barcha elementlar bir xil miqdordagi valent elektronlarga ega bo'lgani sababli, ular o'zaro o'xshash birikmalar hosil qiladi. Bu ham muhim bo'lgan qonuniyatlardan. Kimyoviy elementlar turli xil usullar bilan tasniflanishi mumkin. Masalan, eng asosiy tasnif ularni metallar va metallmaslarga ajratish bo'lib, bu turda metallar elementlarning ko'proq qismini tashkil qiladi. Metallarning asosiy fizik xususiyatlari: ularning yaltiroq ko'rinishi, ingichka qatlamlarga yoyilish qobiliyati (oson bukilishi), simga aylanish qobiliyati (cho'zilishi), shuningdek, issiqlik va elektrni yaxshi o'tkazishidir. Metallarning eng muhim kimyoviy xususiyati elektronlarni berib, musbat ionlar hosil qilishga moyilligidir. Masalan, mis (Cu) tipik metall⁷ hisoblanadi. U yaltiroq, lekin tezda qorayadi; elektrni juda yaxshi o'tkazadi va odatda elektr simlari uchun ishlatiladi; shuningdek, turli shakldagi mahsulotlarni, masalan, suv tizimlari uchun quvurlarni yasashda oson shakl berilishi sabab foydalaniladi. Mis ko'plab ionli birikmalarda Cu^+ yoki Cu^{2+} ionlari shaklida uchraydi.

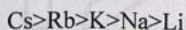
Metall elementlar davriy jadvalning chap tomonida va markazida joylashgan. 1 va 2-guruh metallari asosiy guruh metallari deb ataladi, davriy jadvalning markazidagi metallar esa o'zgarmas metallar deb nomlanadi. Davriy jadvalning pastki qismida ko'rsatilgan lantanoidlar va aktinoidlar o'zgarmas metallarning maxsus sinfiga kiradi.

⁷ **Tipik metall** – bu elektr va issiqlikni yaxshi o'tkazadigan, yaltiroq, egiluvchan va asosiy oksidlar hosil qiladigan element.

Elementlarning kimyoviy xususiyatlaridagi o'zgarishlar

Metallarning kimyoviy faollik ketma-ketligi	
Kaliy	
Natriy	
Kalsiy	
Magniy	
Aluminiy	
Rux	
Temir	
Qalay	
Qo'rg'oshin	
Mis	
Kumush	
Oltin	
Platina	
	Kamroq faol

Yuqorida aytib o'tilganidek, metall atomining o'ziga xos kimyoviy xususiyati bir yoki bir nechta elektronini yo'qotib, musbat ion hosil qilishidir. Biroq, ba'zi metallar elektronlarni boshqalariga nisbatan ancha oson yo'qotadi. Xususan, seziy (Cs) litiyga (Li) qaraganda, o'zining valent elektronini tezroq yo'qotadi. Bino-barin, ishqoriy metallar (1-guruhdagi elementlar) uchun elektron berish darajasi quyidagicha farqlanadi:

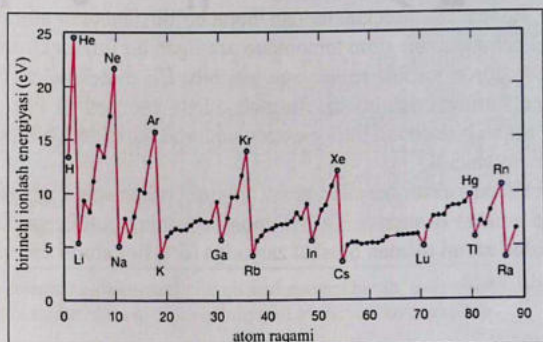


Cs elektronni eng oson yo'qotadigan element, Li esa eng kam yo'qotadigan elementdir. Guruh bo'ylab pastga qarab borgan sari metallar elektron yo'qotishga ko'proq moyil bo'ladi, chunki olib tashlanayotgan elektron musbat yadrodan tobora uzoqlashib boradi. Ya'ni Cs atomidan Cs^+ ionini hosil qilish uchun yo'qotilgan elektron yadrodan ancha uzoqda joylashgan va shuning uchun uni olib tashlash osonroq, litiy atomidan Li^+ hosil qilish uchun yo'qotilgan elektron esa ancha yaqinroq bo'lganligi sababli uni olib tashlash qiyinroq. Shu tendensiya 2-guruh elementlari (yer metallar) da ham kuzatiladi; guruhda pastroqqa tushgan sari, metall elektronni yo'qotishga ko'proq moyil bo'lib boradi.

Xuddi metallar kabi metallmaslar ham xususiyatlariga ko'ra farqlanadi. Umu-

man olganda, kimyoviy eng faol metallar davriy jadvalning pastki chap burchagida, metallmaslar esa yuqori o'ng burchagida joylashgan. Yarim metallar yoki metalloidlar metall va metallmaslarning xususiyatlarini o'zida mujassam etgan elementlardir.

Elementning ionlash energiyasi – bu biror atomdan elektron olib tashlash uchun kerak bo'lgan energiya miqdori (bu yerda $M(g)$ – bu metallning bug' holatidagi shaklini ifodalaydi).



Elementning ionlash energiyasi – bu individual atomdan elektronni ajratib olish uchun zarur bo'lgan energiyadir. Metall atomlar odatda metallmaslarga nisbatan past ionlash energiyasiga ega bo'ladi.

Metall atomlari elektronlarini metallmaslarga beradi, chunki metallarning ionlash energiyasi odatda juda past bo'ladi. Guruhning pastki qismida joylashgan metall atomlari elektronlarni yuqori qismidagilarga qaraganda osonroq yo'qotadi. Boshqacha aytganda, guruh bo'ylab yuqoridan pastga harakat qilganda ionlash energiyasi pasayadi. Metallmaslar esa davriy jadvalning o'ng tomonida joylashgan bo'lib, ularning ionlash energiyasi nisbatan yuqori. Shu sababli, metallmaslar elektronlarni o'ziga tortishga moyil bo'ladi. Bir davr bo'ylab chapdan o'ngga siljigan sayin ionlash energiyasi oshib boradi. Bu o'zgarishlar metall va metallmaslarning kimyoviy xossalari belgilab beradi. Shunday qilib, davriy jadvalning quyi chap burchagida joylashgan elementlar eng past ionlash energiyasiga ega (va shuning uchun ular kimyoviy jihatdan eng faol metallardir). Aksincha, davriy jadvalning yuqori o'ng burchagida joylashgan elementlar eng yuqori ionlash energiyasiga ega bo'lib, ular kimyoviy jihatdan eng faol metallmaslar hisoblanadi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, metallmas element metall element bilan reaksiyaga kirishganda, elektronlar metall atomlaridan metallmas atomlariga o'tadi. Natijada, mos ravishda musbat ionlar (kationlar) va manfiy ionlar (anionlar) hosil bo'ladi. Bu jarayon ionli birikmani hosil qiladi. Masalan, litiy va fluor (F) o'zaro reaksiyaga kirishib, litiy fluorid (LiF)ni hosil qiladi, uning tarkibida Li^+ va F^- ionlari mavjud.

Aksincha, ikki metallmas element reaksiyaga kirishganda, atomlar elektronlarni ulashib, molekularlar hosil qiladi. Atomlar orasidagi elektronlarni bo'lishish yo'li bilan hosil bo'lgan bog'lar kovalent bog'lar deb ataladi. Elektronlar bo'lina-di, ammo bir-biriga o'tmaydi, chunki ikkala metallmas atom ham bog'dagi elektronlarni tortish kuchida teng darajaga ega.

Masalan, fluor gazi F_2 molekularlaridan iborat bo'lib, unda fluor atomlari bir-biriga bog'lanish uchun har bir atom tomonidan uzatilgan bir juft elektronni ulashadi. Shuningdek, vodorod va fluor reaksiyaga kirishib, HF molekularlarini o'z ichiga olgan vodorod fluoridni hosil qiladi. Bu molekulada vodorod va fluor atomlari bir juft elektron orqali birlashadi: bitta elektron vodorod atomidan, bitta elektron esa fluor atomidan qo'shiladi.

Biroq, vodorod va fluor atomlari elektronlarni bo'lishishiga qaramay, jarayon teng nisbatda amalga oshmaydi. Bu HF molekulasining qutblanganidan ma'lum bo'ladi: vodorod atomi qisman musbat zaryadga (δ^+), fluor atomi esa qisman manfiy zaryadga (δ^-) ega.

H-F

$\delta^+ \delta^-$

(Ushbu misolda, 8 belgisi birdan kichik bo'lgan raqamni bildiradi.) Bu elektr qutblanish umumiy elektronlarning vodorod atomiga nisbatan fluor atomiga yaqinroq joylashishi natijasida sodir bo'ladi.

Boshqacha qilib aytganda, fluor atomining umumiy elektronlarni o'ziga tortish qobiliyati vodorodnikidan ancha yuqori. Bu esa qutbli kovalent bog'lanishni hosil qiladi.

Atomning boshqa atom bilan umumiy bo'lgan elektronlarni o'ziga jalb qilish qobiliyati elektrmanfiylik deb nomlanadi. Atomlarning nisbiy elektrmanfiyligi ularga tegishli bog'larning qutblanishini o'lchash orqali aniqlanadi. Pauling shkalasiga ko'ra, "fluor" eng yuqori elektrmanfiylik qiymatiga ega (4.0), "seziy" va "fransiya" esa eng past qiymatlarga ega (mos ravishda 0.79 va 0.7).

Umuman olganda, metallmas atomlar metall atomlarga nisbatan yuqoriroq elektrmanfiylikka ega. Davriy jadvalda elektrmanfiylik, odatda davr bo'ylab chapdan o'ngga siljigan sayin ortadi va guruh bo'ylab yuqoridan pastga harakatlanganda kamayadi. Elektrmanfiylik qiymatlari keskin farq qiladigan elementlar

(masalan, fluor va seziiy) reaksiyaga kirishganda elektronlar biridan ikkinchisiga o'tadi va ionli birikma hosil bo'ladi. Misol uchun seziiy va fluor reaksiyaga kirishib, "CsF" hosil qiladi, bu birikmada "Cs⁺" va "F⁻" ionlari mavjud. Elektrmanfiyliklari turlicha bo'lgan metallmas atomlar reaksiyaga kirishishi natijasida qutbli kovalent bog'langan molekullar shakllanadi.

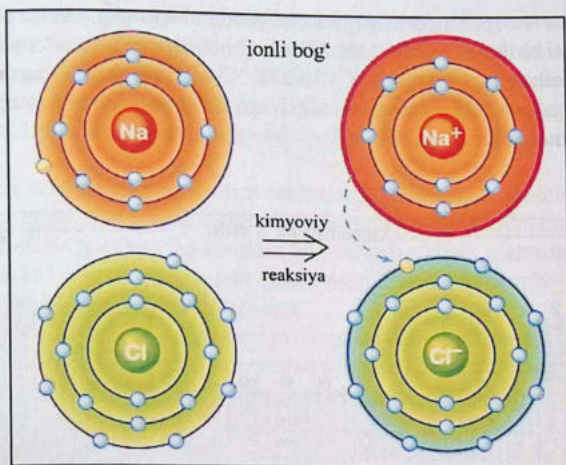
guruh		elektrmanfiylik o'sishi →																		
elektrmanfiylik kamayishi ↓	1											13 14 15 16 17						18		
	H	2.2	2											B	C	N	O	F	He	
	Li	1.0	Be	1.6											2.0	2.6	3.0	3.4	4.0	Ne
	Na	0.9	Mg	1.3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	K	0.8	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	0.8	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	1.0	1.2	1.3	1.6	2.2	2.1	2.2	2.3	2.2	1.9	1.7	1.8	2.0	2.1	2.1	2.7	2.6		
	0.8	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
	0.8	0.9	1.1-1.3	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.2	2.2	2.4	1.9	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	—		
	Fr	Ra	Ac-Lr	1.1-1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	0.7	0.9	1.1-1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

Har bir elementning elektrmanfiylik qiymati mavjud bo'lib, u atomning boshqa atom bilan elektron juftlarini tortishish va ulashish qobiliyatini o'lchovchi ko'rsatkichdir.

Yana bir muhim atom xossasi atom o'lchamidir. Atomlarning o'lchamlari har xil bo'ladi: davriy jadvalda guruh bo'ylab yuqoridan pastga qarab atomlar kattalashadi, davr bo'ylab chapdan o'ngga harakatlanganda esa kichrayadi.

Birikmalar tasnifi

Kimyoviy birikmalar bir necha mezonlarga ko'ra tasniflanishi mumkin. Eng keng tarqalgan usul birikmada mavjud bo'lgan maxsus elementlarga asoslanadi. Masalan, oksidlar bir yoki bir nechta kislorod atomini, gidridlar vodorod atomlarini va galogenidlar galogen (17-guruh) atomlarini o'z ichiga oladi. Organik birikmalar uglerod atomlaridan iborat asosiy tuzilishga ega bo'lgan birikmalar deb tavsiflanadi, boshqa barcha birikmalar esa noorganik birikmalar hisoblanadi. Nomidan ham ko'rinib turibdiki, metallorganik birikmalar – bu organik birikmalar va metall atomlari o'rtasidagi bog'lanishni tashkil etadigan birikmalardir.

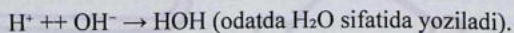


Ionli birikma: natriy xlorid, ya'ni osh tuzi.

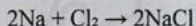
Natriy xlorididagi ionli bog'lanish. Natriy (Na) atomi kimyoviy reaksiyada o'zining bir elektronini xlor (Cl) atomiga beradi va natijada hosil bo'lgan musbat ion (Na^+) va manfiy ion (Cl^-) ushbu ionli bog'lanishga asoslangan barqaror ionli birikma (natriy xlorid, oddiy osh tuzi)ni hosil qiladi.

Kimyoviy birikmalarni tasniflashning yana bir usuli ular tarkibidagi bog'larning turiga asoslanadi. Ionli birikmalar ionlardan tashkil topgan bo'lib, qarama-qarshi zaryadlangan ionlar o'rtasidagi tortishish kuchi orqali birlashadi. Oddiy tuz (natriy xlorid) eng mashhur ionli birikmalardan biri. Molekulyar birikmalar esa alohida molekulalardan tashkil topib, elektronlarni (kovalent bog'lanish) bo'lishish orqali birlashadi. Misollar: suv H_2O molekularini; metan CH_4 molekularini; vodorod florid HF molekularini o'z ichiga oladi.

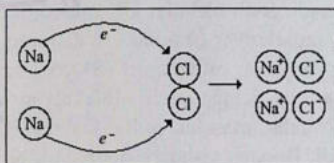
Uchinchi tasniflash usuli reaksiyaga asoslangan bo'lib, ayniqsa birikmalar qanday kimyoviy reaksiyalarni amalga oshirishi mumkinligi bilan bog'liq. Masalan, **kislotalar** – bu suvda eriganida H^+ ionlari (protonlar)ni va shu bilan birgalikda suyuqliklarni hosil qiladigan birikmalardir. Shu tarzda kislotalar protonlarni uzatadigan moddalar sifatida ta'riflanadi. Eng keng tarqalgan kislotalar HCl (xlorid kislota), H_2SO_4 (sulfat kislota), HNO_3 (nitrat kislota) va H_3PO_4 (fosfor kislota) suyuqliklardir. Asoslar esa, aksincha, protonlarni qabul qiluvchi moddalar hisoblanadi. Eng ko'p uchraydigan asos – bu gidroksid ioni (OH^-). U H^+ ioni bilan birlashib, suv molekulasini hosil qiladi.



Oksidlanish-qaytarilish (reduksiya) reaksiyalari⁹ kimyoviy reaksiyalarning yana bir ahamiyatga ega turlaridan biri hisoblanadi. Oksidlanish elektronlarni yo'qotish bilan bog'liq bo'lsa, reduksiya elektronlarni olishni anglatadi. Masalan, natriy metalli va xlor gazining natriy xlorid hosil qilish uchun reaksiyasi:

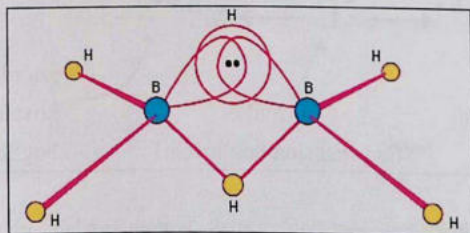


Elektronlar (e^-) natriy atomlaridan xlor atomlariga uzatiladi va natijada Na^+ va Cl^- ionlari hosil bo'ladi.



Bu jarayonda har bir natriy atomi bitta elektron yo'qotishi orqali oksidlanadi, har bir xlor atomi bir elektron olishi sababli kamayadi. Ushbu reaksiyada natriy **reduktant**¹⁰ deb ataladi (chunki u elektronlarni beruvchi), xlor esa oksidlanish agenti deb ataladi (chunki u elektronlarni qabul qiluvchi). Eng keng tarqalgan reduksiyalovchi agentlar metallar bo'lib, ular odatda metallmaslar bilan reaksiyalarda elektronlarini yo'qotishga moyilroq. Eng ko'p uchraydigan oksidlanish agentlari – galogenlar, masalan, fluor (F_2), xlor (Cl_2) va brom (Br_2) hamda ba'zi kislorodli anionlar¹¹, masalan, permanganat ioni (MnO_4^-) va dixromat ioni ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

Noorganik birikmalar



Bor – vodorod birikmasi noorganik birikmaga misol bo'ladi.

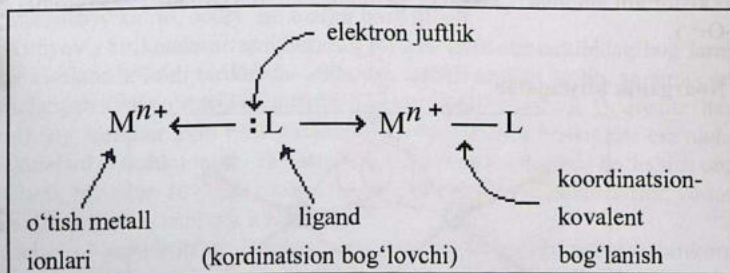
⁹ **Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari** – bu elektronlarning bir atomdan boshqasiga o'tishi bilan yuzaga keladigan reaksiyalar, bunda bir moddada elektron yo'qotiladi (oksidlanish), boshqa moddada esa elektron qabul qilinadi (reduksiya).

¹⁰ **Reduktant** – bu kimyoviy reaksiyada elektron beruvchi modda bo'lib, boshqa moddaning reduksiyasini ta'minlaydi va o'zi oksidlanadi.

¹¹ **Anion** – bu manfiy zaryadlangan ion bo'lib, u elektronlar qabul qilish natijasida hosil bo'ladi. Masalan, xlor ioni (Cl^-) anion hisoblanadi.

Noorganik birikmalar, ugleroddan tashqari ikki yoki undan ortiq elementdan tashkil topgan birikmalarni, shuningdek, uglerod bog'lari bo'lmagan, lekin uglerodning o'ziga ega bo'lgan birikmalarni, masalan, siyanidlar va karbonatlarni o'z ichiga oladi. Noorganik birikmalar ko'pincha tarkibidagi elementlar yoki elementlar guruhlariga asosida tasniflanadi. Masalan, oksidlar ionli yoki molekulyar birikma bo'lishi mumkin. Ionli oksidlar O^{2-} (oksid) ionlari va metall kationlarini o'z ichiga oladi, molekulyar oksidlar esa kislorod (O) boshqa noorganik elementlarga, masalan, oltingugurt (S) yoki azot (N) bilan kovalent bog'langan molekullarni tashkil etadi. Ionli oksidlar O^{2-} (oksid) ionlari va metall kationlarini o'z ichiga oladi, molekulyar oksidlar esa kislorod (O) va boshqa metall bo'lmagan elementlar, masalan, oltingugurt (S) yoki azot (N) bilan kovalent bog'langan molekullarni o'z ichiga oladi. Molekulyar oksidlar suv bilan reaksiyaga kirishib, oksikislotalar, masalan, sulfat kislota (H_2SO_4) va nitrat kislota (HNO_3)larni hosil qiladi. Bundan tashqari, noorganik birikmalarga quyidagilar kiradi: gidridlar (vodorod atomlari yoki H^- ionlari), nitridlar (N^{3-} ionlari), fosfidlar (P^{3-} ionlari) va sulfidlar (S^{2-} ionlari).

O'tish metallari turli xil noorganik birikmalarni hosil qiladi. Ularning eng muhimlari koordinatsion birikmalar bo'lib, bunda metall atom yoki ion ikkita dan oltitagaacha ligandlar bilan o'ralgan. **Ligandlar** bu ionlar yoki neytral molekullar bo'lib, ular elektron juftlarini metall atomiga berib, koordinat-kovalent bog' hosil qilish xususiyatiga ega.



Hosil bo'ladigan kovalent bog'ga maxsus nom beriladi, chunki bitta birikma (ligand) ikkita elektronni taqdim etadi, ular keyinchalik bog'lanishda o'zaro bo'linadi. Koordinatsion birikmaga misoli sifatida $[Co(NH_3)_6]Cl$ ni keltirish mumkin. Bu birikmada $Co(NH_3)_6^{3+}$ ioni mavjud. U kobalt ioni (Co^{3+}) bo'lib, unga olti ammiak molekulasini (NH_3) ligand sifatida birikkan. Dastlab, kimyo fani paydo bo'lganda birikmalarni nomlash uchun tizimli yondashuv yo'q edi. Kimyogarlar mashhur birikmalarni tasvirlash uchun "tuzli shakar", "ohak", "magniya suti", "Epsom tuzlari" va "kulgi gazi" kabi nomlarni ixtiro qilgan. Bunday nomlar

umumiy yoki an'anaviy nomlar deb ataladi. Kimyo fani rivojlangani sayin barcha ma'lum birikmalar uchun oddiy nomlar ishlatilishda davom etsa, ularning soni millionlardan ko'payib ketishi va bu katta tushunmovchiliklarni yuzaga keltirishi kunday ravshan edi. Bunday katta miqdordagi birikmalarning an'anaviy nomlarini yodlash juda qiyin ish hisoblanadi. Shuning uchun tizimli nomenklatura (nomlash jarayoni) ishlab chiqildi. Biroq, ayrim barchaga ma'lum birikmalar ham mavjud bo'lib, ular har doim o'zining umumiy nomlari bilan ataladi. Masalan, H_2O va NH_3 ning tizimli nomlari ishlatilmaydi; bu muhim birikmalar faqat suv va ammiak deb ataladi.

Eng oddiy kimyoviy birikmalar bu ikki elementdan tashkil topgan birikmalardir. Ikki elementli ionli va molekulyar (kovalent) birikmalar uchun nomlash qoidalari turlicha bo'lib, ular alohida ko'rib chiqiladi.

Ikki elementli birikmalar

Ikki elementli ionli birikmalar

Ikki elementli ionli birikmalarni nomlash jarayoni quyidagi qoidalarga muvofiq amalga oshiriladi:

1. Musbat ion (kation deb ataladi) birinchi, manfiy ion (anion) esa ikkinchi o'rinda nomlanadi.
2. Oddiy kation (bitta atomdan olingan) uning asosiy elementining nomidan olinadi. Masalan, Li bu ionni o'z ichiga olgan birikmalarda litiy deb ataladi. Xuddi shunday, Na – natriy, Mg^{2+} – magniy va hokazo.
3. Oddiy anion (bitta atomdan olingan) asosiy element nomining ildizidan foydalanib va -id qo'shimchasini qo'shib nomlanadi. Shunday qilib, F^- -ion fluorit deb ataladi, Br^- – bromid, S^{2-} – sulfid va hokazo.

Quyidagi misollarda ikki elementli ionli birikmalar uchun nomlash qoidalari tushuntiriladi:

Birikma	Ionlar	Nomi
NaCl	Na^+, Cl^-	Natriy xlorid
KI	K^+, I^-	Kaliy yodid
CaS	Ca^{2+}, S^{2-}	Kalsiy sulfid
CsBr	Cs^+, Br^-	Seziy bromid
MgO	Mg^{2+}, O^{2-}	Magniy oksid

Ionli birikmalar formulalarida oddiy ionlar elementning kimyoviy belgisi bilan ifodalanadi: Cl bu Cl^- ni, Na esa Na^+ ni anglatadi va hokazo. Biroq, ionlar alo-

hida yozilganda, ularning zaryadi doim kiritiladi. Shunday qilib, kaliy bromidning formulasi KBr deb beriladi. Lekin kaliy va bromid ionlari alohida ko'rsatilganda, ular K^+ va Br^- deb yoziladi.

Agar ma'lum bir metall atomi bir necha turdagi kationlarni hosil qilsa, muayyan kationdagi zaryad birikmaning nomida aniq ko'rsatilishi kerak. Masalan, qo'rg'oshin (Pb) ionli birikmalarda Pb^{2+} yoki Pb^{4+} shaklida mavjud bo'lishi mumkin. Shuningdek, temir (Fe) Fe^{2+} yoki Fe^{3+} ionlarini, qalay (Sn) Sn^{2+} yoki Sn^{4+} ionlarini, oltin (Au) esa Au^+ yoki Au^{3+} ionlarini hosil qiladi va hokazo. Shuning uchun, bunday metallardan iborat ikki elementli birikmalar nomlarida zaryadni ko'rsatish uchun rim raqami qo'shiladi. Masalan, Fe^{3+} ionini o'z ichiga olgan FeCl birikmasi temir(III) xlorid deb nomlanadi. Shuningdek, Fe^{2+} ionini o'z ichiga olgan FeCl birikmasi temir(II) xlorid deb ataladi. Har qanday holatda ham nomdagi rim raqami mavjud bo'lgan metall ionining zaryadlar sonini bildiradi.

Keng tarqalgan oddiy kationlar va anionlar			
Kation	Nom	Anion	Nom
H^+	Vodorod	H^-	Gidrid
Li^+	Litiy	F^-	Florid
Na^+	Natriy	Cl^-	Xlorid
K^+	Kaliy	Br^-	Bromid
Cs^+	Seziy	I^-	Yod
Be^{2+}	Berilliy	O^{2-}	Oksid
Mg^{2+}	Magniy	S^{2-}	Sulfid
Ca^{2+}	Kalsiy		
Ba^{2+}	Bariy		
Al^{3+}	Aluminiy		
Ag^+	Kumush		

Ba'zan, ayniqsa eski adabiyotlarda, faqat ikki ionli metallardan iborat birikmalarni nomlash uchun alternativ tizim qo'llaniladi. Yuqori zaryadga ega ion -ic qo'shimchasi bilan, past zaryadga ega ion esa -ous qo'shimchasi bilan nomlanadi. Masalan, Fe^{3+} ferrik ion, Fe^{2+} esa ferros ion deb ataladi. Shundan so'ng, FeCl va $FeCl_2$ birikmalarining nomlari ferrik xlorid va ferros xlorid bo'ladi.

Bir necha kationlarni hosil qiladigan keng tarqalgan ionlar		
* Simob (I) ionlari doimo birgalikda bog'lanib, Hg_2^{2+} hosil qiladi		
Ion	Ilmiy nomi	Muqobil nomi
Fe^{3+}	Temir(III)	Ferrik
Fe^{2+}	Temir(II)	Ferrous
Cu^{2+}	Mis(II)	Cuprik
Cu^{+}	Mis(I)	Cuprous
Co^{3+}	Kobalt(III)	Cobaltik
Co^{2+}	Kobalt(II)	Cobaltous
Sn^{4+}	Qalay(IV)	Stannik
Sn^{2+}	Qalay(II)	Stannous
Pb^{4+}	Qo'rg'oshin(IV)	Plumbik
Pb^{2+}	Qo'rg'oshin(II)	Plumbous
Hg^{2+}	Simob (II)	Mercurik
$Hg_2^{2+} (*)$	Simob (I)	Mercurous

Ikki elementli molekulyar (kovalent) birikmalar

Ikki elementli molekulyar (kovalent) birikmalar ikkita metall bo'lmagan elementlar reaksiyaga kirishishi natijasida hosil bo'ladi. Bu birikmalarda ionlar mavjud emas, ammo ularni nomlash ikki elementdan iborat ionli birikmalarga o'xshash tarzda amalga oshiriladi. Ikki elementli kovalent birikmalarni nomlashda quyidagi qoidalarga amal qilinadi:

1. Formulada birinchi element birinchi yoziladi va uning to'liq nomi ishlatiladi.
2. Ikkinchi element anion sifatida nomlanadi.
3. Elementlarning sonini ko'rsatish uchun old qo'shimchalar ishlatiladi. Agar birinchi element bitta atom sifatida mavjud bo'lsa, mono- qo'shimchasi olib tashlanadi. Masalan, CO "karbon monoksid" deb ataladi, "monokarbon monoksid" emas.

Quyidagi misollarda azot va kisloroddan tashkil topgan kovalent birikmalar uchun nomlanish qoidalari bayon etilgan:

Birikma	Ilmiy nomi	Umumiy nomi
N_2O	Dinitrogen oksidi	Azot oksidi (kulrang gaz) – nitrous oksidi
NO	Nitrogen oksidi	Azot oksidi – nitrik oksidi
NO_2	Nitrogen dioksidi	
N_2O_3	Dinitrogen trioksidi	
N_2O_4	Dinitrogen tetroksidi	
N_2O_5	Dinitrogen pentoksidi	

1. Monoksid – Bir oksid (bitta kislorod atomidan iborat birikma)
2. Dioksid – Ikki oksid (ikki kislorod atomidan iborat birikma)
3. Trioksid – Uch oksid (uchta kislorod atomidan iborat birikma)
4. Tetraoksid – To'rt oksid (to'rt kislorod atomidan iborat birikma)
5. Pentaoksid – Besh oksid (besh kislorod atomidan iborat birikma)

Agar element nomi unli harf bilan boshlansa, qo'shimcha oxiridagi "o" yoki "a" unlilari odatda tushib qoladi. Masalan, NO_2 "dinitrogen tetraoksid" emas, "dinitrogen tetroksid" deb ataladi; CO esa "karbon monooksid" emas, "karbon monoksid" deb ataladi.

Kimyoviy nomenklaturada ishlatiladigan qo'shimchalar (prefikslar)	
Qo'shimcha	Atomlar soni
mono-	1
di-	2
tri-	3
tetra-	4
penta-	5
hexa-	6
hepta-	7
okta-	8

Noorganik birikmalar

Ko'p atomli ionlar tarkibidagi ionli birikmalar

Ammoniy nitrat (NH_4NO_3) ionli birikmalarning maxsus turi bo'lib, uning tarkibida ikkita ko'p atomli ion: NH_4^+ va NO_3^- mavjud. Nomidan ham ko'rinib turibdiki, ko'p atomli ion – bu bir nechta atomlarning o'zaro bog'lanishi natijasida hosil bo'lgan zaryadlangan zarracha. Bunday ionlar uchun maxsus nomlar belgilangan bo'lib, ular ushbu ionlarni o'z ichiga olgan birikmalarni nomlashda qo'llaniladi.

Keng taqqrqalgan ko'p atomli ionlar			
“Bisulfat” va “bikarbonat” – bu “vodorod sulfat” va “vodorod karbonat”ning ko'p ishlatiladigan nomlari.			
Ion	Nom	Ion	Nom
NH_4^+	Ammoniy	CO_3^{2-}	Karbonat
NO_2^-	Nitrit	HCO_3^-	Vodorod karbonat
NO_3^-	Nitrit	ClO^-	Gipoxlorit
SO_3^{2-}	Sulfit	ClO_2^-	Xlorit
SO_4^{2-}	Sulfat	ClO_3^-	Xlorit
HSO_4^-	Vodorod sulfat	ClO_4^-	Perxlorat
OH^-	Gidroksid	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	Asetat
CN^-	Sianid	MnO_4^-	Permanganat
PO_4^{3-}	Fosfat	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Dixromat
HPO_4^{2-}	Vodorod fosfat	CrO_4^{2-}	Xromat
H_2PO_4^-	Divodorod fosfat	O_2^{2-}	Peroksid

Bir xil element atomining turli miqdordagi kislorod atomlari bilan birikmasidan tashkil topgan ko'p atomli anionlar ham mavjud. Bunday anionlar **oksi-anionlar** deb ataladi. Agar anionlar qatori faqat ikki a'zodan iborat bo'lsa, ko'proq kislorod atomlari bo'lgan ionning nomi -at bilan, kamroq kislorod atomlari bo'lgan ionning nomi esa -it bilan tugaydi. Masalan, SO_3^{2-} sulfit, SO_4^{2-} esa sulfat deb ataladi. Agar anionlar qatori ikkidan ortiq oksii-anionni o'z ichiga olsa, eng kam kislorod atomlari bo'lgan anionlar nomiga hypo- (kamroq), eng ko'p kislorod atomlari bo'lgan anionlar nomiga esa per- (ko'proq) old qo'shimchalari qo'shiladi. Masalan, xlor tarkibidagi oksii-anionlar quyidagicha nomlanadi:

ClO^-	gipoxlorit
ClO_2^-	xlorit
ClO_3^-	xlorat
ClO_4^-	perxlorat

Ko'p atomli ionlardan iborat birikmalarining nomlanishi, ikkilik ion birikmalarining nomlanishiga o'xshaydi. Masalan, NaOH birikmasi natriy gidroksid deb ataladi, chunki uning tarkibida Na^+ (natriy) kationi va OH^- (gidroksid) anioni mavjud. Ikkilik ion birikmalarida bo'lgani kabi, agar bir nechta kationlar hosil qiluvchi metallar ishtirok etsa, kation zaryadini ko'rsatish uchun rim raqami ishlatiladi. Masalan, FeSO_4 birikmasi temir(II) sulfat deb ataladi, chunki uning tarkibida Fe^{2+} mavjud.

Kislotalar

Kislota bitta vodorod kationi (H^+) bilan bog'langan anionni o'z ichiga olgan molekula hisoblanadi. Kislotalarning nomlanishi anionda kislorodning bor yoki yo'qligiga qarab farqlanadi. Agar anionda kislorod bo'lmasa, kislota nomi "gidro-" prefiksi (old qo'shimchasi) va "-ik" suffiksi (oxirida qo'shiladigan qo'shimcha) bilan beriladi. Masalan, HCl suvda eriganida "gidroxlorid kislota" deb ataladi. Shuningdek, HCN va H_2S suvda eriganida, ular "gidrosianid kislota" va "gidrosulfid kislota" deb nomlanadi.

Agar kislota anionida kislorod bo'lsa, nom anionning ildiz nomiga "-ik" yoki "-ous" qo'shimchalarini qo'shish orqali hosil qilinadi. Agar anion nomi "-at" bilan tugasa, "-at" o'rniga "-ik" (yoki ba'zan "-rik") qo'shimchasi ishlatiladi.

Masalan:

H_2SO_4 tarkibida sulfat anioni (SO_4^{2-}) bo'lib, u sulfat kislota deb ataladi.

H_3PO_4 tarkibida fosfat anioni (PO_4^{3-}) bo'lib, fosforik kislota deb ataladi.

$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ tarkibida atsetat anioni ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$) bo'lib, atsetik kislota deb ataladi.

Agar anion nomi "-it" bilan tugasa, "-it" o'rniga "-ik" qo'shimchasi qo'shiladi.

Masalan:

H_2SO_3 tarkibida sulfit anioni (SO_3^{2-}) bo'lib, u sulfitik kislota deb ataladi.

HNO_2 tarkibida nitrit anioni (NO_2^-) bo'lib, nitritik kislota deb ataladi.

Xlorning kislorodli anionlarining kislotalarini nomlashda quyidagi qoidalarga rioya qilinadi:

Kam uchraydigan kislotalar nomlari	
borat kislotalari va fosfor kislotalari deb nomlanadi.	
Formula	Nom
H_3BO_3	Ortoborat kislota*
H_2CO_3	Karbonat kislota
H_3PO_4	Ortofosfat kislota**
$H_4P_2O_7$	Pirofosfat kislota
$H_3P_3O_{10}$	Trifosfat kislota
$(HPO_3)_n$	Metafosfat kislota
$(HPO_3)_3$	Trimetafosfat kislota
H_3PO_3	Fosfor kislota
H_3PO_2	Gipofosfor kislota
H_2SO_5	Peroxosulfat kislota
$H_2S_2O_6$	Ditionik kislota
$H_2S_2O_3$	Tiosulfat kislota
$HMnO_4$	Permanganat kislota

Keng tarqalgan kislotalar nomlari	
HF	Gidroflorid kislota
HCl	Gidroxlorid kislota
HBr	Gidrobromid kislota
HI	Gidroyodid kislota
HCN	Gidrosianid kislota
H_2S	Gidrosulfid kislota
HNO_3	Azot kislotalari
HNO_2	Azot kislotalari (kamroq)
H_2SO_4	Sulfat kislotalari
H_2SO_3	Sulfat kislotalari (kamroq)
$HC_2H_3O_2$	Sirka kislotalari

Kislota formulasi	Anion	Nom
HClO_4	Perxlorat	Perxlorat kislota
HClO_3	Xlorat	Xlor kislota
HClO_2	Xlorit	Xlor kislota (kamroq)
HClO	Gipoxlorit	Gipoxlor kislota

Murakkab ionli birikmalar

Koordinatsion birikma bir yoki bir nechta murakkab tuzilma birliklaridan iborat bo'lib, ularning har birida markaziy atom ligandlar deb ataluvchi guruhlar to'plami bilan bevosita bog'langan bo'ladi. Koordinatsion birikmalarning nomlanishi shu kabi strukturaviy amaliyotlarga asoslanadi.

Organik birikmalar

Umuman olganda, tarkibida uglerod (C) mavjud bo'lgan moddalar organik birikmalar hisoblanadi va uglerod atomlari organik birikmalarning xilma xilligini yuzaga keltiradigan asosiy tuzilmadir. Yer yuzidagi va ehtimol butun koinotdagi barcha tirik mavjudotlar organik birikmalar bilan bevosita bog'langan. Oziq-ovqat mahsulotlari, ya'ni yog'lar, oqsillar va uglevodlar, shuningdek, hayot uchun zarur bo'lgan gemoglobin, xlorofill, fermentlar, gormonlar va vitaminlar ham organik birikmalar sirasiga kiradi.

Odamlarning salomatligi va farovonligi uchun muhim bo'lgan boshqa materiallar ham organik birikmalardan tashkil topgan. Masalan: paxta, jun, ipak va sintetik tolalardan tayyorlangan kiyimlar; odatdagi yoqilg'ilar: yog'och, ko'mir, neft va tabiiy gaz; himoya qoplamlari komponentlari: laklar, bo'yoqlar, emallar va lak-bug'lar; antibiotiklar va sintetik dori-darmonlar; tabiiy va sintetik rezina; plastmassalar va pestitsidlar.

	molekulyar formula	qisqargan tuzilmaviy formula	kengaygan tuzilmaviy formula	3-D tuzilmaviy formula
etan	C_2H_6	CH_3CH_3		
butan	C_4H_{10}	$CH_3CH_2CH_2CH_3$		
siklogeksan	C_6H_{12}			
eten	C_2H_4	$CH_2=CH_2$		
etin	C_2H_2	$HC\equiv CH$		

Organik birikmalarning tuzilmalari qisqargan, kengaytirilgan va uch o'ldamli tuzilmaviy formulalar orqali tasvirlanishi mumkin.

Uglerod bog'lanishi

Uglerod atomi o'ziga xos element bo'lib, nafaqat boshqa elementlar bilan, balki o'zi bilan ham keng tarmoqli kovalent bog'lar hosil qilishga moyildir. Uglerod davriy jadvalning ikkinchi gorizontall qatorida joylashganligi sabab na elektromusbat, na elektromanfiy element hisoblanadi; shuning uchun u elektronlar olish yoki yo'qotishdan ko'ra, ulashishga ko'proq moyildir. Bundan tashqari, ikkinchi qator elementlari orasida uglerod eng ko'p tashqi qavat elektronlariga (to'rtta) ega bo'lib, kovalent bog' hosil qila oladi. (Masalan, fosfor [P] va kobalt [Co] boshqa elementlar bilan mos ravishda beshta va oltita kovalent bog' hosil qila oladi, ammo ular uglerodning o'zi bilan cheksiz bog'lanish qobiliyatiga ega emas.) Uglerod atomi to'liq boshqa atomlar bilan bog'langanda, uning to'rtta bog'i **tetraedr**¹² shaklidagi burchaklarga yo'nalgan bo'ladi va bir-biri bilan taxminan 109,5° burchak hosil qiladi. Natijada, uglerod atomlari cheksiz miqdorda birikib, ancha yuqori molekulyar massaga ega birikmalar hosil qilishi mumkin. Shuningdek, hosil bo'lgan molekullar cheksiz xilma-xil uch o'ldamli tuzilmalarda ham mavjud. Organik birikmalarda ugleroddan tashqari vodorod (H), kislorod (O), azot (N), galogenlar (flor [F], xlor [Cl], brom [Br] va yod [I]) hamda oltingugurt (S) kabi boshqa atomlarning mavjudligi xilma xillik imkoniyatlarini oshiradi. Orga-

¹² **Tetraedr** – to'rtburchak prizma shaklida, uch o'ldamli geometrik shakl.

nik birikmalarni yerdagi hayot uchun muhim omilga aylantirgan vosita kimyoviy xususiyatlarning ulkan o'zgarish potentsialidir.

Organik birikmalar tuzilmalari, odatda sodda tuzilmaviy formulalar yordamida ifodalanadi. Bu formulalar molekulada mavjud atomlarning turi va sonini, shuningdek, atomlarning kovalent bog'lar orqali qanday bog'langanligini ko'rsatadi. Oddiy molekulyar formulalar esa faqat molekulada mavjud atomlarning soni va turini ifodalaydi. (Ko'pgina noorganik birikmalar uchun tuzilmaviy formulalardan foydalanish zarur emas, chunki ularda faqat bir nechta atom ishtirok etadi va atomlarning faqat bitta joylashuv tartibi mavjud.) Organik birikmalarning tuzilmaviy formulalarida kovalent bog'lar qisqa chiziqlar bilan ifodalanadi. Har bir elementning atomi xuddi molekulyar formulalarda bo'lgani kabi kimyoviy belgilar bilan ifodalanadi.

Tuzilmaviy formulalar uch o'lchovli (3D) ma'lumotlarni qanday ko'rsatishiga qarab turlicha bo'lishi mumkin. Har qanday molekulaga uchun ishlatiladigan tuzilmaviy formula turi u beradigan ma'lumot turiga bog'liq. Turli xil murakkablik darajalari oddiy organik birikmalar uglevodorodlar misolida tushuntirishi mumkin. Masalan, etan gazi C_2H_6 molekulyar formulasiga ega. Eng sodda tuzilmaviy formula, ixcham yoki kengaytirilgan shaklda, etanning bir-biriga bog'langan ikkita uglerod atomidan iboratligini va har bir uglerod atomiga uchta vodorod atom bog'langanligini ko'rsatadi. Bunday ikki o'lchovli tasvir etandagi bog'lanish tartibini to'g'ri ko'rsatsa ham, uning uch o'lchovli arxitekturasiga haqida ma'lumot bermaydi. Molekulaning uch o'lchovli tuzilishini yaxshiroq ifodalash uchun yanada rivojlangan tuzilmaviy formulani chizish mumkin. Ushbu tuzilmaviy formulada har bir uglerod atomiga bog'langan to'rtta atomning (bitta uglerod va uchta vodorod) tetraedr shaklidagi yo'nalishi va molekulaning maxsus tuzilishi to'g'ri berilgan.

Yirik organik molekullar ko'proq uglerod atomlarining qo'shilishi bilan hosil bo'ladi. Masalan, butan CH_{10} molekulyar formulasiga ega bo'lib, u to'rtta uglerod atomidan iborat zanjir va unga birlashtirilgan 10 ta vodorod atomidan tashkil topgan gazsimon uglevodoroddur. Uglerod atomlari molekulyar struktura zanjiriga qo'shilganda, uglerod zanjiri shoxlanishi yoki siklli (doiraviy) tuzilmalar hosil qilishi mumkin. Eng keng tarqalgan halqa tuzilmasi oltita uglerod atomini o'z ichiga oladi va har biri tetraedrik (to'rtburchakli) tarzda bog'langan, masalan, siklogeksan (C_6H_{12}) uglevodorodi. Bunday halqa tuzilmalari ko'pincha muntazam ko'pburchaklar shaklida ifodalanadi, bunda har bir burchak uglerod atomini anglatadi va uglerod atomlarining bog'lanish talablarini to'ldiruvchi vodorod atomlari ko'rsatilmaydi. Siklli tuzilmalarning ko'pburchak konvensiyasi molekulaning bog'lanish tartibini ixcham tarzda ko'rsatadi, lekin molekulaning haqiqiy uch o'lchovli tuzilishi haqida to'liq ma'lumot bermaydi. Shuningdek, ko'pburchak uch o'lchovli molekulaga uchun faqat ikki o'lchamli belgi hisoblanadi.

Muayyan bog'lanish sharoitida qo'shni atomlar bir-biri bilan ko'proq bog'lanish hosil qilishi mumkin. Ikkita atom elektron juftini ishlatib ikkita kovalent bog'

hosil qilganda, juft bog'lar shakllanadi. Uchta elektron jufti orqali uchta kovalent bog' shakllanganda esa uch bog' hosil bo'ladi. Ko'p bog'lar o'ziga xos tuzilma va elektron xususiyatlariga ega bo'lib, qiziqarli kimyoviy xususiyatlarni yuzaga keltiradi. Ikki bog'da ishtirok etuvchi oltita atom (masalan, eten, C_2H_4) bitta tekislikda joylashgan bo'lib, tekislikning ustki va pastki qismlari ikkinchi kovalent bog' elektronlari bilan band bo'ladi. Uch bog'da ishtirok etuvchi atomlar (masalan, atsetilen yoki etin, C_2H_2) esa bir to'g'ri chiziqda joylashadi va bog' o'zining yon tomonlari ikkinchi va uchinchi kovalent bog' elektronlari bilan band bo'ladi.

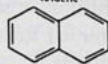
Funksional guruhlar

Kimyogarlarning aniqlashicha, organik birikmalarni o'rganishning dastlabki bosqichlarida, **funksional guruhlar** deb ataluvchi atomlar va ular bilan bog'liq bog'lanishlar molekulalarga o'ziga xos reaktivlik xususiyatlarini beradi. Ma'lumki, bir necha million organik molekulalarning tuzilishi qandaydir tarzda o'ziga xos bo'lsa-da, bir xil funksional guruhga ega barcha molekulalar funksional guruh joylashgan joyda o'xshash reaktivlik xususiyatlarini ko'rsatadi. Shunday qilib, funksional guruhlar organik kimyoning asosiy tashkil etuvchi elementi hisoblanadi. Molekulada mavjud bo'lgan funksional guruhlar (ko'pgina molekulalar bir nechta funksional guruhga ega) e'tibor qaratish orqali ushbu molekula qanday reaksiyalarda ishtirok etishi mumkinligini oldindan aytib berish va tushunish mumkin.

Uglerod-uglerod va uglerod-vodorod bog'lari juda mustahkam bo'lib, ushbu kovalent bog'dagi elektronlarning zaryadi bog'langan atomlarga teng taqsimlanganligi sababli faqat bunday bog'larni o'z ichiga olgan uglevodorodlar juda reaktiv emas. Agar molekula tarkibida bir yoki bir nechta zaif bog'lar yoki ikki atom o'rtasidagi elektronlarning noto'g'ri taqsimlangan bog'lar mavjud bo'lsa, uning reaktivligi oshadi. Agar biror sababga ko'ra kovalent bog'ning ikkita elektroni bog'langan atomlardan biriga yaqinlashsa, bu atom qisman manfiy zaryadga, unga bog'langan atom esa qisman musbat zaryadga ega bo'ladi. Ikki atomni bog'lovchi elektron jufti noto'g'ri taqsimlangan kovalent bog' qutbli bog' deb ataladi. Qutbli bog'lar va boshqa o'ziga xos elektron xususiyatlariga ega bog'lar o'zlari mavjud bo'lgan molekulaga kimyoviy reaksiya imkoniyatini beradi.

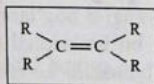
Bu har bir reaksiyada molekulaning bitta yoki bir nechta bog'lari uzilishi va yangi bog'lar paydo bo'lishi kerakligini anglatadi. Qisman manfiy zaryad (yuqori elektron zichligi bo'lgan hudud) o'ziga elektron zichligi kamroq bo'lgan boshqa atomlar yoki atom guruhlarini jalb qiladi. Bu kimyoviy reaksiyaning boshlanishi uchun bog'larning uzilishi zarur bo'lgan jarayonni ishga tushiradi. Shuning uchun, elektron zichligi yuqori yoki past bo'lgan hududlarga ega molekulalar kimyoviy o'zgarishlar uchun muhim ahamiyatga ega.

U'mumiy funksional guruhlar

funksional guruh	funksional guruh nomi	umumlashtirilgan molekular formula	organik tasnif	misollar
	double bond		alkenes	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ethene (ethylene) $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ propene (propylene) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ butadiene
	triple bond	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{R}$	alkynes	$\text{HC}\equiv\text{CH}$ ethyne (acetylene) $\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_3$ butyne
	benzene ring		aromatics	 toluene  naphthalene
$-\text{OH}$	hydroxyl	$\text{R}-\text{OH}$	alcohols	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ethanol  phenol
$-\text{OR}$	ethoxy	$\text{R}-\text{OR}$	ethers	CH_3OCH_3 dimethyl ether
	aldehyde	$\text{R}-\text{CHO}$	aldehydes	CH_3CHO ethanal (acetaldehyde)
	carbonyl	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}$	ketones	$\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3$ 2-butanone (ethyl methyl ketone)
	carboxyl	$\text{R}-\text{COOH}$	carboxylic acids	CH_3COOH ethanoic acid (acetic acid)
$-\text{NR}_2$	amino	$\text{R}-\text{NR}_2$	amines	CH_3NHCH_3 dimethylamine
$-\text{SH}$	mercapto	$\text{R}-\text{SH}$	thiols	CH_3SH methane thiol
$-\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$	fluoro, chloro, bromo, iodo	$\text{R}-\text{X}$	halides	$\text{H}_2\text{C}=\text{CHCl}$ chloroethene (vinyl chloride)

Funksional guruhlarning reaktiv joylarini shakllantiruvchi ikkita asosiy bog'lanish xususiyati mavjud. Birinchisi, oldin ta'kidlanganidek, ko'p bog'larning mavjudligidir. Ikki va uch bog'lar atomdan atomga bog'lanish o'qidan tashqarida joylashgan yuqori elektron zichligi hududlariga ega. Ikki va uch bog'lar funksional guruhlar deb ataladi. Bu atama molekula ichida yuqori reaktivlikka ega bo'lgan atomlar yoki atomlar guruhlarini aniqlash uchun ishlatiladi. Ikkinchi turdagi reaktiv joy uglerod yoki vodoroddan boshqa atom (geteroatom deb ataladi) uglerodga bog'langanida yuzaga keladi. Barcha geteroatomlar elektronga uglerodga nisbatan ko'proq yoki kamroq tortish xususiyatiga ega. Shunday qilib, har bir uglerod va geteroatom o'rtasidagi bog' qutbli bo'lib, uning qutbliligi ikki atomning elektron tortish xususiyatlari o'rtasidagi farqqa bog'liq. Ushbu reaktiv qutbli bog'larni o'z ichiga olgan eng muhim atomik guruhlar funksional guruhlarini shakllantira oladi.

Kimyogarlar bir xil funksional guruhni o'z ichiga olgan molekular o'rtasidagi reaksiyalarning umumiylikini ta'kidlash uchun, molekulaning kamroq reaktiv qismlarini R belgisi bilan ifodalaydilar. Masalan, ikki bog'ni o'z ichiga olgan barcha molekular, qanchalik murakkab bo'lmasin, **alken**¹³ uchun umumiy formulada ifodalanadi.



Bu turdagi formula molekulaning ikki tomonlama aloqa uchun xos bo'lgan reaksiyalarni amalga oshirishini va reaksiyaning aynan ikki tomonlama aloqa sodir bo'lishini ko'rsatadi. Molekulani tashkil etuvchi to'rt R guruhi esa funksional guruh joyida sodir bo'ladigan reaksiyadan ta'sirlanmaydi va o'zgarmaydi.

Bir nechta funksional guruhga ega bo'lgan molekular, ya'ni polifunksional molekular, ko'proq murakkab xususiyatlarga ega bo'lishi mumkin, chunki bir nechta funksional guruhlarning o'zaro bog'liqligi va identifikatsiyasi ta'sir ko'rsatadi. Ko'plab tabiiy mahsulotlar bir nechta funksional guruhlarini o'z ichiga oladi va ular katta, murakkab uch o'lchovli tuzilmalarda aniq joylashgan.

Alkanlar

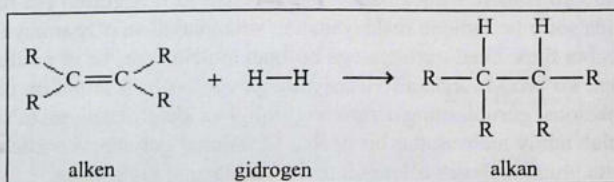
Alkanlar – faqat karbon va vodorod atomlaridan tashkil topgan birikmalar bo'lib, ular o'zaro yagona bog'lar bilan birlashgan (bu turdagi moddalar uglevodorodlar deb ataladi). Har bir yagona bog' ichidagi umumiy elektron juftligi ikki atom o'rtasida to'g'ridan to'g'ri joylashgan bo'lib, bu bog' sigma (σ) bog' deb ataladi. Ham karbon-karbon, ham karbon-vodorod sigma bog'lari yagona kuchli,

¹³ **Alken** – ikki bog'li uglerod-uglerod bog'iga ega bo'lgan uglevodlar. Ularning umumiy formasi C_nH_{2n} bo'ladi. Misol: eten (C_2H_4).

nopolyar kovalent bog'lar bo'lib, odatda organik molekullalarda eng kam reaksiyaga kirishadigan bog'lar hisoblanadi. Alkan ketma-ketliklari ko'plab organik birikmalarning inert ramkasini tashkil etadi. Shu sababli, alkanlar rasmiy ravishda funksional guruh deb hisoblanmaydi. Agar uglevodorod zanjiri asosiy strukturali birlikka bog'lanib, almashinuvchi guruh sifatida qo'shilsa, bu alkil guruhi deb ataladi. Alkanlarning eng oddiy misollari – metan (CH_4 ; tabiiy gazning asosiy tarkibiy qismi), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8 ; keng tarqalgan gril yoqilg'isi) va butan (C_4H_{10} ; cho'yan igna yoqilg'isi). Uglevodorod zanjirlari ko'pincha siklik shakllarda yoki halqalarda uchraydi; eng keng tarqalgan misol – siklogeksan (C_6H_{12}).

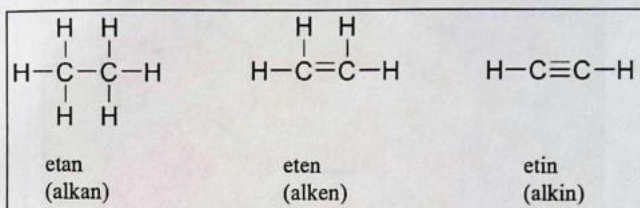
Alkenlar

Organik birikmalar, agar ular tarkibida uglerod-uglerod ikki tomonlama aloqasi bo'lsa, ular alkenlar deb ataladi. Ushbu bog'larning birinchi elektron juftligi σ bog'ni hosil qiladi. Ikkinchi elektron juftligi π bog'ning ikki tomonida joylashgan bo'lib, bu umumiy juftlik π (pi) bog'ini tashkil qiladi. π bog' elektron zichligi ortgan hududni hosil qiladi, chunki elektron juftligi karbon yadrolaridan (musbat zaryadlangan) σ bog'ining elektron juftligidan nisbatan uzoqroq joylashgan. Garchi karbon-karbon ikkiyuzli bog' juda kuchli bo'lsa-da, π bog'i elektron yetishmovchiligi bo'lgan atomlar yoki atom guruhlarini o'ziga tortadi, bu esa bog'larning uzilishi jarayonini boshlaydi va yangi σ bog'larining hosil bo'lishiga olib keladi. Alkenlarning oddiy reaksiyasi – bu funksional guruhning elektron xususiyatlari uning reaktivligini qanday belgilashini ko'rsatuvchi misol, ya'ni molekulyar vodorodning qo'shilishi orqali alkanlar hosil bo'lishi, ular faqat σ bog'larini o'z ichiga oladi.



Bunday reaksiyalar, alkenning π bog'i ikki yangi σ bog'ni hosil qilish uchun reaksiya qilganda, energetik jihatdan foydalidir, chunki hosil bo'lgan yangi bog'lar (ikki karbon-vodorod σ bog'i) uzilgan bog'lardan (bitta karbon-karbon π bog'i va bitta vodorod-vodorod σ bog'i) kuchliroqdir. Alkenlarning π bog'iga atomlar qo'shilishi orqali yangi σ bog'larning hosil bo'lishi alkenlarning umumiy va xos reaksiyasi bo'lgani uchun, alkenlar qondirilmagan (unsaturated) deb ataladi. Alkanlar esa, qo'shilish reaksiyalari orqali ko'proq σ bog'ga ega bo'lgan molekullarga aylantirilmaydigan bo'lgani uchun, qondirilgan (saturated) deb ataladi.

Alkenlar funksional guruhi kimyo sohasida muhim rol o'ynaydi va tabiatda keng tarqalgan. Ba'zi mashhur misollar quyidagilarni o'z ichiga oladi: etilen (polietilen ishlab chiqarishda ishlatiladi), 2-metil-1,3-butadien izopren (gumma ishlab chiqarishda ishlatiladi) va A vitamini (ko'rish uchun zarur).

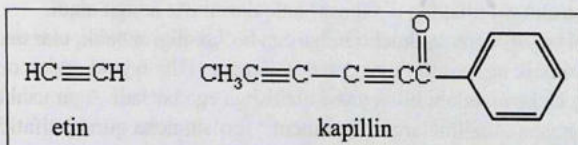


Eten uchun alkenning uglerod atomlari ham, qo'sh bog'lanish bilan bog'langan to'rtta atom ham bir tekislikda joylashadi.

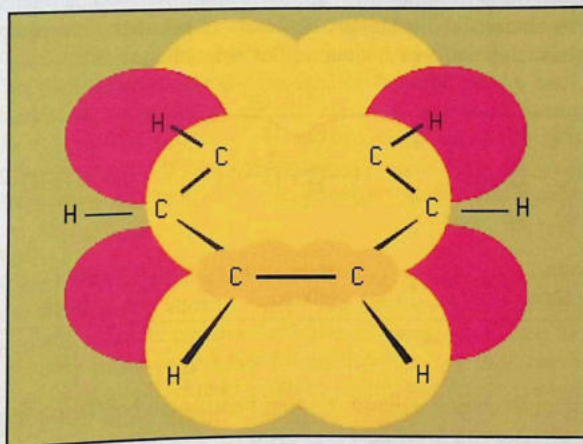
Alkinlar

Ikki karbon atomining uchinchi bog'ga ega bo'lgan molekular alkinlar deb ataladi. Ushbu uchinchi bog' bir σ bog' va ikki π bog'idan tashkil topgan. Alkenlardagi kabi, π bog'lar karbon-karbon bog'lanish o'qi bilan parallel joylashgan elektron zichligi yuqori bo'lgan hududlarni tashkil qiladi. Karbon-karbon uchinchi bog'lar juda kuchli bo'lsa-da, reaksiyalar sodir bo'lib, π bog'lar uzilib, kuchliroq σ bog'lar hosil bo'lishi mumkin.

Alkinning eng keng tarqalgan misoli etin (yoki asetilen) bo'lib, u oksiasetilenli torchlarda payvandlash ishlari uchun yoqilg'i sifatida ishlatiladi. Alkinlar tabiatda keng tarqalgan emas, ammo kapillin fungitsidida ikki alkin funksional guruhi mavjud.



Aromatik uglevodorodlar (arenlar)



Benzol organik aromatik uglevodorodlarning eng sodda turi bo'lib, uning tuzilishi sigma bog'lari¹⁴ (chiziqlar bilan ifodalangan) va yuqori pi-elektron zichligi hududlarini o'z ichiga oladi. Ushbu hududlar qo'shni uglerod atomlarining p-orbitalarining o'zaro qoplashuvi¹⁵ (to'q sariq rangda tasvirlangan) orqali shakllanadi. Bu qoplashuv benzolning o'ziga xos yassi va barqaror tuzilmasini ta'minlaydi.

Uch juft qo'sh bog'langan atomlar (odatda barcha uglerod atomlari)dan iborat funksional guruhni o'z ichiga olgan molekulalarga o'ziga xos fizik va kimyoviy xususiyatlar beriladi. Ushbu atomlar muntazam yassi oltiburchak shaklida birlashadi va halqa odatda oddiy va qo'sh bog'larning navbatma-navbat joylashuvi bilan tasvirlanadi. C_6H_6 formulali benzol molekulasi, 1825-yilda ingliz fizigi va kimyogari Maykl Faradey tomonidan kashf qilingan, ushbu funksional guruhni o'z ichiga olgan eng kichik molekula hisoblanadi. Arenlar bir yoki bir nechta benzol (yoki struktural jihatdan o'xshash) halqalarini o'z ichiga oladi.

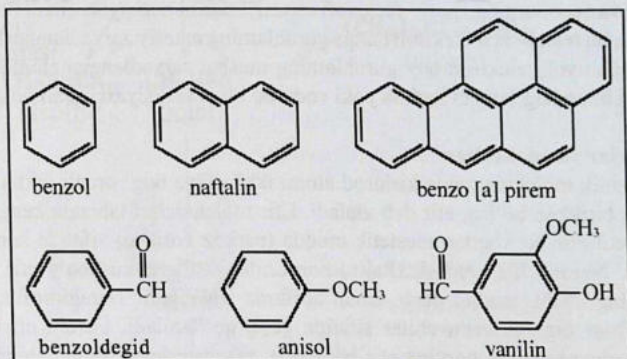
Benzol va yirik arenlar kuchli hidga ega bo'lganligi sababli, ular uzoq vaqt davomida aromatik uglevodorodlar deb nomlangan. Ular 6 yoki undan ortiq π -elektronlarning elektron talabi bilan yassi tuzilishga ega bo'ladi. Agar ushbu aromatik tuzilmalar boshqa tuzilmalarga substituent¹⁶ (qo'shimcha guruh) sifatida kiritilsa,

¹⁴ Sigma bog'i – ikki atom orasidagi mustahkam, birlamchi kimyoviy bog'.

¹⁵ Qoplashuv – atomlarning orbitalari bir-biriga ustma-ust kelib, elektronlarni taqsimlaydi.

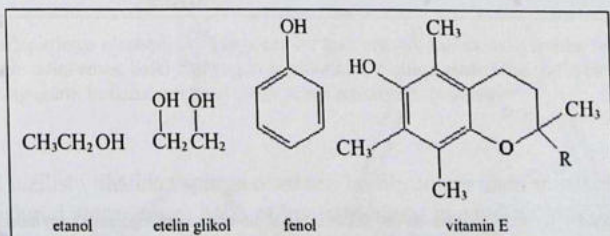
¹⁶ Substituent – bu asosiy molekulaga bog'langan atom yoki guruh bo'lib, uning kimyoviy xususiyatlarini o'zgartiradi.

ular aril (aromatik guruh) substituentlar deb nomlanadi. Naftalin, molxona to'qimalaridagi faol modda bo'lib, ikki birlashgan benzol halqasini o'z ichiga oladi. Benzoapiren, organik moddalar yonishi jarayonida kichik miqdorda hosil bo'ladigan aromatik uglevodorod bo'lib, beshta birlashgan benzol halqasidan iborat. Bir nechta boshqa poliatsiklli aromatik uglevodorodlar kabi, u karsinogen hisoblanadi. Aromatik birikmalar tabiatda keng tarqalgan. Masalan, benzaldegid, anizol va vanillin yoqimli hidlarga ega.



Spirtlar va fenollar

Kislorod atomi odatda boshqa atomlar bilan ikki sigma bog' hosil qiladi; suv molekulasida (H_2O) bu borada eng oddiy va keng tarqalgan misoldir. Agar suv molekulasidan bitta vodorod atomi ajratib olinsa, gidroksil funksional guruhi ($-\text{OH}$) hosil bo'ladi. Gidroksil guruhi alkan asosiga birikkanda etanol yoki shu kabi spirt hosil bo'ladi.

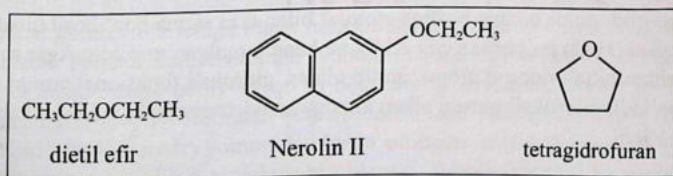


Gidroksil guruhi aril halqasiga birikkanida, fenol hosil bo'ladi. Spirtlar ham, fenollar ham tabiatda keng tarqalgan bo'lib, spirtlar, ayniqsa ko'p uchraydi. Spirtlar va fenollarning gidroksil guruhi jismoniy va kimyoviy xususiyatlarning turli xil namoyon bo'lishiga sabab bo'ladi. Masalan, E vitaminining biokimyoviy ta'siri asosan fenol funksional guruhining reaktivligiga bog'liq.

Kislorod atomi karbon yoki vodorod atomlariga qaraganda ancha elektrmanfiy bo'lib, shuning uchun karbon-kislorod va vodorod-kislorod bog'lari qutbli hisoblanadi. Kislorod atomi qisman manfiy zaryadlangan, karbon va vodorod atomlari esa qisman musbat zaryadlangan bo'ladi. Gidroksil guruhining qutbli bog'lari spirtlar va fenollarning asosiy reaksiyalar xususiyatlarini namoyon qiladi. Umuman olganda, bu reaksiyalar elektron tanqis guruhlarining manfiy zaryadlangan kislorod atomi bilan yoki elektron boy guruhlarining musbat zaryadlangan atomlar, ya'ni kislorod bilan bog'langan karbon yoki vodorod bilan reaksiyasi orqali boshlanadi.

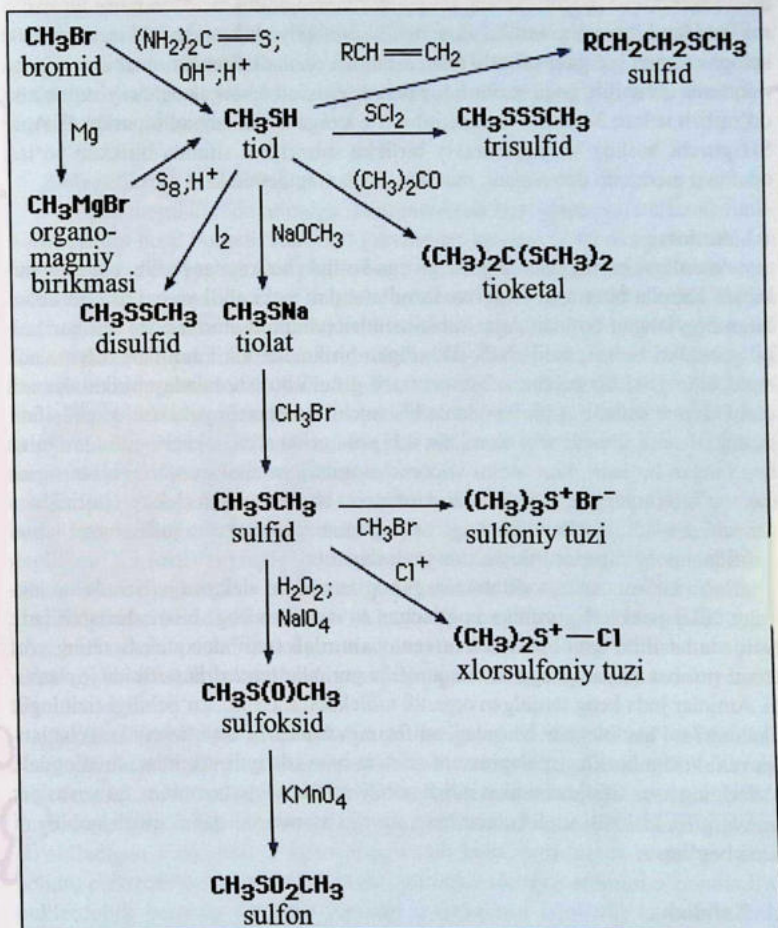
Efirlar va epoksidlar ¹⁷

Organik molekula, unda kislorod atomi ikki sigma bog' orqali ikkita karbon atomiga birikkan bo'lsa, efir deb ataladi. Efir molekullari tabiatda keng tarqalgan. Dietil efir bir vaqtlar anestetik modda (narkoz vositasi) sifatida keng qo'llanilgan. Nerolin II (2-etoksinaftalin) nomi bilan tanilgan xushbo'y efir apelsin gullarining iforini taqdim etish uchun atirlarda ishlatiladi. Tetragidrofuran kabi sikllik efirlar organik erituvchilar sifatida keng qo'llaniladi. Garchi efirlar ikki qutbli karbon-kislorod bog'iga ega bo'lsa-da, ular spirtlar yoki fenollarga qaraganda kamroq reaktivdir.



¹⁷ Epoksid – bu sikllik birikma bo'lib, ikkita uglerod atomi va ularning orasida joylashgan kislorod atomidan tashkil topgan. Ular yuqori reaktivlikka ega bo'lib, organik sintezlarda ishlatiladi.

Tiollar



Tiollar spirtlarga o'xshash tuzilishga ega bo'lgan organik funksional guruhlardir, lekin ular kislorod atomlarini emas, balki oltingugurt atomlarini o'z ichiga oladi. Ular sulfid birikmalari va boshqa oltingugurtli birikmalarni hosil qilish uchun reaksiyaga kirishadi.

Tiol tuzilishi jihatidan spirtga o'xshash bo'lib, ammo unda spirtlarda uchraydigan kislorod atomi emas, balki oltingugurt atomi mavjud bo'ladi. Tiollarning

eng muhim xususiyatlaridan biri ularning yoqimsiz hididir. Eng oddiy tiol – bu vodorod sulfid, H_2S , ya'ni suvning oltingugurt analogidir. Uni inson burni bir necha milliarddan bir qismini tashkil etuvchi konsentratsiyada ham sezishi mumkin va u achigan tuxum hidiga o'xshashi bilan osongina seziladi. Etenantiol tabiiy gazga oz miqdorda qo'shilib, unga sezilarli hid beradi, chiziqli molekularlar esa yirtqichlarni qo'rqitish uchun 3-metil-1-butanetiolni o'z ichiga olgan suyuqlik purkaydi. Agar SH guruhi boshqa bir strukturaviy birlikka substituent sifatida birikkan bo'lsa, odatda u merkapt deb ataladi, masalan, 2-merkaptetanol.

Aminlar

Aminlar – bu funksional guruhga ega bo'lgan birikmalar bo'lib, ularning tarbida kamida bitta azot atomi vodorod atomlari yoki alkil yoxud aril guruhlar bilan bog'langan bo'ladi. Agar substituentlar (vodorod atomlaridan tashqari) alkil guruhlar bo'lsa, natijada hosil bo'lgan birikmalar alkil aminlari deb ataladi. Agar bitta yoki bir nechta substituent aril guruhi bo'lsa, bunday birikmalar aril aminlari deb ataladi. Aminlar odatda birlamchi, ikkilamchi yoki uchlamchi sifatida tasniflanadi, chunki azot atomi bir, ikki yoki uchta alkil yoki aril guruhlar bilan bog'langan bo'ladi. Azot atomi vodorod atomlari va alkil guruhlar bilan sigma (σ) bog'lari orqali bog'lanadi, lekin azot atomi bog'lanmagan elektron juftini ham o'z ichiga oladi. Uchta sigma bog' va bog'lanmagan elektron juftligi azot atomi atrofida noto'g'ri tetraedrik shaklda joylashgan.

Ba'zi birikmalarda, azot atomidagi bog'lanmagan elektron jufti vodorod atomiga, alkil yoki aril guruhiga bog'langan to'rtinchi σ bog' bilan almashtiriladi. Natijada hosil bo'lgan birikma **kvaternar ammiak tuzi**¹⁸ deb ataladi, uning azot atomi musbat zaryadga ega bo'lib, atrofida guruhlar tetraedrik tartibida joylashadi. Aminlar juda keng tarqalgan organik molekularlar bo'lib, ko'pchiligi fiziologik jihatdan faol hisoblanadi. Masalan, amfetamin markaziy asab tizimini rag'batlantiruvchi vosita bo'lib, antidepressant sifatida ham ishlaydi. Aminlar, shuningdek, o'zlarining asos sifatida harakat qilish qobiliyati tufayli juda muhim, bu xususiyat aminlarning kislotali molekullardan vodorod atomlarini qabul qilish qobiliyati bilan bog'liq.

Xalidlar

Xalidlar yoki organoxalidlar, galogen atomi (flor, xlor, brom yoki yod) karbon atomi bilan qutbli bog' orqali bog'langan birikmalardir. Karbon-galogen bog'larida karbon atomida mavjud bo'lgan qisman musbat zaryad xalidlarning reaktivligini yuzaga keltiradi. Organoxalidlarning turli xil turlari dengiz organizmlarida aniqlangan va bir qator oddiy xalid birikmalari muhim tijorat

¹⁸ Kvaternar ammiak tuzi – bu azot atomiga to'rtta organik guruh yoki atom bog'langan birikma, unda azot +4 oksidlanish holatida bo'ladi.

qo'llanmalarga ega. Xloroetan (etil xlorid) – bu uchuvchi suyuqlik bo'lib, lokal aqliy anestetik sifatida ishlatiladi. Xlorovinil (vinil xlorid) – polivinilxlorid (PVC) uchun monomerik qurilish bloki bo'lib, aralash organoxalid galotan esa ingalatsion anestetik hisoblanadi. Ekvador zaharli qurbaqasining orqa terisidagi bezlardan ajratilgan epibatidin birikmasi, ayniqsa kuchli og'riq qoldiruvchi vosita sifatida aniqlangan.

Aldegidlar va ketonlar

Oksigen atomi karbon atomiga ikkitomonlama bog'langanda, karbonil funksional guruhi hosil bo'ladi. Karbonil guruhining karbon atomi oksigen atomidan tashqari yana ikki boshqa atom bilan bog'langan. Karbonil guruhidagi turli atom guruhlarining mavjudligi orqali ko'plab funksional guruhlar hosil bo'ladi. Ulardan eng muhimi aldegidlar va ketonlardir. Ketonlarda karbonil karboniga bog'langan ikkita atom boshqa karbon atomlari bo'ladi, aldegidda esa karbonil karboniddagi kamida bir atom vodorod bo'ladi. Alkenlarning ikkitomonlama bog'lari kabi, karbon-oksigen ikkitomonlama bog'i σ bondidan tashkil topgan bo'lib, uning elektron juftligi bog'langan atomlar orasida joylashgan va π bondi σ bondingning ikkala tomonida joylashgan elektron juftligidan iborat.

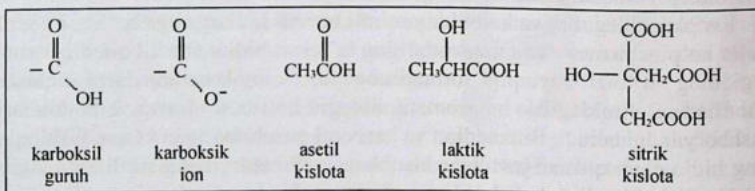
Ko'plab aldegidlar va ketonlar yoqimli mevali hidlarga ega bo'lib, bu birikmalar ko'pincha meva va sabzavotlarning ta'mi va hidini tashkil qiladi. Formaldegidning 40 foizli suyuqligi formalin bo'lib, biologik namunalarni saqlashda ishlatiladi. Benzaldegid – bu aromatik aldegid bo'lib, u olxo'ri va bodomlarga xushbo'y hidni beradi. Butanedion va karbonil guruhi bo'lgan keton, pishloqlarning hidi uchun qisman javobgar hisoblanadi. Sibeton, katta siklli keton, sibet mushugidan olinadi va ko'plab qimmatbaho parfumlarning asosiy tarkibiy qismi hisoblanadi.

Karbonil guruhi ko'plab reaksiya yo'llariga ega. Uning π bog'i tufayli karbonil guruhi alkenlarga o'xshash qo'shilish reaksiyalariga uchraydi, lekin ayrim farqlari mavjud. Karbon-karbon ikkitomonlama bog'lari qutbsiz bo'lsa, karbon-oksigen ikkitomonlama bog'lari qutbli hisoblanadi. Karbonil guruhiga qo'shiladigan birikmalar o'zgarishlarga olib keladigan tarzda reaksiya qilishi uchun, elektrofobik (elektron izlovchi) guruhlar oksigen atomini o'rab oladi va nukleofobik guruhlar (musbat zaryadli markazlarni izlovchi) karbon atomini o'rab oladi. Shuningdek, karbonil guruhiga qo'shilish kuchli π bog'ining uzilishi bilan natijalangan bo'ladi. Karbonil qo'shilish reaksiyalarining energiya aloqalari natijada alkenlarga qo'shilish reaksiyalaridan ancha farq qiladi. Karbonil birikmalarining boshqa reaksiya imkoniyatlari karbonil karboniga bog'langan atom guruhlarining, ya'ni substituentlarning tabiatiga bog'liq. Agar ikkala substituent ham reaksiyaga kirishmaydigan alkandan iborat bo'lsa, masalan, ketonlarda, karbonil qo'shilishlaridan kamroq reaksiyalar yuzaga keladi. Agar bir substituent alkandan bo'lmasa, boshqa imkoniyatlar paydo bo'ladi. Aldegidlar-

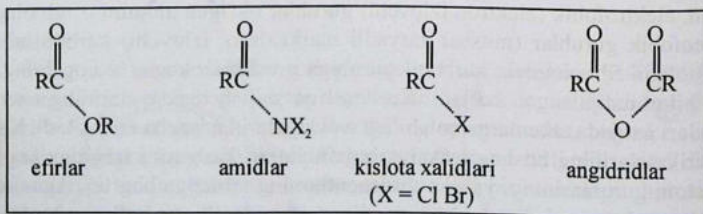
da karbonil karboni vodorod atomiga bog'langan bo'lib, ushbu vodorod atomini o'z ichiga olgan reaksiyalar aldegidlar va ketonlar o'rtasidagi farqlarni ajratib turadi.

Karboksil kislotalar

Karboksil guruhining hosil bo'lishi karbonil va gidroksil guruhlarining birlashishi natijasida yuzaga keladi. Karboksil guruhining vodorodi olib tashlanishi mumkin (ya'ni manfiy zaryadlangan karboksilat ionini hosil qiladi), shuning uchun karboksil guruhini o'z ichiga olgan molekular kislotalaviy xususiyatlarga ega bo'lib, odatda karboksil kislotalar deb ataladi. Sirka, suvda 5 foizli sirka kislotasining eritmasi bo'lib, uning achchiq kislota ta'mi karboksil kislota sabab hosil bo'ladi. Sut (laktik) kislota kislota va kislotalangan karamning asosiy achchiq ta'mini beradi va mushaklar qisqarishi orqali hosil bo'ladi. Sitrik kislota limon, greypfrut va apelsin kabi sitrus mevalarning asosiy ta'm komponentidir. Ibuprofen, samarali og'riq qoldiruvchi va yallig'lanishga qarshi vosita bo'lib, karboksil guruhini o'z ichiga oladi.



Alkil guruhi karbonil guruhiga bog'langan tuzilma asil guruhi deb ataladi. Karboksil kislotalari hosilalari deb nomlanuvchi funksional guruhlar oilasi esa, asil guruhini turli substituentlar bilan bog'langan birikmalarni o'z ichiga oladi.



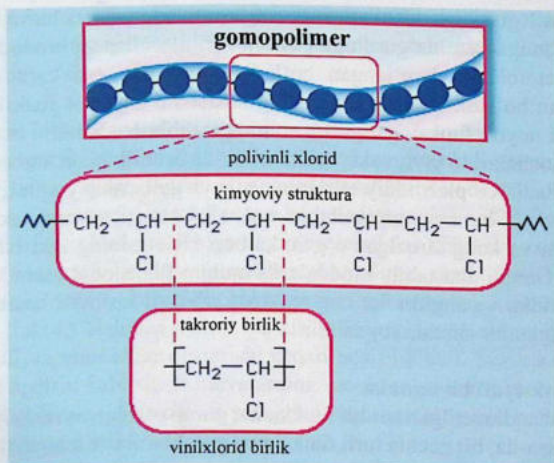
Efirar asil guruhiga alkoksi (OR) fragmenti bog'langan birikmalar bo'lib, amidlar bog'langan amina guruhiga ($-NR_2$); asil xloridlar va bromidlar esa xlor yoki brom atomlariga bog'langan bo'ladi; angidridlar esa karboksil guruhiga bog'langan bo'ladi. Har bir kislotaning hosilasi o'ziga xos reaksiyalarga ega bo'lib, ularni noyob funksional guruh sifatida tasniflash mumkin, ammo hamma kislotaning hosilalari to'g'ri reaksiya sharoitlarida osonlik bilan karboksil kislota-siga aylantiriladi. Ko'plab oddiy efirar mevalar va gullarning yoqimli hidini beradi. Masalan, metil butanoat ananaslarda mavjud. Urea, siydikning asosiy organik tarkibiy qismi va keng tarqalgan o'g'it, karbon kislotasining ikki baravar amidi hisoblanadi. Garchi ular tabiiy moddalarda muhim funksional guruhlar bo'lmasa ham, asl xloridlar va angidridlar eng reaktiv karboksil kislota-si hosilalari bo'lib, kimyoviy reagentlar sifatida foydalidir.

Ko'p funksiyali birikmalar

Yuqorida taqdim etilgan har bir funksional guruh o'ziga xos reaksiyalar to'plamiga ega bo'lsa-da, bir nechta turli funksional guruhlarni o'z ichiga olgan organik birikmalarning xossalari oldindan aytib bo'lmaydi. Ko'p funksiyali organik birikmalarda, funksional guruhlar ko'pincha bir-biri bilan o'zaro ta'sirlanib, birikmalarga o'ziga xos reaktivlik xususiyatlarini berishi mumkin. Kimyo fan sifatida rivojlangani sari, murakkab molekulalarning xatti-harakatlarini tushunish imkoniyati paydo bo'ldi va kimyogarlar funksional guruhlarning reaktivlik tendensiyalariga asoslanib, tobora murakkabroq molekulalarning laboratoriya sintezlarini ishlab chiqish imkoniyatiga ega bo'ladilar.

Kimyoviy sintez

Kimyoviy sintez murakkab kimyoviy birikmalarni oddiyroq birikmalardan yaratish bilan shug'ullanadi. Sintez odatda uch xil sabab bilan amalga oshiriladi. Birinchi sabab – mahsulotga bo'lgan sanoat talablarini qondirishdir. Masalan, ammiak azot va vodoroddan sintez qilinadi va u boshqa narsalar qatorida, o'g'it sifatida ishlatiladigan ammiak sulfatini tayyorlashda ishlatiladi; vinil xlorid etilendan olinib, polivinil xlorid (PVC) plastiklarini ishlab chiqarishda ishlatiladi. Umuman olganda, keng ko'lamli kimyoviy birikmalar sintez qilinadi va ularni tolalar va plastmassalar, farmatsevtik preparatlar, bo'yoqlar, o'simliklarni himoya qilish vositalari, hasharotlarga qarshi moddalar va boshqa mahsulotlar sifatida qo'llaniladi.



Sanoat polimerlari oddiy birikmalardan sintezlanadi, bu birikmalar bir-biriga ulanib, uzun zanjirlarni hosil qiladi. Masalan, polivinilxlorid – vinilxloridning takrorlanuvchi birliklaridan sintez qilingan sanoat gomopolimeridir.

Ikkinchidan, murakkab molekulyar tuzilishga ega bo'lgan ko'plab birikmalar tabiiy holatda uchraydi. Ular nafaqat tirik organizmlarda, balki ularning qismlarida ham mavjud bo'lib, bunga misol sifatida hayvonlardagi oqsillar va o'simliklarda uchraydigan alkaloidlarni keltirish mumkin. Ushbu tabiiy mahsulotlarning sintezlari odatda ularning tarkibiy tuzilishini aniqlash maqsadida amalga oshiriladi. Agar birikma kimyoviy reaksiyalar va fizik xususiyatlar asosida ma'lum bir tuzilishga ega deb taxmin qilinsa, unda bu tuzilmani aniq metod yordamida sintez qilingan birikma tabiiy mahsulot bilan bir xil ekanligini aniqlash bu tuzilmaning to'g'riligini tasdiqlaydi. Uchinchidan, sintetik reaksiya tabiiy ravishda uchramaydigan va ilgari yaratilmagan aniq bir struktura bilan birikma olish uchun amalga oshiriladi. Ushbu turdagi sintezlar birikmaning xususiyatlarini o'rganish va shu tariqa kimyoviy struktura hamda reaksiya xususiyatlari haqidagi nazariyalarni sinovdan o'tkazish maqsadida bajariladi.

Sintetikaga yondashuv

Sintetikasi mumkin bo'lgan birikmalar diapazoni deyarli cheksizdir. Amalda, oldindan tanlangan birikmaning sintetikasi, ma'lum bir funksional guruhlarining o'zgarishlari orqali amalga oshiriladi. Bu o'zgarishlar, ular qo'llaniladigan sharoitga bog'liq bo'lsa-da, molekuladagi qolgan qismning strukturasidan ancha mustaqil bo'ladi. Shunday qilib, sintetikasi kerak bo'lgan birikmaning struktura-

rasi va birikmalarni o'zgartirishning umumiy turlariga oid bilimlar birlashtirilsa, sintetik reja tuzilishi mumkin. Umumiy yondashuv, eng oddiy holatda, kerakli yakuniy mahsulotning strukturasi masalan, Z ni tekshirishdan boshlanadi va Z ga o'zgartirish kiritish uchun ba'zi (biroz oddiyroq) birikmaning strukturasi – masalan, Y aniqlashga o'tiladi. Y ning mumkin bo'lgan prekursori shu tarzda izlanadi va shu yo'l bilan birikmalar zanjiri kengaytiriladi, natijada A nomli birikmaga yetiladi; zarur bo'lgan o'zgarishlar A dan Z gacha bo'lgan davrda amalga oshiriladi. Zanjirdagi har bir alohida qadam odatda faqat bitta bog'ning o'zgarishiga olib keladi; ba'zi qadamlar ikki bog'ni bir vaqtning o'zida o'zgartiradi, lekin ko'proq keng qamrovli o'zgarishlar kam uchraydi.

Sintetik metodni baholash

Ma'lum bir sintetik reja baholanayotganda uchta omilni hisobga olish kerak. Birinchisi – narx, bu sanoat miqyosida, katta hajmdagi sintetikada laboratoriya ishlaridan ko'ra ancha muhim ahamiyatga ega. Masalan, tabiiy ravishda mavjud bo'lgan birikmaning to'liq sintetikasi bir marta amalga oshiriladigan laboratoriya ishlarida narx unchalik katta ahamiyatga ega bo'lmasligi mumkin. Shuningdek, kimyoviy sintetikalarning atrof-muhitga ta'siri ham muhim omilga aylangan. Kimyoviy sintezlar yoki jarayonlar, xavfsiz va keng tarqalgan reagentlardan foydalanish yoki atrof-muhitga zararli chiqindilarni minimallashtirish orqali atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatmasligi kerak. Bunday jarayonlar "yashil kimyo" deb ataladigan sohada muhim o'rin tutadi.

Ikkinchi, har bir qadamda olinadigan natijani hisobga olish kerak. Sintetikadagi bir qadam kerakli mahsulotning juda past hosilini berishi mumkin. Misol uchun, reagentning bir qismi, xohlagan jarayon bilan raqobatlashadigan alternativ jarayon orqali boshqa mahsulotga o'zgartirilishi mumkin; mahsulot keyingi reaksiyaga kirishishi yoki mahsulotning ba'zi qismlari uning toza holatda ajratilishi jarayonida yo'qolishi mumkin. Hosil, odatda, foiz ko'rinishida ta'riflanadi, ya'ni mahsulotning molekulasi olinishi mumkin bo'lgan 100 molekuladan qanchasi olingan kabi. 80 foiz yoki undan yuqori hosil odatda yaxshi hisoblanadi, ammo ba'zi o'zgarishlar shunchalik qiyin bo'lishi mumkinki, 10 yoki 20 foiz hosil ham qabul qilinishiga to'g'ri keladi. Mukammal sintetikada eng oxirgi maqsad 100 foiz "atom samaradorligi"ga erishishdir, ya'ni barcha reagentlarning barcha atomlari hech qanday yon mahsulotlar hosil bo'lmasdan sintetik mahsulotga kiritiladi.

Tabiiyki, jarayonning hosildorligi mahsulot narxini belgilovchi asosiy omillardan biridir, chunki 100 foizlik hosildan past natija xomashyoning bir qismini yo'qotishga olib keladi. Bundan tashqari, hosildorlik sintez jarayonining amaliy jihatdan bajarilishi mumkin yoki mumkin emasligini aniqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Sababi, umumiy hosildorlik sintezning har bir bosqichidagi hosildorliklarning ko'paytmasi bilan aniqlanadi. Agar oraliq bosqichlardagi hosildorlik past bo'lsa, mavjud boshlang'ich modda yetarli bo'lsa ham, yakuniy mahsulotni kerakli miqdorda olish imkonsiz bo'lishi mumkin. Xulosa qilib aytganda, jarayon-

ni rejalashtirishda har bir bosqichning amalga oshish tezligini ham hisobga olish zarur. Ba'zan kerakli reaksiya nazariy jihatdan mumkin bo'lsa-da, amaliyotda juda sekin kechib, samarasiz bo'lishi mumkin. Shunday hollarda reaksiya sharoitlarini o'zgartirib, tezligini oshirish imkoniyatini o'rganish lozim. Bunga, masalan, haroratni oshirish yoki katalizator qo'shish orqali erishish mumkin. Katalizator reaksiya yo'nalishini o'zgartirmasdan uning tezligini sezilarli darajada oshiradi.

Mahsulotlarni ajratish va tozalash

Sintez natijasida olingan mahsulot odatda qo'llangan reagentlar, yon mahsulotlar va ba'zan o'zgarmagan boshlang'ich modda qoldiqlari bilan ifloslangan bo'ladi. Sof mahsulot olish uchun ushbu iflosliklarni to'liq ajratib tashlash zarur. Ko'p bosqichli sintezlarda har bir bosqichdan so'ng mahsulotni tozalab, keyingi bosqichga o'tish tavsiya etiladi, chunki bu umumiy natijaning sifatini va samaradorligini oshiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Chemical-engineering, technology: britannica.com, Retrieved 23 June, 2019
2. What-is-a-chemical: thoughtco. com, Retrieved 12 April, 2019
3. Chemical-element, science: britannica.com, Retrieved 21 March, 2019
4. Chemical-compound, science: britannica.com, Retrieved 1 June, 2019

- Polimer muhandisligi
- Kimyoviy reaksiya muhandisligi
- Kimyoviy termodinamika
- Biokimyoviy muhandislik
- Biomolekulyar muhandislik
- Farmatsevtika muhandisligi

Kimyo muhandisligining turli kichik sohalari mavjud bo'lib, u polimer, kimyoviy reaksiya, biokimyoviy, farmatsevtika muhandisliklari kabi tarmoqlarni o'z ichiga oladi. Ushbu bo'limda kimyo muhandisligining yuqorida ko'rsatilgan tarmoqlari batafsil yoritilib, fan haqida kengroq tushuncha beriladi.

Polimer muhandisligi

Polimer muhandisligi, bu polimer materiallarini loyihalash, tahlil qilish va o'zgartirish bilan shug'ullanuvchi soha hisoblanadi. Polimerning asosiy turlari **termoplastik**¹⁹, **elastomer**²⁰ va **termoset**²¹ bo'lib, ular polimerlarning qo'llanilishi, birikma va ishlov berish sohalarini loyihalashda yordam beradi. Bu soha turli xil polimer hosil qilishni o'z ichiga oladi. Polimerlarning qanchalik ahamiyatli ekanligini AQSH sanoatidagi organik kimyo bo'yicha ishlovchi mutaxassislarning yarmidan ko'prog'i polimerlar bilan bog'liq ilmiy izlanishlar yoki rivojlantirish ishlarida ishtirok etayotganligidan bilish mumkin.

- Polimerni qayta ishlashni rivojlantirish
- Fizik va organik kimyo
- Termoplastiklar
- Suv mexanikasi
- Polimerizatsiya

¹⁹ **Termoplastiklar** – issiqlik ta'sirida yumshaydigan va qayta-qayta shaklini o'zgartira oladigan polimerlar. Ular soviganda qattiqlashadi, lekin qizdirilganda yana yumshaydi.

²⁰ **Elastomerlar** – yuqori elastikligi bilan ajralib turadigan polimerlar. Ular deformatsiya bo'lganda o'z shaklini tiklashi mumkin, masalan, kauchuk.

²¹ **Termosetlar** – qizdirilganda qattiqlashadigan va keyinchalik yana qayta ishlanmasdan qotib qoladigan polimerlar. Bir marta shakllanishi tugagach, ular o'zgarishsiz qoladi.

Kimyoviy reaksiya muhandisligi

Kimyoviy reaksiya muhandisligi – kimyo muhandisligi yoki sanoat kimyosining kimyoviy reaktorlar bilan bog‘liq bo‘lgan sohasidir. Bu atama ko‘pincha katalitik reaksiya tizimlariga, ya‘ni reaktorda bir xil yoki turli tarkibdagi katalizatorlar mavjud bo‘lgan tizimlarga nisbatan ishlatiladi. Ba‘zida reaktor alohida bo‘lmasdan, jarayonning bir qismi sifatida, masalan, reaktiv ajratish uskunalarida, retortlarda, ba‘zi yoqilg‘i hujayralarida yoki fotokatalitik yuzalarda ishlaydi. Shuningdek, erituvchining reaksiya tezligiga ta‘siri ham inobatga olinishi kerak.

Kimyoviy reaksiya muhandisligi sohasining boshlanishi 1950-yillarning boshlariga borib taqaladi, bu vaqt davomida Shell Amsterdam ilmiy-tadqiqot markazi va Delft universiteti tadqiqotchilari bu sohani rivojlantirishga katta hissa qo‘shganlar. Shunday qilib, kimyoviy reaksiya muhandisligi atamasi J.C. Vlughter tomonidan, 1957-yilda Amsterdamda bo‘lib o‘tgan I-Yevropa simpoziumiga tayyorlanayotgan paytda ishlab chiqilgan.

Kimyoviy reaksiya muhandisligining maqsadi – kimyoviy reaksiyalarni o‘rganish va optimallashtirish orqali eng yaxshi reaktor dizaynini aniqlash hisoblanadi. Shuning uchun, oqim hodisalari, massa, issiqlik uzatish va reaksiya kinetikasi o‘rtasidagi o‘zaro ta‘sirlar juda muhim, chunki ular reaktorning ishlashini xomashyo tarkibi va ish sharoitlari bilan bog‘lashga yordam beradi. Dastlab u neft va neft-kimyoviy sanoatida qo‘llanilgan bo‘lsa-da, uning umumiy yondashuvi – reaksiya kimyosi va kimyo muhandisligi tushunchalarini birlashtirish, reaksiyalarni tahlil qilish yoki loyihalash talab qilinadigan turli tizimlarni optimallashtirishdan iborat. Bu kimyoviy reaksiya muhandisligi yondashuvlari aynan yangi jarayonlarni ishlab chiqish va mavjud texnologiyalarni takomillashtirish uchun moslashtirilgan.

Kimyoviy termodinamika

Kimyoviy termodinamika – issiqlik va ishning kimyoviy reaksiyalar yoki jismoniy holat o‘zgarishlari bilan o‘zaro bog‘liqligini o‘rganadigan fan bo‘lib, bu jarayonlar termodinamika qonunlari doirasida amalga oshadi. Kimyoviy termodinamika nafaqat turli termodinamik xususiyatlarning laboratoriya o‘lchovlarini, balki kimyoviy jarayonlarni o‘rganish va ularning tabiiy ravishda yuzaga kelishini (spontanligini) tahlil qilishda matematik usullarni qo‘llashni ham o‘z ichiga oladi.

Kimyoviy termodinamika tuzilishi termodinamikaning birinchi ikkita qonuniga asoslanadi. Birinchi va ikkinchi qonunlardan foydalanib, **Gibbsning asosiy tenglamalari** deb ataladigan to‘rtta tenglama hosil qilinishi mumkin. Ushbu to‘rttadan, tizimning termodinamik xususiyatlarini bog‘lovchi ko‘plab tenglamalar, nisbatan sodda matematik usullar yordamida chiqarilishi mumkin. Bu kimyoviy termodinamikaning matematik asosini tashkil etadi. Kimyoviy termodinamikaning asosiy maqsadi berilgan o‘zgarishning amalga oshishi yoki tabiiy ravishda

yuzaga kelishi (spontanligi) uchun mezon belgilashdir. Shunday qilib, kimyoviy termodinamika odatda quyidagi jarayonlarda yuz beradigan energiya almashishlarini oldindan aytib berishda qo'llaniladi:

- Kimyoviy reaksiyalar.
- Faza o'zgarishlari.
- Eritmalar hosil bo'lishi.

Kimyoviy termodinamika asosiy e'tiborini quyidagi holat funksiyalariga qaratadi:

- Ichki energiya (U).
- Entalpiya (H).
- Entropiya (S).
- Gibbs erkin energiyasi (G).

Kimyoviy termodinamika ichidagi aksariyat formula yoki tenglamalar, ayniqsa, energiya saqlanish qonunini ushbu holat funksiyalarida qo'llash orqali hosil qilinadi.

Termodinamikaning 3 qonuni:

- Koinotdagi energiya doimiydir.
- Har qanday tabiiy jarayonda, koinotning entropiyasi har doim ortadi.
- Mukammal kristallning (yaxshi tartiblangan) entropiyasi 0 Kelvinda nolga teng.

Kimyoviy energiya

Kimyoviy energiya – kimyoviy moddaning kimyoviy reaksiya orqali o'zgarish yoki boshqa kimyoviy moddalarni o'zgartirish imkoniyatidir. Kimyoviy bog'larning parchalanish yoki hosil bo'lish jarayoni energiya va issiqlikni o'z ichiga oladi, bu esa kimyoviy jarayonlarda so'rilishi yoki undan chiqishiga olib keladi.

Kimyoviy moddalar to'plami o'rtasidagi reaksiya natijasida chiqariladigan (yoki so'riladigan) energiya, mahsulotlar va reagentlar energiyasining tarkibi o'rtasidagi farqqa tengdir. Ushbu energiya o'zgarishi kimyoviy reaksiya ichki energiyasining o'zgarishi deb ataladi. Bu yerda, $\Delta_r U^\circ_{\text{reactants}}$ – reagent molekullarining hosil bo'lishi uchun ichki energiya bo'lib, bu molekullarning turli kimyoviy bog'larining energiyalaridan hisoblanadi va $\Delta_r U^\circ_{\text{products}}$ – mahsulot molekullarining hosil bo'lishi uchun ichki energiya sanaladi. Ichki energiyaning o'zgarish jarayoni doimiy hajm sharoitida (STP sharoitida) o'lchansa, issiqlik o'zgarishiga teng bo'ladi. Bunga misol sifatida yopiq va qattiq konteynerda, bomba kalorimetri kabi tizimlar keltirilishi mumkin. Biroq doimiy bosim sharoitida, masalan, ochiq idishlarda yuz beradigan reaksiyalarda o'lchangan issiqlik o'zgarishi har doim ichki energiya o'zgarishiga teng bo'lmaydi, chunki bosim-hajm ishi ham energiya chiqaradi yoki so'radi. (Doimiy bosim sharoitida issiqlik o'zgarishi **entalpiya o'zgarishi** deb ataladi; bu holatda esa **entalpiya hosil bo'lishi** sodir bo'ladi.)

Boshqa yana bir muhim tushuncha bu yonish issiqligi, ya'ni yonish reaksiyasi natijasida chiqarilgan energiyadir va odatda yoqilg'ilarni o'rganishda qo'llaniladi. Oziq-ovqat uglevodli yoqilg'ilarga o'xshash bo'lib, uning oksidlanishi natijasida chiqarilgan energiya va kaloriya tarkibi shunga o'xshashdir (garchi bu uglevodli yoqilg'ilar kabi bir xil usulda o'lchanmasa ham).

Kimyoviy termodinamika sohasida kimyoviy potensial atamasi kimyoviy potensial energiyani ifodalash uchun ishlatiladi va kimyoviy o'zgarishlarni tavsiflashda esa eng ko'p foydalaniladigan tenglama bu Gibbs-Duhem tenglamasidir.

Kimyoviy reaksiyalar

Kimyoviy termodinamikaning ko'plab holatlarida ichki erkinlik darajalari va jarayonlar mavjud bo'lib, ular orasida kimyoviy reaksiyalar va faza o'zgarishlari ham bor. Bu jarayonlar har doim entropiya hosil qiladi, agar ular tenglik holatida bo'lmasa yoki "doimiy o'zgarib turuvchi tenglik" holatida "kvazi-statistik" o'zgarishlar orqali saqlansa, bunda cheklovchi qurilmalar, masalan, pistonlar yoki elektrodlar yordamida tashqi ishni qabul qilish va chiqarish mumkin. Hatto gomogen "kattalikdagi" materiallar ham erkin energiya funksiyalarining tarkibiga bog'liq bo'ladi, xuddi barcha kengaytirilgan termodinamik jarayonlar kabi, jumladan ichki energiya. Agar $\{N_i\}$ – kimyoviy turlar soni formulalardan chiqarib tashlansa, tarkibiy o'zgarishlarni tasvirlash imkonsiz bo'ladi.

Gibbs funksiyasi yoki Gibbs energiyasi

"Strukturasiz" (yoki "kattalikdagi") tizim uchun bu kengaytirilgan o'zgaruvchilar oxirgi bo'lib qoladi. Strukturasiz, gomogen "kattalikdagi" tizim ham G funksiyasi tarkibga bog'liq bo'lib, uning qiymati $\{N_i\}$ kengaytirilgan tarkibiy o'zgaruvchilariga aloqadordir. Bu o'zgaruvchilar tizimdagi har bir kimyoviy moddani, uning molekular soni yoki Avogadro soniga (6.023×10^{23}) bo'lib, mollar sonini hosil qilish mumkin.

$$G = G(T, P, \{N_i\})$$

Faqat PV ishining amalga oshishi mumkin bo'lgan holatda:

$$dG = SdT + VdP + \sum_i \mu_i dN_i$$

μ ning i -komponent orqali ifodalangan kimyoviy formulasi

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial N_i} \right)_{T, P, \{N_j\}_{j \neq i}}$$

dG ifodasi, ayniqsa doimiy harorat (T) va bosim (P) sharoitlarida juda foydalidir, chunki bu sharoitlarni tajriba orqali osonlik bilan yaratish mumkin va bu holatlar tirik organizmlarning sharoitlariga ham yaqin keladi.

$$(dG)_{T,P} = \sum_i \mu_i dN_i.$$

Kimyoviy affinlik

Bu formulalar matematik jihatdan to'g'ri bo'lsa-da, ular juda aniq emas, chunki tizimdan molekullarni oddiygina qo'shish yoki olib tashlash mumkin bo'lmaydi. Tarkibni o'zgartirishda har doim biron-bir jarayon mavjud bo'ladi, masalan, kimyoviy reaksiya (yoki ko'plab reaksiyalar), yoki molekullarning bir fazadan (suyuqlik) boshqa fazaga (gaz yoki qattiq) o'tishi kabilardir. Biz shunday belgilashni topishimiz kerakki, bu komponentlarning miqdori ($\{N_i\}$) mustaqil ravishda o'zgartirilishi mumkin degan tushuncha bermasin. Barcha haqiqiy jarayonlar masasa saqlanishi qonuniga rioya qiladi va qo'shimcha ravishda, har bir atom turining soni saqlanadi. Har qanday molekular tizimga o'tkazilsa yoki tizimdan chiqarilsa, ular "tizim"ning bir qismi sifatida hisobga olinishi kerak.

Shu sababli, biz jarayonning rivojlanish darajasini ifodalovchi aniq bir o'zgaruvchi kiritamiz, ya'ni reaksiyaning davom etish darajasi uchun ξ (progress o'zgaruvchisi) va keng tarqalgan " ΔG " o'rniga, masalada cheklangan o'zgarish bo'lmaganligi sababli, qisman hosiladan, ya'ni $dG/d\xi$ dan foydalanamiz. Natijada, dG ning kimyoviy reaksiyalar (yoki boshqa jarayonlar)ga bog'liqligini tushunish uchun aniqroq ifoda hosil qilinadi. Agar faqat bitta reaksiya bo'lsa:

$$(dG)_{T,P} = \left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{T,P} d\xi$$

Agar i-komponent uchun reaksiyadagi stexiometrik koeffitsiyentni kiritadigan bo'lsak:

$$v_i = \partial N_i / \partial \xi$$

Bu ifoda i-molekullarning qancha miqdorda hosil bo'lishi yoki sarflanishini ko'rsatadi. Ushbu hosila uchun algebraik ifoda quyidagicha hosil qilinadi:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{T,P} = \sum_i \mu_i v_i = -A$$

Bu yerda biz ushbu kattalik uchun qisqa va tarixiy nomni kiritamiz – "affinlik", u A bilan belgilangan va ilk bor 1923-yilda Théophile de Donder tomonidan taqdim etilgan. Manfiy ishora (minus belgi) affinlikning fizik mohiyatidan kelib chiqadi. Affinlik tushunchasi Gibbs erkin energiyasi o'zgarishining manfiy bo'lgan holatidagi jarayon o'z-o'zidan sodir bo'lishini anglatadi. Bundan shuni bilish mumkinki, kimyoviy moddalarning o'zaro bo'lgan affinligi musbat bo'lishi kerak. G uchun differensial oddiy shaklga ega bo'lib, u tarkibiy o'zgarishlarga bog'liqligini ko'rsatadi.

$$(dG)_p = -Ad\xi.$$

Agar bir nechta kimyoviy reaksiyalar bir vaqtning o'zida sodir bo'lsa, bu odatda uchraydigan holatdir:

$$(dG)_{T,p} = -\sum_k A_k d\xi_k.$$

Reaksiya koordinatalarining $\{\xi\}$ to'plami kiritiladi, bunda komponentlar miqdorlarini ($\{N\}$) mustaqil ravishda o'zgartirish mumkinligi tushunchasidan chetlaniladi. Yuqoridagi ifodalar termodinamik tenglik holatida nolga teng bo'ladi, ammo haqiqiy tizimlar uchun umumiy holatda ular manfiy bo'ladi, chunki cheklangan tezlikda davom etayotgan barcha kimyoviy reaksiyalar entropiya hosil qiladi. Bu, reaksiyalar tezliklarini (ds/dt) kiritish orqali yanada aniqroq tushuntirilishi mumkin. Har bir va har qanday fizik jihatdan mustaqil jarayon uchun bu ifodalar amal qiladi.

$$AE \leq 0$$

Bu misli ko'rilmagan natijadir. Chunki kimyoviy potentsiallar intensiv tizim o'zgaruvchilari bo'lib, ularning o'zgarishi faqat mahalliy molekulyar muhitga bog'liqdir. Ularning oddiy harorat va bosim (yoki boshqa tizim o'zgaruvchilari) davomida doimiy saqlanish yoki saqlanmasligini bilish mumkin emas. Bundan tashqari, bu natijani boshqa asosiy holat funksiyalaridan hosila olish orqali ham topish mumkin edi. Shunga qaramay, bu umumiy uslub bo'lib, (-T ko'paytirilgandagi) entropiya hosil bo'lishini ifodalaydi, ayniqsa bu jarayon o'z-o'zidan sodir bo'lganda.

Endi biz bir jinsli "umumiy" tizim talabidan chetga chiqqan holda, kimyoviy potentsiallar va affinlikni kimyoviy reaksiya (yoki boshqa jarayon) sodir bo'layotgan har qanday mahalliy hududda qo'llaymiz. Qaytarilmas jarayonlar natijasida entropiya ishlab chiqarishni hisobga olish uchun tengsizlik endi tenglik bilan almashtiriladi.

$$dG = -SdT + VdP - \sum_k A_k d\xi_k + W'$$

yoki

$$dG_{T,p} = -\sum_k A_k d\xi_k + W'.$$

Tizimning Gibbs funksiyasidagi har qanday kamayish – bu tizim tomonidan atrof-muhitga ushlab qolinishi mumkin bo'lgan har qanday izotermal, izobarik ishning yuqori chegarasidir yoki bu energiya shunchaki tarqalib ketishi ham mumkin, bu esa tizim va uning atrofidagi entropiyaning T ga ko'paytirilgani mos ravishda oshishi sifatida ko'rinadi. Yoki energiyaning bir qismi tashqi ish bajarishga, qolgan qismi esa entropiya yaratishga yo'naltirilishi mumkin. Muhim jiha-

ti shundaki, kimyoviy reaksiyaning oldinga siljish darajasi ba'zan tashqi mexanik yoki elektr o'zgarishlariga ham bog'liq, masalan, biri oldinga siljishi uchun ikkinchisi ham oldinga harakatlanishi kerak. Bu bog'lanish ba'zida qat'iy bo'lishi mumkin, lekin ko'pincha moslashuvchan va o'zgaruvchan bo'ladi.

Eritmalar

Eritmalar biokimyoda, Gibbs erkin energiyasining kamayishi ($\Delta G/a\text{g}$, molyar birliklarda, qisqacha ΔG bilan ifodalangan) o'z-o'zidan ro'y beradigan kimyoviy reaksiyalar tomonidan hosil bo'ladigan entropiyaning ($-T$ ga ko'paytirilgan) o'rni bosuvchi sifatida keng foydalaniladi, bunda hech qanday ish bajarilmaydi bilan shu bilan birgalikda "foydali" ish ham, ya'ni faqat $\pm P dV$ bo'lishi mumkin.

Barcha o'z-o'zidan sodir bo'ladigan reaksiyalar uchun ΔG manfiy bo'lishi haqidagi tasdiq, termodinamikaning asosiy munosabatini energiya o'lchovlarida ifodalashdan iborat bo'lib, uning entropiya nuqtayi nazaridan ahamiyatini biroz noaniq qilib qo'yadi. Bunday vaziyatda, ya'ni foydali ish amalga oshirilmayotgan holatda, doimiy T yoki doimiy T va P uchun entropiyaning Lejandr²² o'zgarishlarini va mos ravishda Massyo²³ funksiyalari $-F/T$ va $-G/T$ dan foydalanish qo'l keladi.

Muvozanatdan tashqari holat (Non-Equilibrium)

Umuman olganda, an'anaviy kimyoviy termodinamika yordamida o'rganiladigan tizimlar tenglik holatida bo'ladi. Lekin, Ilya Prigogine tenglikdan uzoq bo'lgan ochiq tizimlarning termodinamik analizini ishlab chiqqan. Buni amalga oshirish orqali u mutlaqo yangi va kutilmagan turdagi hodisalar hamda tuzilmalarni kashf etdi. Uning umumlashtirilgan, noaniq va qaytarilmas termodinamikasi turli sohalarda ajoyib qo'llanmalarga asos bo'ldi. Tenglikdan uzoq bo'lgan termodinamikasini, masalan, biologik tizimlar kabi tartibli tuzilmalar qanday qilib tartibsizlikdan rivojlanishi mumkinligini tushuntirishda qo'llashdi. Hatto Onsager munosabatlaridan foydalanilgan taqdirda ham, klassik tenglik tamoyillariga asoslangan termodinamikada, tenglikka yaqin bo'lgan chiziqli tizimlar har doim tartibsizlik holatlariga o'tib, o'zgarishlarsiz barqaror bo'lib qoladi. Bunday tizimlar tartibli tuzilmalar yuzaga kelishini ifodalab bera olmaydi.

Prigojin bu tizimlarni "dissipativ tizimlar" deb atagan, chunki ular energiya almashinuvi tufayli vujudga keladi va saqlanadi. Agar energiya almashinuvi to'xtasa, bu tizimlar ham mavjud bo'lmaydi. Ular o'z atrof-muhiti bilan **simbioz**²⁴

²² **Lejandr o'zgartirishlari** – bu termodinamikada biror kattalikni (masalan, entropiyaning) boshqa kattaliklar (energiya yoki issiqlik) bilan ifodalash uchun foydalaniladigan matematik usul. Bu usul tizimning xususiyatlarini boshqa shaklda ko'rsatishga yordam beradi.

²³ **Massyo funksiyalari** – bu entropiya va boshqa termodinamik kattaliklarni, doimiy temperatura (T) yoki doimiy temperatura va bosim (T va P) sharoitida o'zgartirib ifodalash uchun qo'llaniladigan usul hisoblanadi.

²⁴ **Simbioz** – bu ikki yoki undan ortiq turdagi organizmlar o'rtasidagi o'zaro aloqadir, bunda biri yoki har ikkalasi ham foyda ko'rishi va bu aloqalar turli shakllarda bo'lishi mumkin, masalan, bir organizmning boshqasiga yordam berishi yoki undan foyda olishi.

holatda yashashadi. Prigojin dissipativ tizimi, tuzilmalar barqarorligini o'zgarishlarga nisbatan o'rganishda ko'pchilikning qiziqishini uyg'otadi. Bu usul shahar transporti muammolari, hasharotlar barqarorligi, biologik tuzilmalar rivojlanishi va saraton hujayralarining o'sishi kabi turli xil muammolarni o'rganish imkonini beradi.

Tizim cheklovlari

Tizim cheklovlarini tushunish va mustaqil jarayonlar hamda ulanishlar o'rta-sidagi farqni aniqlash zarur. Ko'plab manbalar buni faqat oddiy tizimlarga tegishli deb hisoblaydi. Ammo bu tahlil murakkab tizimlarga ham mos keladi. Bunday tizimlarda bir vaqtning o'zida ko'plab kimyoviy jarayonlar sodir bo'ladi, ba'zilari esa bir butun jarayonning qismlaridir. Mustaqil jarayon – boshqa jarayonlar to'xtagan taqdirda ham davom etadigan jarayondir. Bu kimyoviy kinetikada nazariy tushuncha sifatida qaralishi mumkin, ammo amalda ham misollar mavjud.

Agar, tashqi bosim o'zgartirmagan holatda gaz reaksiyasida molekularlar soni oshsa, bu hajmning oshishiga olib keladi. Bu reaksiya piston bilan yopilgan silindrdagi bo'lsa, muvozanatdagi reaksiya faqat piston ustida tashqi kuchga qarshi holatda davom etishi mumkin. Reaksiya faqat piston harakatlanishi bilan davom etadi. Aksincha, agar piston ichkariga itarilsa, reaksiya teskari yo'nalish tomon harakatlanadi. Shu bilan birga, redoks reaksiyasi elektrokimyoviy hujayrada, elektrodnlarni bog'lovchi simlar orqali oqim o'tishi bilan sodir bo'ladi. Agar oqim o'tishiga yo'l qo'yilmasa, elektrodlar atrofidagi yarim-hujayra reaksiyalari cheklanadi. Oqim "Joule" isitilishi orqali yo'qotilishi yoki elektr qurilmasini, masalan, motorni ishga tushirib, mexanik ishni bajarishi orqali amalga oshirish mumkin. Avtomobilning qo'rg'oshin kislotali akkumulatori qayta zaryadlanishi, kimyoviy reaksiyani teskari yo'nalishga olib keladi. Bu holatda, reaksiya mustaqil jarayon bo'lmaydi va ba'zi hollarda, Gibbs erkin energiyasining bir qismi tashqi ish sifatida yetkazilishi ham mumkin.

ATPning ADP va fosfatga gidrolizlanishi tirik mushaklar tomonidan bajariladigan kuch va masofa ishini amalga oshirishi mumkin va ATP sintezi esa mitoxondriya va xloroplastlardagi redoks zanjiri orqali amalga oshadi. Bu jarayonlar ionlarning hujayra organoidlarining membranalarini orqali almashinuvini o'z ichiga oladi. Bu holatlarda va oldingi misollarda jarayonlar bir-biriga qisman bog'liq holda tatbiq qilingan.

Gaz piston orasidan sekinlik bilan oqib chiqqani kabi, bu kauchuk sharidan ham asta-sekin chiqadi. Batariyada ba'zi reaksiyalar tashqi oqim o'tmasdan ham sodir bo'lishi mumkin. Odatda, jarayonlarni bog'lashning bir koeffitsiyenti mavjud bo'lib, bu koeffitsiyent nisbiy tezliklarga bog'liq bo'ladi. U haydovchi erkin energiyasining qancha foizi tashqi ishga aylantirilishini yoki "kimyoviy ish" sifatida ushlanilishini belgilaydi, bu esa boshqa kimyoviy jarayonning erkin energiya-ga bog'liq noaniq atamasidir.

Biokimyoviy muhandislik

Biokimyoviy muhandislik, shuningdek, biologik jarayon muhandisligi deb ham ataladi, kimyo muhandisligi biologiya muhandisligidan kelib chiqqan bir soha hisoblanadi. Bunda asosan biologik organizmlar yoki organik molekularlar ishtirokidagi jarayonlarni loyihalash, qurish va rivojlantirish bilan shug'ullaniladi. Bu soha bioyoqilg'i, oziq-ovqat, farmatsevtika, biotexnologiya va suvni tozalash kabi sohalarida qo'llaniladi. Biokimyoviy muhandisning vazifasi laboratoriyada biologlar va kimyogarlar tomonidan o'rganilgan bilimlarni olib, uni katta hajmdagi ishlab chiqarish jarayoniga aylantirishdir.

Biotexnologiya

Biotexnologiya va biokimyoviy muhandislik bir-biri bilan chambarchas bog'liq. Biokimyoviy muhandislik biotexnologiyaning bir bo'lagi sifatida qaralishi mumkin. Biotexnologiyaning asosiy yo'nalishlaridan biri tibbiyot sohasidir, bunda biokimyoviy muhandislar farmatsevtika mahsulotlari, sun'iy organlar, biomedikal qurilmalar, kimyoviy sensorlar va dori yetkazib berish tizimlarini loyihalashtiradi. Biokimyoviy muhandislar biologik tizimlardagi kimyoviy jarayonlarni o'rganib, odamlar salomatligini yaxshilashga yordam beradigan mahsulotlarni yaratadilar. Asosiy o'rganish sohalari metabolizm, fermentlar va to'qima muhandisligi bo'yicha ilmiy ishlarni o'z ichiga oladi. Hujayraning o'rganilishi biokimyoviy muhandislik va biotexnologiyada keng qo'llaniladi, chunki ularning tabiiy yoqilg'ilar va dori-darmonlarni samarali ishlab chiqarish va kasalliklarga davo topishda ko'plab foydalari mavjud. Biokimyoviy muhandislikning biotexnologiya ichidagi boshqa tibbiy qo'llanmalari genetika testlar va farmakogenomikadir²⁵.

Oziq-ovqat sanoati

Biokimyoviy muhandislar asosan oziq-ovqat ishlab chiqarish, qayta ishlash, qadoqlash, saqlash va tarqatish tizimlarini loyihalash ishlariga yo'naltirilgan. Ko'p qayta ishlanadigan oziq-ovqatlarga bug'doy, mevalar va sut kiradi, ular tayyor mahsulotga aylanishi uchun tegishli jarayonlardan o'tadi, masalan, tegirmonda tortish, quritish va qaynatish kabildir. Oziq-ovqatni qayta ishlashning uchta bosqichi mavjud. Birinchisi oziq-ovqatni ishlab chiqarish, ya'ni qishloq xo'jaligi mahsulotlarini oziq-ovqat tayyorlash mumkin bo'lgan mahsulotga aylantirish hisoblanadi. Ikkinchisi oziq-ovqatning qayta ishlanishidir. Keyingi bosqichi esa tayyor ovqatlarni ishlab chiqarishni, masalan, iste'mol qilishga tayyor yoki isitilib tanovul qilinadigan oziq-ovqatlarni o'z ichiga oladi. Oziq-ovqatni quritish, tuzlash, marinadlash va fermentatsiya qilish bu eng qadimgi oziq-ovqatni saqlash

²⁵ **Farmakogenomika** – dori-darmonlar xavfsizligini va samaradorligini yaxshilash uchun genetik ma'lumotlarni o'rganadigan ilmiy soha. Bu soha, genetik omillarga asoslanib, individual tarzda dori tanlashga yordam beradi.

usullari bo'lib, ular mog'orlar va bakteriyalar oziq-ovqat buzishining oldini olish uchun ishlatilgan.

Oziq-ovqatni saqlash usullari hozirgi oziq-ovqat xavfsizligi talablariga mos bo'lishiga qaramay, ular hali ham eski jarayonlarga asoslanadi. Oziq-ovqat mahsulotlarining ozuqaviy qiymatini yaxshilash biokimyoviy muhandislarning zimmasidadir. Masalan, oltin guruch A vitamini yetishmasligining oldini olish uchun ishlab chiqilgan, bu muammo ba'zi hududlarda keng tarqalgan. Saqlash texnologiyalarini yaxshilash, oziq-ovqatlar saqlanganda foydali moddalar uzoq vaqt saqlanishini ta'minlashga yordam beradi. Qadoqlash oziq-ovqatni saqlashda va uning xavfsizligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi, chunki u mahsulotni ifloslanish, jismoniy shikastlanish va buzilishdan himoya qiladi. Shuningdek, qadoqlash oziq-ovqatni tashish va iste'mol qilishni osonlashtiradi. Oziq-ovqat sanoatida ishlaydigan biokimyoviy muhandislarning odatdagi vazifasi – jarayonlarni katta miqyosda amalga oshirish usullarini loyihalash orqali aholi talablarini qondirishdan iborat bo'ladi. Ushbu kasbning talablari tadqiqotlar o'tkazish, jarayonlarni yanada samaraliroq qilish, yangi texnologiyalarni yaratish uchun guruhlar bilan ishlash va uskuna hamda inshootlar uchun reja tayyorlashni o'z ichiga oladi.

Biomolekulyar muhandislik

Biomolekulyar muhandislik – biologik manbalardan olingan molekularni maqsadli ravishda o'zgartirish uchun muhandislik bilimlarini qo'llashdir. Biomolekulyar muhandislar biologik jarayonlar haqida olingan bilimlarni kimyo muhandisligi asosiy bilimlari bilan birlashtiradi va hayot fanlaridagi, jumladan atrof-muhit, qishloq xo'jaligi, energiya, sanoat, oziq-ovqat ishlab chiqarish, biotexnologiya va tibbiyotdagi muammolarni molekulyar darajada hal qilishga qaratilgan yechimlarni topishga harakat qilishadi. Biomolekulyar muhandislar uglevodlar, oqsillar, nuklein kislotalar va lipidlarga ularning tuzilishi, funksiyasi va xususiyatlari o'rtasidagi munosabatlarni hisobga olgan holda ta'sir ko'rsatadilar. Ular bu moddalarni atrof-muhitni tiklash, dehqonchilik va chorvachilikni rivojlantirish, bioyoqilg'i hujayralari hamda biomolekulyar diagnostika kabi sohalarida qo'llaydilar. Fermentlar, antitanachalar, DNK gibridizatsiyasi²⁶, biokonyugatsiya²⁷ va bio ajratish jarayonlaridagi molekulyar tanishuvning termodinamika va kinetikasi o'rganiladi. Shuningdek, hujayra signalizatsiyasi, hujayra o'sish kinetikasi, biokimyoviy yo'llar muhandisligi va bioreaktor muhandisligi sohalarida biomolekulalarning dastlabki o'rganishlariga ham alohida e'tibor qaratiladi.

²⁶ **DNK gibridizatsiyasi** – bu ikkita DNK zanjirining bir-biriga to'g'ri keladigan qismlari orasida vodrod bog'larining shakllanishi orqali birlashish jarayonidir. Bu usul genetik tadqiqotlar, diagnostika va biotexnologiyada keng qo'llaniladi.

²⁷ **Biokonyugatsiya** – bu biologik moddalar yoki molekularlarning bir-biriga bog'lanishi yoki birlashtirilish jarayoni.

Asosiy molekularlar

Biomolekulyar muhandislik ko'plab muhim biomolekulalarni boshqarish va o'zgartirish bilan shug'ullanadi, bu soha faqat bu bilan cheklanmasdan, oqsillar, uglevodlar, nuklein kislotalar va lipidlarni ham o'z ichiga oladi. Bu molekularlar hayotning asosiy qurilish bloklaridir va ularning shakli hamda funksiyasini boshqarish, yaratish va o'zgartirish orqali jamiyat uchun yangi imkoniyatlar yaratiladi. Har bir biomolekula o'ziga xos jihatlari bo'lgani uchun, ularni o'zgartirishda har biriga mos turli usullar qo'llaniladi.

Oqsillar

Oqsillar – bu aminokislotalardan tashkil topgan polimerlardir, ular peptid bog'lari bilan birlashgan. Oqsillarda to'rt xil tuzilish darajasi mavjud. Birinchisi tuzilish aminokislotalar zanjirining ketma-ketligiga taalluqlidir. Ikkinchi tuzilish aminokislota zanjirlaridagi vodorod bog'lanishlari natijasida yuzaga keladigan kichik shakllarni o'rganadi. Agar oqsilning orasida molekulararo vodorod bog'lanishlari bo'lsa, u fibrillar deb ataladi va uning ikkinchi tuzilishining aksariyati beta-lentalar bo'ladi. Aksincha, agar oqsilning asosiy yo'nalishi molekula ichidagi vodorod bog'lanishlari bo'lsa, bu oqsil **globulyar** deb ataladi va asosan bu alfa spirallari tarkibiga kiradi.

Oqsillarning uchlamchi tuzilishi ularning qanday bukilishi va umumiy shakli bilan bog'liq. To'rtlamchi tuzilish esa bir nechta uchlamchi oqsillarning birlashib, yagona tizim sifatida ishlashidan hosil bo'ladi. Ushbu darajalar oqsillarni turli usullar bilan o'zgartirish va moslashtirish imkonini beradi.

Oqsillarning aminokislota tartibini o'zgartirish uchun (masalan, saytga yo'naltirilgan mutagenез), ularning bukilish shaklini yoki to'rtlamchi tuzilish ichidagi bitta uchlamchi oqsilning bukilishini boshqarish mumkin. Odatda, o'zgartiriladigan oqsillar fermentlar, fermentlar esa biokimyoviy reaksiyalarni tezlashtiruvchi oqsillardir. Ularni boshqarish orqali reaksiyaning tezligi va ta'siri nazorat qiliniladi. Fermentlar va oqsillar biologiyada juda muhim bo'lib, ular bilan ishlash uchun maxsus muhandislik sohalari rivojlangan.

Karbogidratlar

Karbogidratlar yana bir muhim biomolekuladir. Ular polimerlar bo'lib, polisaxaridlar deb ham ataladi va oddiy shakarlar zanjiridan tashkil topgan. Ushbu shakarlar glikozid bog'lari orqali birikadi. Monosaxaridlar, ya'ni oddiy shakarlar, tarkibida uglerod, vodorod va kislorod bo'lgan 5 yoki 6 atomli halqadan iborat bo'ladi. Odatda, ular 1:2:1 nisbatda joylashadi. Eng keng tarqalgan monosaxaridlar – glukoza, fruktoza va ribozalardir.

Monosaxaridlar birlashganda disakkaridlar, oligosaxaridlar yoki polisaxaridlar hosil qilishi mumkin. Bu nomlar birlashgan monosaxaridlar soniga bog'liq. Masalan, disaxaridlar ikki monosaxaridning birlashuvidan hosil bo'lib, ularga

saxaroza, maltoza va laktoza kiradi. Polisaxaridlar, ya'ni ko'p monosaxaridlardan iborat zanjirlar, eng muhimlari selluloza, kraxmal va kitindir.

Selluloza – bu beta 1–4 bog'lari orqali takrorlanuvchi glukoza monomerlaridan tashkil topgan polisaxarid. U tabiatda eng ko'p uchraydigan shakar manbayidir va qog'oz sanoatining asosiy tarkibiy qismidir.

Kraxmal – bu ham glukoza monomerlaridan tashkil topgan polisaxarid; ammo ular beta bog'lari o'rniga alfa 1–4 bog'lari orqali birikadi. Kraxmallar, ayniqsa amilaza, qog'oz, kosmetika va oziq-ovqat sanoatlari kabi ko'plab sohalarida muhim ahamiyatga ega.

Kitin – bu sellulozaning hosilasi bo'lib, uning uglerod atomlaridan birida -OH guruhining o'rniga asetamid (-NHCOCH₃) guruhini o'z ichiga oladi. Agar asetamid guruhi deasetilatsiya²⁸ qilinsa, polimer zanjiri xitosan²⁹ deb ataladi.

Bu selluloza hosilalari, ya'ni kitin va xitosan, biotibbiyot va oziq-ovqat sanoatlarida keng qamrovli tadqiqotlarga asos bo'lmoqda. Ularning qon ivishiga yordam berishi, mikroblarga qarshi xususiyatlarga ega bo'lishi va parhezda qo'llanishi mumkinligi ko'rsatilgan. Ko'plab muhandislik va tadqiqot ishlari, ma'lum bir qo'llanma uchun eng samarali natijani ta'minlovchi deasetilatsiya darajasini aniqlashga qaratilgan.

Nuklein kislotalar

Nuklein kislotalar – bu DNK va RNK kabi makromolekulalar bo'lib, ular biomolekulalar zanjirlaridan tashkil topgan biopolimerlardir. Bu ikki molekula tiriklikni ta'minlaydigan genetik kod va shablondir. Bu molekulalar va tuzilmalarni o'zgartirish boshqa makromolekulalarning funksiyasi va ifodasida katta o'zgarishlarga sabab bo'ladi. Nukleozidlar – bu beta-glikozidik bog' orqali riboza yoki dezoksiriboza shakari bilan bog'langan nukleobazani o'z ichiga olgan glikozilaminlardir³⁰.

Nukleotidlar – bu nukleozidlar bo'lib, ular maxsus kinazalar³¹ tomonidan fosfodiester bog' orqali fosforlanadi. Nukleotidlar nuklein kislotalarining takrorlanadigan strukturalaridan iborat. Nukleotidlar tarkibida azotli asos, pentoza (RNA uchun riboza yoki DNK uchun dezoksiriboza) va uchta fosfat guruhi mavjud.

²⁸ **Deasetilatsiya** – bu molekuladan asetil guruhini olib tashlash jarayonidir. Bu jarayon xitinni xitosanga aylantiradi.

²⁹ **Xitosan** – bu xitin polimerining deasetilangan shakli bo'lib, asosan qisqichbaqasimonlar va hasharotlarning tashqi qobig'idan olinadi. U biologik parchalanadigan, antimikrobial faollikka ega va sog'liq uchun foydali bo'lgan material sifatida qo'llaniladi.

³⁰ **Glikozilaminlar** – bu uglevodlar (riboza yoki dezoksiriboza) bilan amin guruhlarini (-NH₂) bog'laydigan kimyoviy birikmalardir. Ular biologik tizimlarda muhim rol o'ynaydi va ko'plab biologik jarayonlarda ishtirok etadi.

³¹ **Kinaza** – bu molekulani (odatda oqsilni) fosfat guruhini qo'shish orqali o'zgartiriladigan fermentdir. Bu jarayon ko'plab hujayra jarayonlarini, shu jumladan signal uzatish va metabolizmi tartibga soladi.

Lipidlar

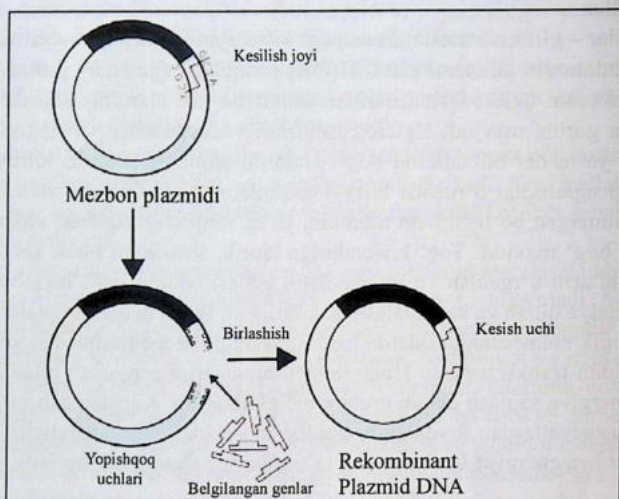
Lipidlar – glitserol hosilalari va yogʻ kislotalari zanjirlaridan tashkil topgan biomolekulalardir. Glitserol esa $C_3H(OH)$ formulaga ega oddiy poliozdir. Yogʻ kislotalari uzun uglerod zanjirlaridan iborat boʻlib, ularning oxirida karboksil kislota guruhi mavjud. Uglerod zanjirlari vodorod bilan toʻyingan boʻlishi mumkin, yaʼni har bir uglerod bogʻi vodorod atomlari bilan toʻldirilgan yoki zanjirdagi uglerodlar oʻrtasida bitta bogʻlanish mavjud boʻlishi mumkin. Yoki ular toʻyinmagan boʻlishi ham mumkin, yaʼni zanjirdagi uglerod atomlari orasida ikki bogʻ mavjud. Yogʻ kislotalariga laurik, stearik va oleik kislotalar kiradi. Lipidlarni oʻrganish va muhandislik ishlari odatda lipid membranalarini manipulyatsiya qilish va kapsulalashga qaratilgan. Hujayra membranalari va boshqa biologik membranalar odatda fosfolipid dublanli membranadan yoki uning hosilalaridan tashkil topgan. Hujayra membranalarini oʻrganish bilan birga, lipidlari energiya saqlash uchun muhim molekulalardir. Kapsulalash va termodinamik xususiyatlardan foydalanib, lipidlar molekulalarni muhandislik qilishda, strukturani va energiya boshqaruvini taʼminlashda ahamiyatli boʻladi.

Rekombinant DNK

Rekombinant DNK – organizmning genomiga mansub boʻlmagan genetik ketma-ketliklarni oʻz ichiga olgan DNK biomolekulalaridir. Rekombinant usullari yordamida DNK ketma-ketligini aniq joylashtirish, oʻchirish yoki oʻzgartirish mumkin, bu jarayonni cheklovchi saytlarning joylashuvidan qatʼi nazar amalga oshirish mumkin. Rekombinant DNK turli sohalarda keng qoʻllaniladi.

Usul

Rekombinant DNK yaratishning anʼanaviy usuli odatda plazmidlardan foydalanishni oʻz ichiga oladi. Plazmida, masalan, EcoRI kabi restriksiya endonukleazinning tanishish sayti bilan mos keladigan genetik ketma-ketlik mavjud. Tashqi DNK fragmentlari, ular ham aynan shu restriksiya endonukleazi bilan kesilgan, mezbon hujayraga kiritilgach, restriksiya endonukleazi geni yuqori harorat yoki arabinoz kabi biomolekula yordamida ifodalanadi. Ifodalanish jarayonida ferment plazmidni oʻzining mos tanishish saytida kesib, plazmida yopishqoq uchlari hosil qiladi. Keyin ligaza fermenti ushbu yopishqoq uchlarni tashqi DNK fragmentlarining mos yopishqoq uclariga birlashtirib, rekombinant DNK plazmidini hosil qiladi.



Rekombinant DNK yaratish Plazmid restriksiya endonukleazlari tomonidan kesilgandan so'ng, ligaza fermentlari tashqi DNK fragmentlarini plazmaga joylashtiriladi.

Genetik muhandislikdagi yutuqlar

Genetik muhandislikdagi yutuqlar mikroblarda genlarni o'zgartirishni samarali qilishga yordam berdi, bu esa genetik tizimlarni taxminan bir haftada yaratishga imkon berdi. Bu, shuningdek, organizmning genomini o'zgartirishga ham yo'l ochdi. Ayniqsa, lambda bakteriofagining genlaridan foydalanish rekombinatsiya jarayonida qo'llaniladi. Bu mexanizm **rekombinatsiya** deb ataladi va **Exo**, **Beta** va **Gam** proteinlarini o'z ichiga oladi. Ular mos ravishda **exo**, **beta** va **gama** genlari tomonidan ishlab chiqariladi. **Exo** – bu ikki zanjirli DNK eksonukleazasi bo'lib, 5' dan 3' gacha faoliyat ko'rsatadi. U ikki zanjirli DNKni kesib, 3' uchlariida bo'shliq hosil qiladi. **Beta** – bu bir zanjirli DNK bilan bog'lanib, kiritilgan DNK va xromosomadagi DNK orasida gomonli rekombinatsiyani qo'llab-quvvatlash orqali yumshatish jarayonini tezlashtiradigan protein. **Gam** – bu DNKni kiritilishidan so'ng hujayradagi tabiiy nukleazalar tomonidan yo'q qilinishidan himoya qilish uchun ishlaydigan proteindir.

Ilovalar

Rekombinant DNK turli maqsadlarda foydalaniladi. Foydalaniladigan usullar genlarni aniq o'zgartirishga imkon beradi, bu esa har qanday biomolekulalarni o'zgartirishga imkon yaratadi. U laboratoriya ishlarida, masalan, ma'lum bir or-

ganizmdagi genlarni o'rganish uchun ishlatilishi mumkin. Farmatsevtika sanoatida esa, proteinlar rekombinatsiya usullari yordamida o'zgartirilishi mumkin. Rekombinant insulin inson insulin genini *E. coli* bakteriyasiga kiritish orqali ishlab chiqariladi, bu esa insonlar uchun insulin ishlab chiqarishni ta'minlaydi. Boshqa proteinlar, masalan, inson o'sish gormoni, VIII faktori va gepatit B vaksinasi ham shunga o'xshash usullar yordamida ishlab chiqariladi. Rekombinant DNK, shuningdek, **ELISA** usulidan foydalanadigan tashxis metodlarida ham qo'llaniladi. Bu antigenlar va ularga bog'langan fermentlarni turli moddalarni tanish yoki bioimmobilizatsiya qilish uchun o'zgartirish imkonini beradi. Rekombinant DNK, shuningdek, qishloq xo'jaligi sanoatidagi ko'plab mahsulotlar uchun mas'uldir. Genetik jihatdan o'zgartirilgan oziq-ovqat, masalan, oltin guruch, A vitamini ishlab chiqarishni ko'paytirish maqsadida yaratilgan. Bu esa A vitamini yetishmovchiligi mavjud bo'lganlar uchun foydalidir. O'simliklardagi yana boshqa xususiyatlarga gerbtsid va hasharotlar ham kiradi.

Saytga yo'naltirilgan mutagenез

Saytga yo'naltirilgan mutagenез 1970-yillardan beri qo'llanib kelinayotgan usuldir. Bu sohadagi dastlabki tadqiqotlar bisulfit va aminopurin kabi ayrim kimyoviy moddalarning gendagi muayyan asoslarni o'zgartirish qobiliyatini kashf etishga olib keldi. Bu izlanishlar davom ettirilishi natijasida genda ma'lum nukleotid ketma-ketliklarini yaratish uchun boshqa usullar ishlab chiqildi. Jumladan, muayyan virus zanjirlarini parchalash uchun restriktaza fermentlaridan foydalanish va ularni bakterial plazmidlar uchun praymerlar sifatida qo'llash yo'lga qo'yildi. Maykl Smit tomonidan 1978-yilda ishlab chiqilgan zamonaviy usul esa bakterial plazmidga komplementar bo'lgan, biroq bitta asos juftligi yoki bir qator nomuvofiqliklar mavjud oligonukleotiddan foydalanishga asoslangan.

Jarayon

Saytga yo'naltirilgan mutagenез – oligonukleotid yoki gendagi bitta asosni o'zgartirish imkonini beruvchi qimmatli usul. Bu usulning mohiyati yovvoyi turdagi bakterial plazmidga komplementar bo'lgan praymer tayyorlashdan iborat. Bu praymerning o'zgartirish kerak bo'lgan qismida nukleotid juftligi mos ravishda bo'lmaydi. Praymer yetarlicha uzun bo'lishi lozim, shunda u yovvoyi turdagi plazmidga birikadi. Praymer birikkach, DNK polimeraza uni to'ldiradi. Bakterial plazmid ko'payganda, mutatsiyaga uchragan zanjir ham ko'payadi. Xuddi shu usul gen kiritish yoki olib tashlash uchun ham qo'llaniladi. Ko'pincha, antibiotikka chidamli gen kerakli o'zgartirish bilan birga kiritiladi va bakteriyalar antibiotikli muhitda o'stiriladi. Muvaffaqiyatli mutatsiyaga uchramagan bakteriyalar bu muhitda yashamaydi, mutatsiyaga uchragan bakteriyalarni esa osonlik bilan ko'paytirish mumkin.

Ilovalar

Saytga yo'naltirilgan mutagenез turli maqsadlarda foydali bo'lishi mumkin. Bitta nukleotid juftining o'zgarishi kodonni o'zgartirishi va shu orqali oqsildagi aminokislotalarni almashtirishi mumkin. Bu ayrim oqsillarning xatti-harakatlarini o'rganish uchun qo'l keladi. Shuningdek, muayyan aminokislotalarni o'zgartirish orqali fermentlarni maqsadli ravishda boshqarish imkonini beradi. Agar faol markazga yaqin joylashgan aminokislota o'zgartirilsa, kinetik parametrlar keskin o'zgarishi yoki ferment butunlay boshqacha ishlashi mumkin. Saytga yo'naltirilgan mutagenезning yana bir qo'llanilishi – faol markazdan uzoqda joylashgan aminokislota qoldig'ini lizin yoki sistein qoldig'i bilan almashtirishdir. Bu aminokislotalar fermentni qattiq yuzaga kovalent bog'lashni osonlashtiradi, natijada fermentni qayta ishlatish va uzluksiz jarayonlarda ulardan foydalanish imkonini paydo bo'ladi. Ba'zida oqsillarga tabiiy bo'lmagan funksional guruhlar ega aminokislotalar (masalan, ketonlar va azidlar) qo'shiladi. Bu qo'shimchalar biokonyugatsiyani osonlashtirish yoki aminokislota o'zgarishlarining oqsillar shakli va funksiyasiga ta'sirini o'rganish uchun qo'llanilishi mumkin. Saytga yo'naltirilgan mutagenез va PCR usullarining birgalikda qo'llanilishi saraton hujayralarida interleykin-6 faolligini pasaytirish uchun ishlatilmoqda. Bu mutagenезda ko'pincha bacillus subtilis bakteriyasi qo'llaniladi.

Ushbu bakteriya hujayra devori orqali subtilizin deb nomlangan fermentni ajratib chiqaradi. Biomolekulyar muhandislar bu genni maqsadli ravishda o'zgartirib, hujayraning o'zini gen kodiga kiritilgan istalgan oqsilni ishlab chiqaruvchi "zavodga" aylantirishi mumkin.

Bio-immobilizatsiya va bio-konyugatsiya

Bio-immobilizatsiya va bio-konyugatsiya – biomolekulalarning harakatchanligidan foydalanib, kimyoviy yoki fizik usullar orqali ularning kerakli xususiyatlarini olish hisoblanadi. Biomolekulalar immobilizatsiyasi boshqariladigan muhitda molekula xususiyatlaridan foydalanish mumkin bo'ladi. Masalan, glukoza oksidazasining kalsiy alginat gelining zarralari bilan immobilizatsiyasi bioreaktorda qo'llanilishi mumkin. Bundan hosil bo'lgan mahsulotdan fermentni olib tashlash uchun tozalash shart bo'lmaydi, chunki u ustunlardagi zarralarga bog'langan holda bo'ladi. Immobilizatsiya qilinadigan biomolekulalarga fermentlar, organellalar va butun hujayralar kiradi.

Biomolekulalar bir qator usullar yordamida immobilizatsiya qilinishi mumkin. Ulardan eng keng tarqalganlari fizik ushlab qolish, adsorbsiya va kovalent o'zgartirishdir. Fizik ushlab qolish – bu biomolekulani kimyoviy o'zgartirishlarsiz, polimer yordamida matritsada saqlashdir. Polimer to'rlarida (gel ushlab qolish) yoki sintetik tolalarning mikro-bo'shliqlarida (tolali ushlab qolish) amalga oshirilishi mumkin. Masalan, glyukoza oksidaza fermentini bioreaktor sifatida ishlatish uchun gel kolonkasida ushlab qolish mumkin. Bu usulning asosiy xusu-

siyati shundaki, biokatalizatorning tuzilishi o'zgaraydi, lekin substratlar uchun katta diffuziya to'siqlari yuzaga keladi.

Adsorbsiyalash – biomolekulalarning qo'llab-quvvatlovchi materialdagi guruhlar bilan o'zaro ta'siri natijasida immobilizatsiya qilinishi. Bu fizikal adsorbsiyalash, ionli bog'lanish yoki metall bog'lanishli bo'lishi mumkin. Bunday usullar yengil sharoitlarda nisbatan oddiy tarzda amalga oshirilishi mumkin bo'lsa-da, bog'lanishlar pH erituvchi va haroratga bog'liq. Misollarga fermentga bog'langan immunosorbent tahlillari kiradi. **Kovalent modifikatsiya** – bu ma'lum funksional guruhlar va matritsa o'rtasidagi kimyoviy reaksiyalarni o'z ichiga oladi. Ushbu usul biomolekula va matritsa o'rtasida barqaror kompleks hosil qiladi va bu ommaviy ishlab chiqarish uchun mos keladi. Funksional guruhlarda kimyoviy bog'lanishlar hosil bo'lishi sababli faollik yo'qolishi mumkin. Ishlatiladigan kimyoviy reaksiyalar misollariga DCC yoki PDC bog'lanishi va EDC/NHS bog'lanishi kiradi, bularning barchasi immobilizatsiya va biomolekulalarni bog'lashda qo'llaniladi.

Immobilizatsiya jarayonida erituvchi (yoki suyuqlik) tanlovi, ion kuchi va konyugatsiya tufayli faol joylarning yo'nalishi muhim ahamiyatga ega. Fermentlar uchun konyugatsiya 3 o'lchovli tuzilmaning o'zgarishi sababli kinetik tezlikni pasaytiradi, shuning uchun funksional faoliyatning yo'qolmasligini ta'minlash uchun ehtiyotkorlik bilan yondashish zarur. Bio-immobilizatsiya diagnostik bioassaylar, biosensorlar, ELISA yoki bio ajratish kabi texnologiyalarda qo'llaniladi. Interleukin (IL-6) biosensordlarda bio-immobilizatsiya qilinishi mumkin. IL-6 darajasidagi o'zgarishlarni kuzatish kasalliklarni tashxislash uchun muhim ahamiyatga ega. Saraton bemorida IL-6 darajasi oshgan bo'ladi va bu darajalarni kuzatish shifokorga kasallikning bosqichlarini bilib olishiga yordam beradi. IL-6 ning biosensor yuzasida to'g'ridan to'g'ri immobilizatsiya qilinishi ELISA usuliga nisbatan tezroq muqobilikni taklif etadi.

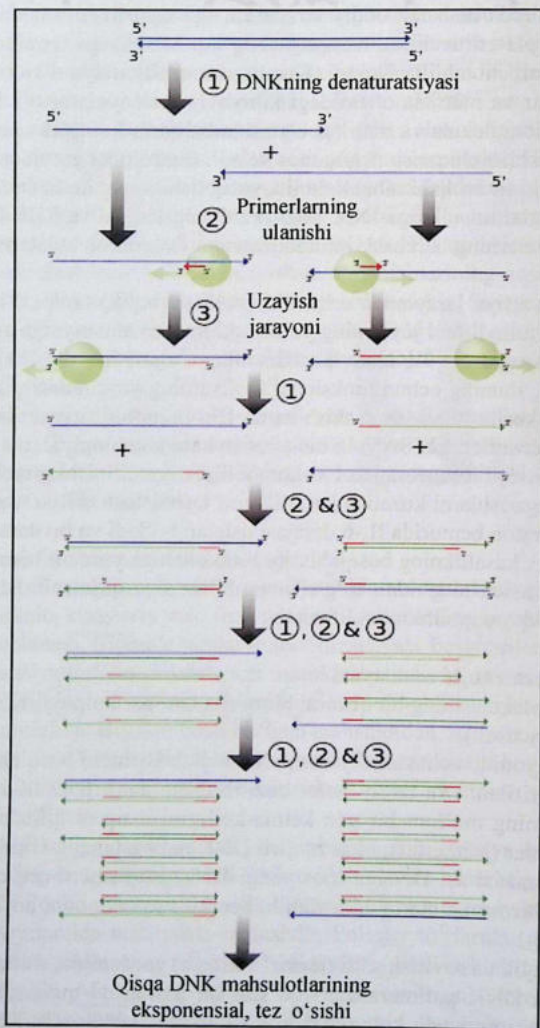
Polimeraza zanjir reaksiyasi

(DNK molekulasining bir qismini bir necha barobar ko'paytirish uchun ishlatiladigan ilmiy usul.)

PCR jarayonida uchta asosiy bosqich mavjud. Birinchi bosqichda, ikki zanjirli DNK "eritiladi" va tabiiy holat buzilib, bitta zanjirli DNK hosil bo'ladi. Keyin, DNKning ma'lum bir gen ketma-ketligini maqsad qilib olingan boshlang'ich qismlar (primerlar), bitta zanjirli DNKga bog'lanadi. Oxirgi bosqichda, DNK polimerazasi asl DNKga mos yangi DNK zanjirini sintez qiladi. Ushbu uch bosqich bir necha marta takrorlanib, kerakli nusxalar soni hosil bo'lguncha davom etadi.

PCR issiqlik va sovutish sikli (termal sikllash) yordamida, shuningdek, DNK primerlari va DNK polimerazalari qo'shilishi natijasida maqsadli DNK fragmentini selektiv ravishda ko'paytiradi. Ushbu usul 1983-yilda Keri Mullis to-

monidan Cetus Corporation kompaniyasida ishlab chiqilgan. Mullis PCRning DNK klonlash, DNK (gen ketma-ketligini aniqlash) va gen tahlili kabi ko'plab sohalardagi ta'siri natijasida 1993-yilda kimyo bo'yicha Nobel mukofotini qo'lga kiritdi.



PCRda ishtirok etadigan biomolekulyar muhandislik usullari

PCRni ishlab chiqish amaliyotida bir nechta biomolekulyar muhandislik strategiyalari muhim rol o'ynaydi. Masalan, kerakli DNK fragmentining aniq nusxalanishini ta'minlashda eng muhim bosqich – bu to'g'ri DNK boshlang'ich qismini yaratishdir. Boshlang'ich qism sintezining eng keng tarqalgan usuli fosforamidit usuli hisoblanadi. Ushbu usul biomolekulyar muhandislikni o'z ichiga oladi, bunda kerakli boshlang'ich qism ketma-ketligini bilish uchun bir qator molekular bilan ishlanadi. Boshlang'ich qismini yaratishdagi eng sezilarli biomolekulyar muhandislik texnikasi: nukleotidning qat'iy materialga bioimmobilizatsiya qilinishidir. Bu bosqich odatda boshlang'ich qismining birinchi nukleotidining 3'-gidroksil guruhining qat'iy materialga kovalent bog'lanishi natijasida amalga oshiriladi.

Bundan tashqari, DNK boshlang'ich qismi yaratilayotganida, o'sayotgan primerga qo'shilishi kerak bo'lgan nukleotidlarning ba'zi funksional guruhlar yon ta'sirlardan saqlanish uchun to'silgan holatda bo'lishi kerak. Funksional guruhlarining to'silishi va keyinchalik ularning ochilishi, keyingi nukleotidlarning bog'lanishi va qat'iy materialdan ajratilishi biomolekulalarni o'zgartirish usullari sanaladi va ularni biomolekulyar muhandislikka taalluqli deb ham hisoblash mumkin. Ko'krak bezi saratonidan aziyat chekuvchi bemorlarda o'lim darajasining ortishi interleykin darajasining oshishi bilan bevosita bog'liq. PCR, Vestern blotting va ELISA usullari birgalikda saraton hujayralari va IL-6 o'rtasidagi munosabatni aniqlashda yordam beradi.

Fermentga bog'langan immunosorbent testi (ELISA)

Ma'lum moddalar mavjudligini aniqlash uchun antikor-antigen tamoyiliga asoslangan testdir. ELISA testlarining uchta asosiy turi – indiring, sendvich va raqobatbardosh ELISAlardir. Bularning barchasi antikorlar faqat bitta ma'lum antigen bilan bog'lanishini asos qilib oladi. Bundan tashqari, bu antigenlar yoki antikorlar fermentlarga bog'lanishi mumkin, bu fermentlar esa rang o'zgarishiga olib keladi. Fermentga bog'langan immunosorbent testlari eng ko'p diagnostik testlar sifatida ishlatiladi, masalan, qon namunalari orqali HIV antikorlarini aniqlash, homiladorlikni ko'rsatish uchun siydikda inson xoriotik gonadotropin molekularini tekshirish va sil kasalligini tekshirish uchun qon namunalari orqali *Mycobacterium tuberculosis* antikorlarini aniqlash kabilardan iborat. Bundan tashqari, ELISA keng tarqalgan toksikologik skrining usuli sifatida ham ishlatiladi, bu usul odamlarning qon plazmasida noqonuniy dori-moddalarning mavjudligini aniqlash uchun foydalaniladi.

ELISAda ishlatiladigan usullar

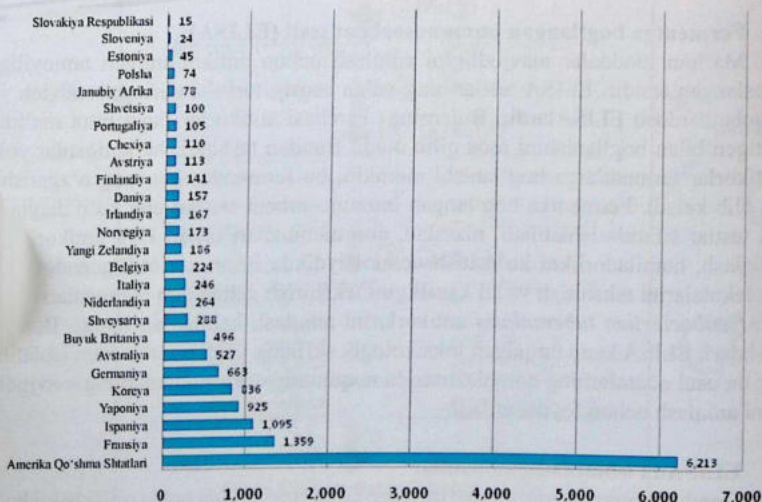
Garchi fermentga bog'langan immunosorbent testlarida uchta turli shakli bo'lsa-da, ularning uchalasi ham birinchi bosqich sifatida antikor yoki antigenni bio-

immobilizatsiya qilish bilan boshlanadi. Ushbu bioimmobilizatsiya – ELISA amaliyotida qo'llaniladigan birinchi biomolekulyar muhandislik usulidir. Bu bosqich bir nechta usulda bajarilishi mumkin, jumladan, kovalent bog'lanish orqali, bunda yuza qism oqsil yoki boshqa modda bilan qoplangan bo'ladi. Bio immobilizatsiya molekula va yuzaning gipsofobik o'zaro ta'sirlari orqali ham amalga oshirilishi mumkin. ELISAning ko'plab maqsadlar uchun ishlatiladigan turlari mavjud bo'lgani uchun, ushbu bosqich talab qiladigan biomolekulyar muhandislik usullari ELISAning aniq maqsadiga qarab farq qiladi.

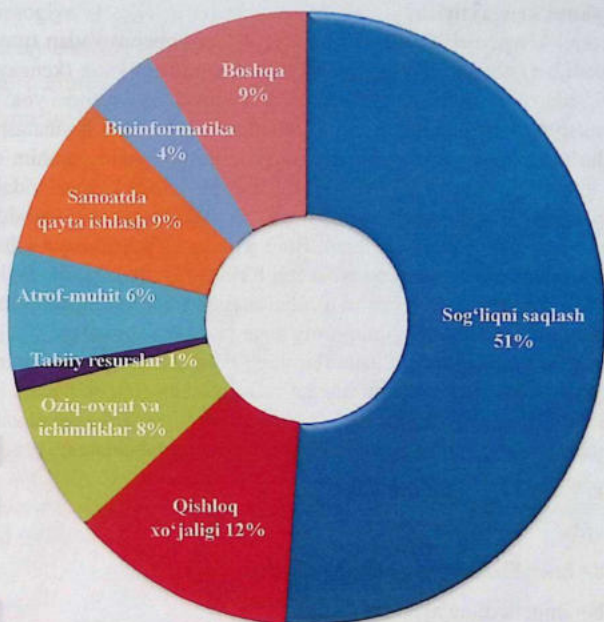
ELISA ishlab chiqilishida ishlatiladigan yana bir biomolekulyar muhandislik texnikasi – fermentni antikor yoki antigen bilan biokonyugatsiyalash, bu ELISA turiga qarab amalga oshiriladi. Ushbu ferment birlashtirishda ko'p narsalarni hisobga olish kerak, masalan, fermentning aktiv joyi bilan antikor ferment birlashtirilayotgan paytda antikor bog'lanishiga xalaqit bermaslik muhimdir. Bu birlashtirish odatda ikki molekula o'rtasida krossbog'lanishlar hosil qilish orqali amalga oshiriladi va bu jarayon aniq molekulalarning xususiyatlariga qarab turli kimyoviy moddalarni talab qilishi mumkin.

Interleykin (IL-6) – bu immun javob davomida mavjud bo'ladigan signal oqsili. Sendvich turidagi ELISA usuli esa bu oqsillarning umurtqa pog'onasi suyuqligi yoki suyak iligi namunalaridagi interleykin (IL-6) miqdorini aniqlaydi.

Kimyo sanoatidagi ilovalar va sohalar



Biotehnologiya kompaniyalarining mamlakatlar bo'yicha miqdoriy ma'lumotlar grafigi.



Biotexnologiya firmalarining ilovalar bo'yicha foizlar grafigi.

Biomolekulyar muhandislik keng qamrovli tushuncha bo'lib, turli sanoat va sohalarda qo'llaniladi. Shuning uchun, biomolekulyar muhandislik kasbining umumiy vazifalarini aniqlash qiyin. Biotexnologiya sanoati – bu biotexnologiyani mahsulot va xizmatlar ishlab chiqarish yoki biotexnologik tadqiqot va rivojlantirishni amalga oshirish uchun qo'llaydigan barcha firmalarni o'z ichiga oladi. Biotexnologiya sanoatini o'rganish orqali, sanoatning asosiy yetakchisi AQSH ekanligi, keyin esa Fransiya va Ispaniya kelishini bilish mumkin. Shuningdek, biotexnologiya sanoatida biomolekulyar muhandislikning qo'llanilishi asosan klinik va tibbiy sohalarga qaratilganligi haqiqatdir. Odamlar o'z sog'lig'i uchun qancha miqdorda bo'lsa ham to'lashga tayyordirlar, shuning uchun biotexnologiya sanoatiga yo'naltirilgan mablag'larning aksariyati sog'liq bilan bog'liq tashabbuslarga sarflanadi.

Jarayonni kengaytirish

Jarayonni kengaytirish – bu tajriba miqyosidagi operatsiyadan (model yoki sinov zavodidan) olingan ma'lumotlarni tijorat hajmidagi katta (kengaytirilgan) qurilmani ishlab chiqishni anglatadi. Bu tajriba miqyosidagi (model yoki pilot zavod) operatsiyalar asosida katta, tijorat o'Ichamidagi birlikni loyihalash jarayoni. Kattalashtirish jarayoni – bu jarayonni tijoratlashtirishning muhim qismidir. Masalan, genetik jihatdan o'zgartirilgan *Escherichia coli* bakteriyalaridan insulin ishlab chiqarish laboratoriya jarayonlaridan boshlanib, sanoat darajasida ishlab chiqarish holatigacha kattalashtirilgan. Buni amalga oshirish uchun laboratoriya ma'lumotlari yordamida tijorat miqyosidagi birliklar loyihalashtirilgan. Masalan, insulin ishlab chiqarish uchun yuqori tozalangan glargin insulinining kristallanishi zarur. Ushbu jarayonning keng miqyosda amalga oshirilishi uchun, biz laboratoriya va keng ko'lamdagi kristallizatorlarning kuch hamda hajm nisbatini bir xil saqlamoqchimiz, bu esa bir xil aralashishni ta'minlashga yordam beradi. Shuningdek, laboratoriya miqyosidagi kristallizator katta miqyosdagi kristallizator bilan geometriyaviy o'xshashlikka ega deb faraz qilamiz. Va bu holatda:

$$P/V \propto N_i^3 d_i^3 \text{ yuzaga keladi.}$$

Bu yerda:

d = kristallizator impellerining diametri,

N = impellerning aylanish tezligi.

Farmatsevtika muhandisligi

Farmatsevtika muhandisligi – bu farmatsevtika sanoatida mahsulotlar, jara-yonlar va komponentlar ishlab chiqish va ishlab chiqarish bilan bog'liq bo'lgan farmatsevtika fanlari va texnologiyasining bir bo'limidir. Farmatsevtika mahsulotlarini ishlab chiqish ko'plab o'zaro bog'liq soha mutaxassislari, masalan, tibbiy kimyo, analitik kimyo mutaxassislari, kliniklar/farmakologlar, farmatsevtlar, kimyo muhandislari, biotibbiyot muhandislari va boshqalarni o'z ichiga oladi. Ammo "farmatsevtika muhandisligi"ning maxsus yo'nalishi yaqinda alohida bir muhandislik sohasiga aylangan. Bu esa muammoni hal qilish tamoyillari va dori ishlab chiqish jarayonidagi muhandislikning miqdoriy yondashuvlarini boshqa ilmiy sohalar bilan uyg'unlashtirish imkonini beradi:

Klinika va biotibbiy muhandislik .

Hujayra va to'qima muhandisligi.

Biomateriallar va biomexanika.

Bioinformatika va hisoblash biologiyasi.

Genetik muhandislik va genomika.

Neyrologiya va reabilitatsiya muhandisligi.
Biotibbiy qurilmalar.
Tibbiy qurilmalar va tibbiy tasvirlash.
Biofarmatsevtika.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Chemical-and-polymer-engineering, conferences-list: omicsonline.org, Retrieved 24 March, 2019.
2. Ott, bevan j.; boerio-goates, juliana (2000). Chemical thermodynamics - principles and applications. Academic press. Isbn 0-12-530990-2.
3. R, kelly; health, jh bloomberg school of public. "food processing". Johns hopkins bloomberg school of public health. Retrieved 2019-03-18.
4. Ryu, d. D. Y.; nam, d.-h. (2000). "recent progress in biomolecular engineering". Biotechnol progress. 16 (1): 2-16. Doi:10.1021/jbpo88059d. Pmid 10662483.
5. Slabaugh, michael r. & seager, spencer I. (2007). Organic and biochemistry for today (6th ed.). Pacific grove: brooks cole. Isbn 978-0-495-11280-8.
6. Pharmaceutical-engineering, events-list: pharmaceuticalconferences. com, Retrieved 13 July, 2019

Kimyoviy kinetika

- Kimyoviy tenglama
- Kimyoviy reaksiyalar
- Massaharakati qonuni
- Kimyoviy muvozanat
- To'qnashuv nazariyasi

Kimyoviy kinetika – bu kimyoviy reaksiyalarning tezliklarini o'rganish bilan shug'ullanuvchi kimyo fanining bo'limidir. Uning ayrim muhim sohalariga to'qnashuv nazariyasi, kimyoviy tenglama, moddalar ta'siri qonuni va boshqalar kiradi. Ushbu bo'lim kimyoviy kinetikaning barcha jihatlarini batafsil tahlil qiladi.

Kimyoviy kinetika

Kimyoviy kinetika – bu kimyoning fizika bo'limi bo'lib, kimyoviy reaksiyalarning tezliklarini tushunish bilan shug'ullanadi. U termodinamikadan farq qiladi, chunki termodinamika jarayonning qanday yo'nalishda kechishini o'rganadi, ammo uning tezligi haqida hech qanday ma'lumot bermaydi. Termodinamika – vaqtning o'qiga o'xshaydi, kimyoviy kinetika esa vaqtning soatiga o'xshaydi. Kimyoviy kinetika kosmologiya, geologiya, biologiya, muhandislik va hatto psixologiya kabi ko'plab sohalariga aloqador bo'lib, keng qamrovli ahamiyatga ega. Kimyoviy kinetikaning tamoyillari nafaqat kimyoviy reaksiyalar, balki faqat fizika jarayonlariga ham tatbiq etiladi.

Kinetikaning muhim sabablaridan biri shundaki, u kimyoviy jarayonlarning mexanizmlariga dalil keltiradi. Ilmiy nuqtayi nazardan qiziqarli bo'lishdan tashqari, reaksiya mexanizmlarini bilish, reaksiyaning qanday qilib eng samarali tarzda yuz berishini aniqlashda amaliy ahamiyatga ega. Ko'plab tijorat jarayonlari alternativ reaksiyaviy yo'llar orqali amalga oshirilishi mumkin va mexanizmlar to'g'risidagi bilimlar, bir yo'lni boshqalarga nisbatan afzal ko'rish uchun reaksiya shartlarini tanlash imkonini beradi.

Kimyoviy reaksiya – bu kimyoviy moddalar boshqa moddalarga aylanish jarayoni bo'lib, bunda kimyoviy moddalar yo'qolib, yangilari hosil bo'ladi, natijada molekullardagi atomlarning nisbiy joylashuvi o'zgaradi. Shu bilan birga, kimyoviy bog'larni tashkil etadigan elektronlar tartibida ham o'zgarishlar yuz beradi. Shuning uchun reaksiya mexanizmini tasvirlash atomlar va elektronlarning harakati hamda tezliklarini o'rganishni talab qiladi. Kimyoviy jarayon qanday amalga

o'zlashini ko'rsatadigan batafsil mexanizm esa reaksiya yo'li yoki yo'nalishi deb ataladi.

Kimyoviy kinetika sohasida olib borilgan keng ko'lamli ishlar natijasida, ba'zi kimyoviy reaksiyalar bir qadamda sodir bo'lishi aniqlangan; bular birinchi darajali reaksiyalar deb ataladi. Boshqa reaksiyalar bir nechta qadamda sodir bo'lib, ular bosqichma-bosqich, kompleks yoki murakkab reaksiyalar deb nomlanadi. Kimyoviy reaksiyalarning tezligini turli sharoitlarda o'lchash, reaksiyaning bir yoki bir nechta qadamda ro'y berishini aniqlashga yordam beradi. Agar reaksiya bosqichma-bosqich bo'lsa, kinetik o'lchovlar har bir alohida bosqichning mexanizmi haqidagi dalillarni taqdim etadi. Reaksiya mexanizmlari haqida ma'lumotni ba'zi kinetik bo'lmagan tadqiqotlar ham taqdim etishi mumkin, ammo mexanizm haqida hech narsa bilish mumkin emas, agar uning kinetikasi tadqiq etilmagan bo'lsa. Hatto shunda ham, har doim reaksiya mexanizmi haqida biror shubha qo'llishi mumkin. Tadqiqot, kinetik yoki boshqa usulda bo'lishidan qat'i nazar, mexanizmi rad etishi mumkin, ammo uni mutlaqo ishonch bilan tasdiqlay olmaydi.

Kimyoviy tenglama

Kimyoviy tenglama kimyoviy muvozanatda bo'lgan tizimlar bilan shug'ullanadi. Birlashtiruvchi tamoyil shundaki, muvozanatdagi tizimning erkin energiyasi minimal bo'ladi, shuning uchun erkin energiya reaksiya koordinatasiga nisbatan o'zgarishi nolga teng bo'ladi. Ushbu tamoyilni muvozanatdagi aralashmalarga tatbiq qilish, muvozanat doimiysining ta'rifini beradi. Bu tamoyilning qo'llanilishi kislotali-asosli, mehmon-xost, metall-kompleks, eruvchanlik, taqsimlanish, xromatografiya va redoks muvozanatlari kabi sohalarni o'z ichiga oladi.

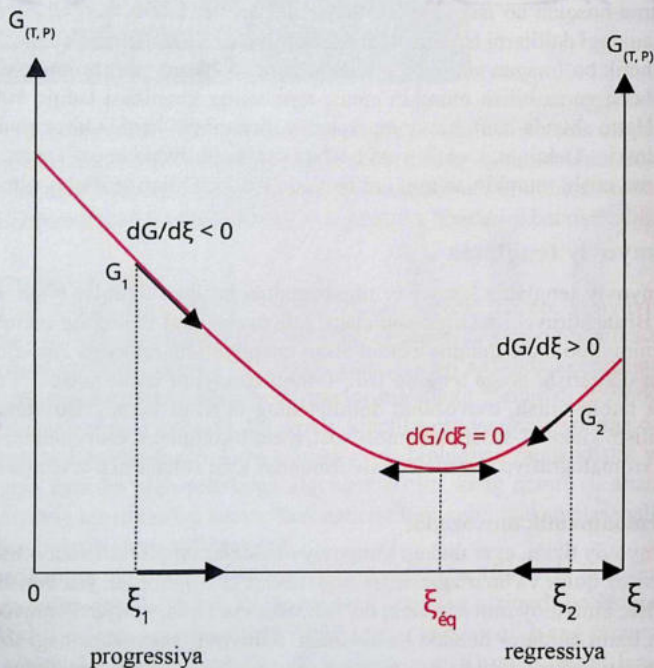
Termodinamik muvozanat

Kimyoviy tizim, agar undagi kimyoviy moddalar miqdorlari vaqt o'tishi bilan o'zgarishsiz qolsa va bu o'zgarishlar faqat tashqi ta'sirlar orqali yuz berishi mumkin bo'lsa, kimyoviy muvozanatda bo'ladi. Shu ma'noda, kimyoviy muvozanatda bo'lgan tizim barqaror holatda hisoblanadi. Kimyoviy muvozanatdagi tizim doimiy harorat, bosim (yoki hajm) va tarkibga ega bo'ladi. U atrof-muhitdan issiqlik almashinuvidan izolatsiya qilingan bo'lib, ya'ni yopiq tizimdir. Harorat, bosim (yoki hajm)ning o'zgarishi tashqi ta'sir hisoblanadi va bunday o'zgarish natijasida muvozanatdagi miqdorlar o'zgaradi. Agar tarkibning o'zgarishi mumkin bo'lsa, lekin o'zgarish tezligi juda sekin bo'lsa, tizim metastabil holatda bo'ladi. Kimyoviy muvozanatning tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

reaksiyaga kirishuvchilar $\rightleftharpoons$ mahsulotlar

Tenglama ($\rightleftharpoons$) belgilanishi "muvozanatda bo'lish" degan ma'noni anglatadi. Ushbu ta'rif makroskopik xususiyatlarga taalluqlidir. Atomlar va molekularlar da-

rajasida o'zgarishlar sodir bo'ladi, ammo ular juda kichik bo'lib, o'lchab bo'lmaydi va makroskopik miqdorlar o'zgarmasligi uchun ular balanslangan tarzda yuz beradi. Kimyoviy muvozanat – bu dinamik holat bo'lib, unda oldinga va orqaga boruvchi reaksiyalar shunday tezlikda davom etadiki, aralashmaning makroskopik tarkibi o'zgarmaydi. Shunday qilib, muvozanat belgilanishi reaksiyalarning ham oldinga $\rightarrow$ ham orqaga $\leftarrow$ yo'nalishlarda sodir bo'lishini ifodalaydi.



G diagrammasi $G_{(T, P)} = f(\xi)$

Boshqa tomondan, barqaror holat kimyoviy ma'noda muvozanat holati bo'lmamasligi mumkin. Masalan, radioaktiv parchalanish zanjirida o'rtacha izotoplarining konsentratsiyalari doimiy bo'ladi, chunki ishlab chiqarish tezligi parchalanish tezligi bilan teng. Bu kimyoviy muvozanat emas, chunki parchalanish jarayoni faqat bir yo'nalishda sodir bo'ladi.

Termodinamik muvozanat tizimning erkin energiyasining minimal qiymatiga ega bo'lishi bilan xarakterlanadi. Doimiy hajmdagi tizimlar uchun Germgoltz erkin energiyasi minimal bo'ladi, doimiy bosimdagi tizimlar uchun esa Gibbs erkin energiyasi minimal bo'ladi. Shunday qilib, metastabil holat – bu reagentlar va mahsulotlar o'rtasidagi erkin energiya o'zgarishi minimal bo'lmagan holat bo'lib, tarkib vaqt o'tishi bilan o'zgarishligi mumkin.

Ushbu minimumning mavjudligi, reagentlar va mahsulotlarning aralashishining erkin energiyasining har doim salbiy bo'lishiga bog'liqdir. Ideal eritmalarda aralashish entalpiyasi nolga teng bo'lib, minimum mavjudligi aralashish entropiyasi har doim ijobiy bo'lganligi tufayli ta'minlanadi.

Reaksiya erkin energiyasining o'sishining (δG) reaksiya koordinatasiga (ξ) nisbatan nishabligi nolga teng bo'ladi, chunki erkin energiya o'zining minimal qiymatiga erishgan bo'ladi.

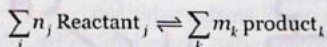
$$\delta G_r = \left(\frac{\partial G}{\partial \xi} \right)_{T,P} ; \delta G_r(Eq) = 0$$

Muvozanat doimiysi

Kimyoviy potensial – bu qisman molyar erkin energiya. Kimyoviy reaksiyada i -chi turdagi moddaning potentsiali μ_i – bu erkin energiyaning o'sha moddaning molyar miqdoriga N_i nisbatan qisman hosilasidir:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial N_i} \right)_{T,P}$$

Umumiy kimyoviy muvozanat quyidagicha yozilishi mumkin:



“ n ” – bu muvozanat tenglamasidagi reagentlarning stexiometrik koeffitsiyentlari va “ m ” – bu mahsulotlarning stexiometrik koeffitsiyentlari. Ushbu reaksiyalar uchun “ δG_r ” qiymati barcha moddalarning kimyoviy potentsiallariga bog'liq funksiyadir.

$$\delta G_r = \sum_k m_k \mu_k - \sum_j n_j \mu_j$$

μ_i chi turdagi moddaning kimyoviy potentsiali uning faolligi a_i orqali hisoblanishi mumkin.

$$\mu = \mu_i^\circ + RT \ln a_i$$

$\mu_i^\ominus$ – bu moddaning standart kimyoviy potentsiali, R – gaz doimiysi va T – harorat. Reagentlar uchun j yig'indini mahsulotlar uchun k yig'indi bilan tenglashtirib, shunday qilib, $\delta G_f(\text{Eq}) = 0$ bo'ladi.

$$\sum_j n_j (\mu_j^\ominus + RT \ln a_j) = \sum_k m_k (\mu_k^\ominus + RT \ln a_k)$$

Terminlarni qayta tartibga solgan holda:

$$\sum_k m_k \mu_k^\ominus - \sum_j n_j \mu_j^\ominus = -RT \left(\sum_k \ln a_k^{m_k} - \sum_j \ln a_j^{n_j} \right)$$

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K.$$

Bu, standart Gibbs erkin energiyasining o'zgarishini ($\Delta G^\ominus$) muvozanat doimiysi K bilan, ya'ni muvozanatdagi faollik qiymatlarining reaksiyasini bog'laydi.

$$\Delta G^\ominus = \sum_k m_k \mu_k^\ominus - \sum_j n_j \mu_j^\ominus$$

$$\ln K = \sum_k \ln a_k^{m_k} - \sum_j \ln a_j^{n_j}; \quad K = \frac{\prod_k a_k^{m_k}}{\prod_j a_j^{n_j}}$$

Erkin energiyaning o'zgarishi yoki muvozanat doimiysi bilan bog'liq. Amalda, konsentratsiyalar faollikdan ko'ra foydalidir. Faolliklar, agar faollik koeffitsiyentlari ma'lum bo'lsa, konsentratsiyalardan hisoblanishi mumkin, ammo bu holat kamdan kam uchraydi. Ba'zan faollik koeffitsiyentlari, masalan, Pitzer tenglamalari yoki maxsus ionlararo o'zaro ta'sir nazariyasi yordamida hisoblanishi mumkin. Aks holda, sharoitlar shunday moslashtirilishi kerakki, faollik koeffitsiyentlari ko'p o'zgarib turmasin. Ionli eritmalar uchun bu, muvozanatdagi moddalar konsentratsiyalariga nisbatan yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan asosiy ionli muhitdan foydalanish orqali amalga oshiriladi.

Agar faollik koeffitsiyentlari noma'lum bo'lsa, ular muvozanat doimiysiga qo'shilishi mumkin, shunda bu konsentratsiya natijasi bo'ladi. Har bir faollik a_i , konsentratsiya $[A_i]$ va faollik koeffitsiyenti γ_i ning ko'paytmasi deb qabul qilinadi.

$$\tilde{a}_i = [A_i] \gamma_i$$

Faollik uchun ushbu ifoda muvozanat doimiysini ta'riflovchi ifodaga joylashtiriladi.

$$K = \frac{\prod_k \tilde{a}_k^{m_k}}{\prod_j \tilde{a}_j^{n_j}} = \frac{\prod_k ([A_k] \gamma_k)^{m_k}}{\prod_j [A_j]^{n_j} \gamma_j^{n_j}} = \frac{\prod_k [A_k]^{m_k}}{\prod_j [A_j]^{n_j}} \times \frac{\prod_k \gamma_k^{m_k}}{\prod_j \gamma_j^{n_j}} = \frac{\prod_k [A_k]^{m_k}}{\prod_j [A_j]^{n_j}} \times \Gamma$$

Aktivlik koeffitsiyentlari nisbati Γ birga tenglashtirilganida, muvozanat doimiysi konsentratsiyalar nisbati sifatida aniqlanadi va quyidagicha yoziladi:

$$K = \frac{\prod_k [A_k]^{m_k}}{\prod_j [A_j]^{n_j}}$$

Umumiy muvozanatni aniqroq formulalarda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\alpha A + \beta B \dots = \sigma S + \tau T \dots$$

$$K = \frac{[S]^\sigma [T]^\tau \dots}{[A]^\alpha [B]^\beta \dots}$$

Ushbu ta'rif ancha amaliyroq, lekin konsentratsiyalar asosida ta'riflangan muvozanat doimiysi sharoitlarga bog'liqdir. Xususan, suvli eritmadagi turlar uchun muvozanat doimiylari ionik kuchlanishdan bog'liq, chunki faollik koeffitsiyentlari natijasi eritmaning ionik kuchlanishiga qarab o'zgaradi.

Standart erkin energiya o'zgarishi va muvozanat doimiysining qiymatlari haroratga bog'liqdir. Birinchi taxmin sifatida, vant goff tenglamasidan foydalanish mumkin.

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} \quad \text{or} \quad \frac{d \ln K}{d \frac{1}{T}} = -\frac{\Delta H^\circ}{R}$$

Bu, agar reaksiya ekzotermik bo'lsa (ya'ni standart entalpiya o'zgarishi ΔH° salbiy bo'lsa), unda K harorat oshishi bilan kamayishini, Le Shatlye prinsipiga muvofiq ko'rsatadi. Bu yerda kiritilgan taxmin shundan iboratki, standart entalpiya o'zgarishi ΔH° haroratga bog'liq emas, bu esa faqat kichik harorat oralig'ida yaxshi taxmin hisoblanadi. Termodinamik asoslar yordamida quyidagilarni ko'rsatish mumkin:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = C_p$$

Bu yerda: C – doimiy bosimdagi issiqlik sig'imi (heat capacity) hisoblanadi.

Gazlar bilan bog'liq muvozanatlar

Gazlar bilan ishlaganda, faollik o'rniga fugositet f ishlatiladi. Biroq, faollik o'lchov birliksiz bo'lsa, fugositet bosim o'lchov birliklariga ega. Natijada, kimyoviy potensial standart bosim p° orqali ta'riflanishi kerak.

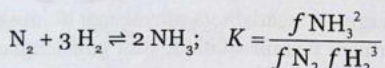
$$\mu = \mu^\circ + RT \ln \frac{f}{p}$$

An'anaga ko'ra, p° odatda 1 bar deb qabul qilinadi. Fugositet f qisman bosim p va fugositet koeffitsiyenti Φ ning ko'paytmasi sifatida ifodalanishi mumkin:

$$f = p\Phi$$

Fugositet³² koeffitsiyentlari o'lchov birliksiz bo'lib, ular ma'lum harorat va bosimda, ideal gaz xatti-harakatidan og'ishlarni o'lchash orqali tajriba yo'li bilan aniqlanishi mumkin. Muvozanat doimiylari fugositetlar orqali ta'riflanadi. Agar gazlar yetarlicha past bosimda bo'lib, ideal gaz kabi harakat qilsalar, muvozanat doimiysi qisman bosimlar natijasi sifatida ta'riflanishi mumkin.

Gaz fazasidagi muvozanatning bir misoli sifatida **Gaber-Bosh jarayoni** keltiriladi, bu jarayon ammiak sintezi uchun ishlatiladi. Bu jarayonda azot (N_2) va vodorod (H_2) gazlari yuqori harorat va bosim ostida ammiak (NH_3) gaziga aylantiriladi:



Ushbu reaksiya kuchli ekzotermik bo'lib, shuning uchun muvozanat doimiysi harorat oshgani sari kamayadi. Biroq, hozirgi kunda mavjud katalizatorlar bilan ma'qul reaksiya tezligini ta'minlash uchun taxminan 400 °C harorat talab etiladi. Ammiakning hosil bo'lishi yuqori bosim bilan ham qo'llab-quvvatlanadi, chunki reaksiya amalga oshganda hajm kamayadi. Xuddi shu reaksiya, azot fiksatsiyasi, tabiatda atrof-muhit haroratlari sodir bo'ladi, bunda katalizator sifatida azot kabi fermentlar ishtirok etadi. Umumiy reaksiya ekzotermik bo'lishiga qaramay, azot-azot uchli bo'g'ini sindirish uchun dastlab ko'p energiya talab qilinadi.

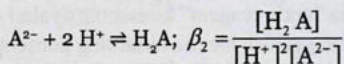
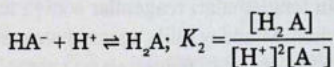
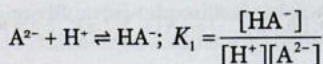
Gaz fazasidagi muvozanatlar yoqilish jarayonida sodir bo'ladi va ular 1943-yildan boshlab V2 raketa dvigatelini ishlab chiqish bilan bog'liq ravishda o'rganilgan.

Doimiy bosimdagi gaz muvozanatining tarkibini hisoblashda ko'pincha muvozanat doimiysidan ko'ra ΔG qiymatlari ishlatiladi.

Ko'p muvozanatlar

Ikki yoki undan ortiq muvozanat bir vaqtning o'zida mavjud bo'lishi mumkin. Bunday holatda, muvozanat doimiysini individual muvozanatlarga tegishli ravishda belgilash mumkin, ammo ular har doim yagona bo'lmaydi. Masalan, dibazik kislota H_2A uchun uchta muvozanat doimiysi ta'riflanishi mumkin.

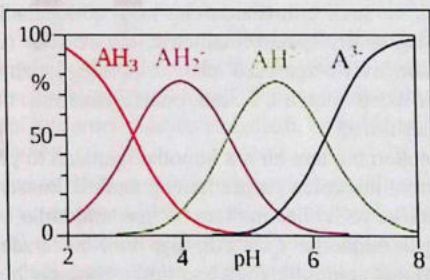
³² **Fugositet** – bu gazning ideal gazdan farqini hisobga olish uchun ishlatiladigan miqdor. U gazning kimyoviy potentsialini aniqlashda muhim bo'lib, gazning real xatti-harakatlarini tasvirlashda ishlatiladi. Fugositet koeffitsiyenti (p) gazning ideal holatdan chetlanishini ko'rsatadi.



Uchta doimiysi bir-biridan mustaqil emas va $\beta_2 = K_1 K_2$ ekanligini ko'rish oson. K_1 va K_2 doimiylari bosqichma-bosqich doimiylar bo'lib, β esa umumiy doimiy-siga bir misoldir.

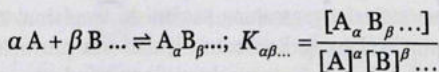
Turlanish

Turlanish – bu kimyoviy birikmalar yoki ionlarning turli shakllarining yoki turlarining farqlanishi va ularning o'zaro o'zgarishi jarayonini ifodalovchi atama.



Kritik kislota eritmasining pH ga bog'liq bo'lgan turlanish diagrammasi

Eritmadagi turlarning konsentratsiyalari odatda faoliyat koeffitsiyentlarining yoki ma'lum bo'lgan yoki e'tiborga olinmaydigan deb hisoblanishi asosida hisoblanadi. Bu holatda, ko'p tarmoqli muvozanatlarda kompleksning hosil bo'lishi uchun har bir muvozanat doimiyliqi quyidagi tarzda aniqlanishi mumkin:



A moddalarining konsentratsiyalari massaning saqlanishi sharti bilan cheklanadi, ya'ni umumiy (yoki analitik) konsentratsiya, ya'ni barcha moddalar konsentratsiyalarining yig'indisi doimiy bo'lishi kerak. Har bir reagent uchun quyidagi turdagi bitta massaning saqlanishi tenglamasi mavjud:

$$T_A = [A] + \sum [A_\alpha B_\beta \dots] = [A] + \sum (\alpha K_{\alpha\beta\dots} [A]^\alpha [B]^\beta \dots)$$

Massaning saqlanishi tenglamalari reagentlar soniga teng bo'ladi, ya'ni A, B va h.k. kabi reagentlar uchun. Shunday qilib, agar muvozanat doimiyligi ma'lum bo'lsa, n ta massaning saqlanishi tenglamalari va n ta noma'lum qiymatlar mavjud bo'ladi, ya'ni shu kunda "erkin reagent" konsentratsiyalari deb ataladi [A], [B] va h.k. Ushbu tenglamalarni yechish barcha turlarning konsentratsiyalarini hisoblash uchun zarur bo'lgan barcha ma'lumotlarni beradi.

Shunday qilib, muvozanat doimiyligining ahamiyati shundaki, bir marta ularning qiymatlari tajriba orqali aniqlangandan so'ng, ular tegishli turlarni o'z ichiga olgan aralashmalarning konsentratsiyalarini hisoblash uchun ishlatilishi mumkin.

Aniqlash

Eritma muvozanat doimiyligini aniqlash uchun beshta asosiy tajriba ma'lumotlari mavjud. Shisha elektrod yordamida olingan potenkiometrik ma'lumotlar eng keng tarqalgan va suvli eritmalarida eng ko'p qo'llaniladi. Boshqa turdagi ma'lumotlar quyidagilardir: spektrofotometrik, fluoressens (luminessens) o'lchovlari va NMR kimyoviy o'zgarish o'lchovlari; biologik tizimlarda 1:1 addukt-lar uchun K va ΔH ni bir vaqtda o'lchash, odatda izotermik titrlash kalorimetri yordamida amalga oshiriladi.

Tajriba ma'lumotlari ma'lum bir ma'lumotlar nuqtalari to'plamini tashkil etadi. I-turdagi ma'lumot nuqtasida reagentlarning analitik konsentratsiyalari, $T_{A(i)}$, $T_{B(i)}$ va boshqalar tajriba yo'li bilan ma'lum bo'lgan miqdorlar bo'ladi va bir yoki bir nechta o'lchangan miqdorlar y_i bo'ladi, ular biror-bir tarzda analitik konsentratsiyalar va muvozanat doimiyliglariga bog'liqdir. Umumiy hisoblash protsedu-rasi uchta asosiy komponentga ega.

1. Kimyoviy muvozanatning modelini aniqlash. Model reagentlarning ro'yxatini, A, B va h.k., hamda ularni tashkil etadigan komplekslarni, stexiomet-riyalari bilan birga o'z ichiga oladi. Barcha komplekslarning hosil bo'lishi uchun muvozanat doimiyliglarining ma'lum yoki taxminiy qiymatlari taqdim etilishi kerak.

2. Har bir eritmadagi barcha kimyoviy turlar konsentratsiyalarini hisob-lash. Erkin konsentratsiyalar massaning saqlanishi tenglamalarini yechish orqa-li hisoblanadi, komplekslarning konsentratsiyalari esa muvozanat doimiyliglarini ta'riflarini ishlatib hisoblanadi. So'ngra, kuzatilgan miqdorga mos keluvchi miq-dor, Nernst potentsiali yoki Ber-Lambert qonuni kabi fizika prinsiplari yordamida hisoblanadi, bu prinsiplarda hisoblangan miqdor turlarning konsentratsiyalariga bog'liq bo'ladi.

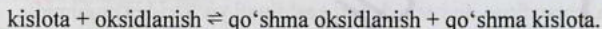
3. Muvozanat doimiyliklarini takomillashtirish. Odatda, nolinear eng kichik kvadratlar usuli qo'llaniladi. Kvadratlar yig'indisining vazifali summasi U minimallashtiriladi.

$$U = \sum_{i=np}^{i=1} w_i \left(y_i^{\text{observed}} - y_i^{\text{calculated}} \right)^2$$

Og'irliklar w_i va miqdorlar y vektorlar bo'lishi mumkin. Muvozanat doimiyliklarining qiymatlari iterativ tartib yordamida takomillashtiriladi.

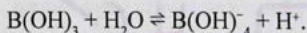
Kislota-oksidlanish muvozanatlari

Bryonsted va Louri kislota-oksidlanish muvozanatini proton almashinuvi reaksiyasi sifatida ta'rifladilar:

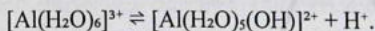


Kislota – bu proton beruvchi modda proton asosga, ya'ni proton qabul qiluvchi moddagacha o'tadi, natijada qo'shma kislota hosil bo'ladi. Agar HA kislota uchun suvda erigan holda asos suv bo'lsa, qo'shma oksidlanish A^- bo'ladi va qo'shma kislota esa erigan vodorod ionidir. Eritma kimyosida, odatda, H^+ suvda erigan vodorod ioni qisqartma sifatida ishlatiladi, bu holda erigan gidroniy ionini bildiradi.

Bryonsted-Louri ta'rifi boshqa erituvchilarga ham taalluqlidir, masalan, dimefil sulfoksidga: bu yerda erituvchi S asos sifatida protonni qabul qilib, SH^+ qo'shma kislotasini hosil qiladi. Kislota dissotsiatsiyasining kengaytirilgan ta'rifi gidrolizni o'z ichiga oladi, bunda suv molekularining parchalanishi natijasida protonlar hosil bo'ladi. Misol uchun, bor kislotasi, $B(OH)_3$, proton beruvchi modda bo'lmasa ham, gidroliz muvozanati sababli zaif kislota sifatida faoliyat yuritadi.



Shuningdek, metall ionlarining gidrolizi $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ kabi ionlarni zaif kislotalar sifatida ishga soladi:

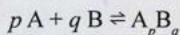


Kislota-oksidlanish muvozanatlari juda keng qamrovli ilovalarga ega, masalan, kislota-oksidlanish gomeostazi, okean kislotalanishi, farmakologiya va analitik kimyo.

Xo'jayin-mehmon muvozanatlari

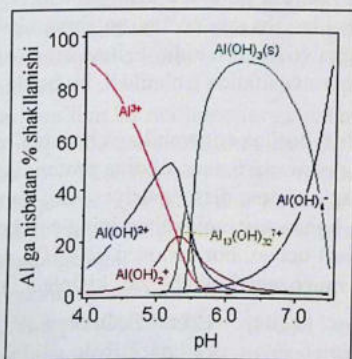
Xo'jayin-mehmon kompleksi, shuningdek, donor-akseptor kompleksi deb ataladi, lyuislilik asosiga ega bo'lgan B (donor) va lyuislilik kislota A (akseptor)

o'rtasida tashkil topishi mumkin. Host ham donor, ham akseptor bo'lishi mumkin. Biokimyoviy jihatdan, xo'jayin-mehmon komplekslari retseptor-ligand komplekslari sifatida tanilgan bo'lib, ular asosan no-kovalent bog'lanishlar orqali hosil bo'ladi. Ko'plab xo'jayin-mehmon komplekslarining 1:1 stexiometriyasi bo'lsa-da, boshqalarining murakkab tuzilmalari mavjud. Umumiy muvozanat quyidagicha yozilishi mumkin:



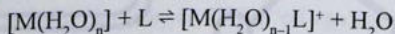
Ushbu komplekslarning o'rganilishi supramolekulyar kimyo va molekulyar tanishish uchun muhimdir. Bu tadqiqotlarning maqsadi ko'pincha ma'lum bir maqsad molekula yoki ioniga, ya'ni mehmon yoki ligandga nisbatan xo'jayin (retseptor)ning yuqori bog'lanish tanlovchanligini topishdir. Bir qo'llanishi kimyoviy sensorlarni ishlab chiqishdir. Retseptorni blokirovka qiladigan, ya'ni antagonist sifatida kuchli kompleks hosil qiladigan yoki uni faollashtiradigan, ya'ni agonist sifatida ishlaydigan dori topish dori kashfiyoti yo'llaridan muhimidir.

Metall komplekslari

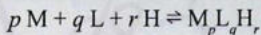


Aluminiyning suvdagi pH ga bog'liq bo'lgan turlanish diagrammasi. Bir qator gidrokso-komplekslar, shu jumladan aluminiy gidroksidi $Al(OH)_3(s)$, pH ~6.5 da erimaydigan moddalar hosil bo'ladi.

Metall ion M va ligand L o'rtasidagi kompleks hosil bo'lishi, aslida odatda almashtirish reaksiyasidir. Masalan, suvli eritmalarda, metall ionlari akvo-ionlari sifatida mavjud bo'ladi, shuning uchun birinchi kompleks hosil bo'lishi uchun reaksiya quyidagicha yozilishi mumkin:



Biroq, suv juda ko'p miqdorda mavjud bo'lgani uchun, suvning konsentratsiyasi odatda doimiy deb olinadi va muvozanat tenglamalaridan chiqarib tashlanadi. Ko'pincha, metall va ligand protonlar uchun raqobatlashadi. Quyidagi muvozanat uchun:



Barqarorlik konstantasi quyidagicha ta'riflanishi mumkin:

$$\beta_{pqr} = \frac{[M_p L_q H_r]}{[M]^p [L]^q [H]^r}$$

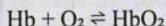
Ta'rifni har qanday reagentlar soniga kengaytirish oson. Bu gidroksid komplekslarini ham o'z ichiga oladi, chunki gidroksid ionlarining konsentratsiyasi vodorod ionlarining konsentratsiyasi bilan bog'liq bo'lib, bu suvning o'z-o'zini ionlashishi orqali amalga oshadi.

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

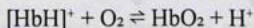
Stabilitet konstantalari bu tarzda belgilangan bo'lsa, ular assotsiatsiya konstantalari hisoblanadi. Bu ba'zi chalkashliklarga olib kelishi mumkin, chunki pK_a qiymatlari dissotsiatsiya konstantalaridir. Umumiy maqsadli kompyuter dasturlarida barcha konstantalarni assotsiatsiya konstantalari sifatida belgilash odat tusiga kirgan. Ikkala turdagi konstantalar o'rtasidagi bog'lanish assotsiatsiya va dissotsiatsiya konstantalarida keltirilgan.

Biokimyoda kislorod molekulasini temir(II) atomiga bog'lanishi mumkin, bu esa gemoglobinning gem prostetik guruhida sodir bo'ladi.

Muvozanat odatda quyidagicha yoziladi, bu yerda gemoglobin Hb bilan ifodalanadi:



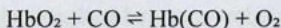
lekin bu ta'rif to'liq emas, chunki Bohr effekti muvozanat konsentratsiyalarining pH ga bog'liqligini ko'rsatadi. Yaxshiroq ta'rif quyidagicha bo'ladi:



bu esa vodorod ioni konsentratsiyasi oshganda, muvozanat chapga siljishini Le Shatlye prinsipiga muvofiq ko'rsatadi. Vodorod ioni konsentratsiyasi karbonat angidridning mavjudligi orqali oshishi mumkin, bu esa zaif kislota sifatida harakat qiladi.



Temir atomi boshqa molekullarga ham bog'lanishi mumkin, masalan, karbonat angidridga. Chekish tutunida biroz karbonat angidrid bor, shuning uchun quyidagi muvozanat qon tomirida chekuvchilar organizmida yuzaga keladi:

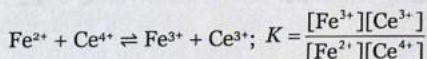


Chelatlash terapiyasi ma'lum bir metallni inson tanasidan olib tashlash uchun yuqori bog'lanish selektivligiga ega ligandlardan foydalanish prinsipiga asoslandi. Poliaminokarboksiklik kislotalar bilan komplekslar keng doirada qo'llaniladi. Ayniqsa, EDTA keng qo'llaniladi.

Redoks muvozanatlari

Reduksiya-oksid (redoks) muvozanati har qanday boshqa kimyoviy muvozanat kabi boshqarilishi mumkin.

Masalan,



Biroq, redoks reaksiyalari holatida, umumiy reaksiyani ikkita yarim-reaksiyaga bo'lish qulay. Ushbu misolda:



Standart erkin energiya o'zgarishi, bu esa muvozanat konstantasi bilan quyidagi formula orqali bog'langan:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

ikki komponentga bo'linishi mumkin.

$$\Delta G^\circ = \Delta G_{\text{Fe}}^\circ + \Delta G_{\text{Ce}}^\circ$$

Erkin elektronlarning konsentratsiyasi deyarli nolga teng, chunki elektronlar to'g'ridan to'g'ri reduktantdan oksidantga o'tkaziladi. Har bir yarimreaksiya uchun standart elektrod potentsiali, E° , standart erkin energiya o'zgarishi bilan quyidagi tarzda bog'langan:

$$\Delta G_{\text{Fe}}^\circ = -nFE_{\text{Fe}}^\circ; \Delta G_{\text{Ce}}^\circ = -nFE_{\text{Ce}}^\circ$$

Bu yerda: n – o'tkazilgan elektronlar soni, F esa Faraday doimiysi. Endi, haqiqiy reaksiya uchun erkin energiya quyidagicha berilgan:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

Bu yerda: R – gaz doimiysi va Q – reaksiya koeffitsiyenti. Aniqrog'i, Q faoliyatlar nisbati bo'lib, lekin odatda amaliyotda faoliyatlar o'rniga konsentratsiyalar ishlatiladi. Shunday qilib:

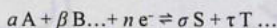
$$E_{\text{Fe}} = E_{\text{Fe}}^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

Har qanday yarim reaksiyalar uchun, haqiqiy aralashmaning redoks potentsiali umumiy ifoda bilan beriladi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{oksidlangan turlar}]}{[\text{qisqartirilgan turlar}]}$$

Bu, Nernst tenglamasining bir misolidir. Potensial, kamayish potentsiali sifatida tanilgan. Standart elektrod potentsiallari qiymatlar jadvalida mavjud. Ushbu qiymatlarni ishlatib, redoks juftligi uchun haqiqiy elektrod potentsialini konsentratsiyalar nisbatiga bog'liq ravishda hisoblash mumkin.

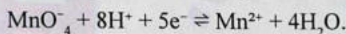
Umumiy redoks yarimreaksiya uchun muvozanat potentsiali:



Umumiy redoks yarimreaksiyasi uchun muvozanat potentsiali quyidagicha beriladi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{\{S\}^\sigma \{T\}^\tau \dots}{\{A\}^\alpha \{B\}^\beta \dots}$$

Ushbu ifodani qo'llash, yarimreaksiyada vodorod ioni kabi redoks reaksiyasida ishtirok etmagan bir turlarning ta'sirini hisobga olish imkonini beradi, masalan:



To'liq redoks reaksiyasining muvozanat doimiysi, uning tarkibiy yarimreaksiyalarining standart redoks potentsiallari yordamida hisoblanishi mumkin. Muvozanat holatida, ikki yarim reaksiyaning potentsiali bir-biriga teng bo'lishi kerak va albatta, ikkala yarim reaksiyada almashilgan elektronlar soni bir xil bo'lishi zarur.

Redoks muvozanatlari elektron transport zanjirida muhim rol o'ynaydi. Zanjirdagi turli sitoxromlar har biri ma'lum bir redoks reaksiyaga moslashtirilgan turli standart redoks potentsiallariga ega. Bu, masalan, atmosferadagi kislorodning fotosintezda kamaytirilishiga imkon beradi. Sitoxromlar oilasining alohida bir turi bo'lgan sitoxrom P450 oksidazalari, steroidogenez va detoksifikatsiyada ishtirok etadi.

Eruvchanlik

Agar bir modda erituvchida to'yingan eritma hosil etsa, solutning konsentratsiyasi, ma'lum bir haroratda, shu haroratdagi muvozanat doimiysi tomonidan belgilanadi.

$$\ln K = -RT \ln \left(\frac{\sum_k a_k^{m_k} (\text{eritma})}{a(\text{mustahkam})} \right)$$

Yong'ir holatidagi sof moddalar faolligi, ta'rifga ko'ra, birga teng bo'ladi, shuning uchun ifoda soddalashadi:

$$\ln K = -RT \ln \left(\sum_k a_k^{m_k} (\text{eritma}) \right)$$

Agar erituvchi dissotsiatsiyanmasa, summatsiya bitta termin bilan almash-tiriladi, lekin agar dissotsiatsiya yuz beradigan bo'lsa, masalan, ionli moddalar bilan:

$$K_{SP} = \prod_k a_k^{m_k}$$

Masalan, Na_2SO_4 uchun $m_1 = 2$ va $m_2 = 1$ bo'lsa, eruvchanlik mahsuli quyida-gicha yoziladi:

$$K_{SP} = [\text{Na}^+][\text{SO}_4^{2-}]$$

Konsentratsiyalar, [...], faoliyat o'rniga ishlatiladi, lekin faoliyat boshqa bir tuzning mavjudligini hisobga olishi kerak, unda umumiy ionlar yo'q, bu holat "tuz effekti" deb ataladi. Agar boshqa bir tuz mavjud bo'lsa va unda umumiy ion bo'lsa, "umumiy-ion effekti" ro'yobga chiqadi, bu esa asosiy eruvchining eruvchanligini kamaytiradi.

Ajralish

Agar bir moddadan iborat eritma birinchi erituvchi bilan ikkinchi erituvchi bilan muvozanatga keltirilsa, u holda eritilgan modda ikki erituvchi o'rtasida bo'lishi mumkin. Ikki erituvchidagi konsentratsiyalar nisbati ajralish koeffitsiyenti yoki taqsimlanish koeffitsiyenti deb ataladi. Ajralish koeffitsiyenti erituvchi moddalar konsentratsiyalarining ikki fazadagi nisbati sifatida aniqlanadi. An'anaga ko'ra, bu qiymat logarifmik shaklda beriladi.

$$\log p = \log \frac{[\text{eritma}]_{\text{organik faza}}}{[\text{eritma}]_{\text{suv fazasi}}}$$

Ajralish koeffitsiyenti belgilangan temperatura va agar qo'llanilsa, suvli fazaning pH qiymatida aniqlanadi. Ajralish koeffitsiyentlari farmakologiyada juda muhim, chunki ular bir moddani qon (suvli eritma)dan hujayra devori orqali o'tish darajasini aniqlaydi, bu esa organik erituvchi kabi ishlaydi. Odatda, ular suv va oktanolni ikki erituvchi sifatida ishlatib o'lchanadi. Ko'plab farmatsevtik birikma-

lar zaif kislotalar yoki zaif asoslar hisoblanadi. Bunday birikma pH va kislota disotsiatsiya konstantasiga qarab turli darajadagi protonlanish bilan mavjud bo'lishi mumkin. Organik fazada past dielektrik doimiysi bo'lganligi sababli, elektr zaryadsiz turlar eng ehtimoliy ravishda suvli fazadan organik fazaga o'tadi. Hatto pH 7–7.2 bo'lgan biologik pH diapazonida, suvli faza ko'plab protonlangan shakllar o'rtasida muvozanatni qo'llab-quvvatlashi mumkin. Log p moddaning suvli fazadagi analitik konsentratsiyasidan aniqlanadi, ya'ni muvozanatdagi turlar konsentratsiyasining yig'indisi.

Organik MTBE eritmasi suvli natriy bikarbonat eritmasi bilan ekstraksiyalanadi. Ushbu asos benzoik kislota benzoat sifatida olib tashlanadi, lekin non-kislotali benzil (sariq) yuqoridagi organik fazada qoladi. Solvent ekstraksiyasi ajratish va tozalash jarayonlarida keng qo'llaniladi. Eng sodda shaklida, reaksiya organik erituvchida amalga oshiriladi va istalmagan yon mahsulotlar suvga ma'lum bir pHda ekstraksiyalanib olib tashlanadi.

Bir metall ion, agar tuz organik fazada erimasa, suvli fazadan organik fazaga ekstraksiyalanishi mumkin, bunda ligand qo'shiladi. Ligand, L^- , metall ion, M^{b+} , bilan kompleks hosil qiladi, $[ML_x]^{(b-ax)+}$, bu kompleksning tashqi yuzasi juda gidrofob bo'ladi. Agar kompleks elektr zaryadsiz bo'lsa, u organik fazaga nisbatan osonlik bilan ekstraksiyalanadi. Agar kompleks zaryadlangan bo'lsa, u ion jufti sifatida ekstraksiyalanadi. Qo'shimcha ligand har doim zarur emas. Masalan, uranil nitrat, $UO_2(NO_3)_2$, dietil efirda eriydi, chunki erituvchi o'zi ligand sifatida harakat qiladi. Ushbu xususiyat o'tmishda uranni boshqa metallarni ajratish uchun ishlatilgan, chunki ularning tuzlari efirda erimaydi.

Hozirgi vaqtda kerosinga ekstraksiya afzalroq bo'lib, tri-*n*-butil fosfat (TBP) kabi ligandlar ishlatiladi. PUREX jarayonida, bu yadroviy qayta ishlashda keng qo'llaniladi, uran(VI) kuchli azot kislotasidan elektr zaryadsiz kompleks sifatida $[UO_2(TBP)_2(NO_3)_2]$ ekstraksiyalanadi. Kuchli azot kislotasi nitrat ionlarining yuqori konsentratsiyasini ta'minlaydi, bu esa muvozanatni zaif nitrato kompleksining foydasiga suradi. Uran orqa ekstraksiya (stripping) orqali zaif azot kislotasiga qaytariladi. Plutoniy (IV) shunga o'xshash kompleks hosil qiladi, $[PuO_2(TBP)_2(NO_3)_2]$ va ushbu kompleksdagi plutoniy urandan ajratib olish uchun reduksiya qilinishi mumkin.

Solvent ekstraksiyasining yana bir muhim qo'llanilishi – lantanoidlarni ajratishdir. Bu jarayon ham TBP (tributylfosfat)ni ishlatadi va komplekslar kerosinga ekstraksiyalanadi. Ajratish, TBP kompleksining hosil bo'lishi uchun barqarorlik doimiysining lantanoid ionining o'lchami kichraygan sari ortishi sababli amalga oshiriladi.

Ion-juft ekstraksiyasining bir misoli – kaliy permanganat, $KMnO_4$ ning organik erituvchida oksidlanishini ta'minlash uchun ligand ishlatilishi. $KMnO_4$ organik erituvchilarda erimaydi. Agar $KMnO_4$ ning suvli eritmasiga, masalan, kraun-efir kabi ligandin qo'shilsa, bu kaliy kationi bilan gidrofobik kompleks hosil qiladi, bu

esa zararsiz ion juft $[KL]^+[MnO_4]^-$ ni organik erituvchiga ekstraksiyalashga imkon beradi. Ko'proq murakkab taqsimlash muammolari (ya'ni 3 yoki undan ortiq fazalar mavjud bo'lganda) ba'zan fugatsiya quvvatidan foydalanib hal qilinishi mumkin.

Xromatografiya

Xromatografiyada moddalar statsionar faza va mobil faza o'rtasidagi bo'linish orqali ajratiladi. Analizat mobil fazada eriydi va statsionar faza ustidan o'tadi. Ajratish, analizatlarning statsionar fazaga nisbatan turli darajadagi o'xshashliklari tufayli sodir bo'ladi. Taqsimot doimiysi (K_d) quyidagicha ta'riflanishi mumkin:

$$K_d = \frac{a_s}{a_m}$$

Bu yerda: a_s va a_m – statsionar va mobil fazalardagi muvozanatdagi faoliyatlar. Shuningdek, ko'rsatilishicha, migratsiya tezligi v taqsimot doimiysi bilan quyidagicha bog'liq bo'ladi:

$$\bar{v} \propto \frac{1}{1 + fK_d}.$$

f – bu ikkala fazaning hajmlariga bog'liq bo'lgan omil. Shunday qilib, agar erituvchi moddaning statsionar fazaga nisbatan o'xshashligi yuqori bo'lsa, migratsiya tezligi sekinlashadi.

Xromatografiya usullarining keng doirasi mavjud bo'lib, ular statsionar va mobil fazalarning tabiatiga bog'liq. Agar statsionar faza qattiq modda bo'lsa, analizat uning bilan kompleks hosil qilishi mumkin. Suvni yumshatish qurilmasi sulfonat ion almashinuvi rezinasi bilan tanlab kompleks hosil qilish orqali ishlaydi. Natriy ionlari rezina bilan nisbatan zaif komplekslar hosil qiladi. Qattiq suv rezina orqali o'tkazilganda, magniy va kalsiyning ikki valentli ionlari natriy ionlarini o'rnini bosib, rezinada saqlanadi.



Ustundan chiqqan suv nisbatan natriy ionlariga boy va kalsiy hamda magniyga qashshoqlashgan bo'lib, ular ustunda saqlanadi. Ustun, natriy xloridining kuchli eritmasi orqali regeneratsiya qilinadi, shunda rezina-natriy kompleksi yana

ustunda hosil bo'ladi. Ion almashish xromatografiyasi chelex 100 kabi rezinadan foydalanadi, bunda iminodiasetat qoldiqlari, polimer orqa bazaga birikkan holda, turli metall ionlari bilan turli kuchda xelat komplekslarini hosil qiladi, bu esa Cu^{2+} va Ni^{2+} kabi ionlarni xromatografik tarzda ajratishga imkon beradi.

Kompleks hosil bo'lishining boshqa bir misoli, xiral xromatografiyada kuzatiladi, bu esa enantiomerlarni bir-biridan ajratish uchun ishlatiladi. Statsionar faza o'zi xiral bo'lib, enantiomerlar bilan tanlab komplekslar hosil qiladi. Boshqa xromatografiya turlarida, masalan, ingichka qatlamli xromatografiyada, analizat tanlab, qattiq moddaga adsorbsiya qilinadi.

Gaz-suyuq xromatografiyasida (GLC) statsionar faza sifatida polidimetilsiloksan kabi suyuqlik ishlatiladi va bu suyuqlik shisha trubkaga qoplangan bo'ladi. Ajratish, gazdagi turli komponentlarning statsionar fazadagi eruvchanligi farqlanishi tufayli amalga oshadi. GLC, gaz aralashmasidagi yuzlab komponentlarni ajratish uchun ishlatilishi mumkin, masalan, sigaret tutuni yoki lavanda yog'i kabi efir moylari.

Kimyoviy reaksiyalar

Kimyoviy reaksiya – bu kimyoviy moddalar to'plamining birinchi holatdan ikkinchi holatga o'zgarishiga olib keladigan jarayon. Klassik tarzda, kimyoviy reaksiyalar faqat elektronlarning atomlar orasidagi kimyoviy bog'larning shakllanishi va buzilishidagi pozitsiyalarini o'zgarishini o'z ichiga oladi, lekin yadroda (ya'ni mavjud elementlarda) o'zgarish bo'lmaydi va ko'pincha kimyoviy tenglama orqali tasvirlanishi mumkin. Yadro kimyosi – bu beqaror va radioaktiv elementlarning kimyoviy reaksiyalarini o'rganuvchi kimyo fanining bir bo'limi bo'lib, unda elektron va yadro o'zgarishlari bir vaqtning o'zida sodir bo'lishi mumkin.

Kimyoviy reaksiyaga dastlab ishtirok etuvchi moddalar **reagentlar** yoki **reagentlar** deb ataladi. Kimyoviy reaksiyalar odatda kimyoviy o'zgarishlar bilan tavsiflanadi va ular bir yoki bir nechta mahsulotlar hosil qiladi, bu mahsulotlar odatda reagentlardan farq qiladigan xususiyatlarga ega bo'ladi. Reaksiyalar ko'pincha bir qator alohida kichik bosqichlardan iborat bo'ladi, ya'ni **elementar reaksiyalar**dan va harakatning aniq yo'nalishi haqidagi ma'lumotlar reaksiyaning mexanizmi bo'lib xizmat qiladi.

Kimyoviy reaksiyalar kimyoviy tenglamalar yordamida tasvirlanadi, ular boshlang'ich materiallarni, oxirgi mahsulotlarni, ba'zida oraliq mahsulotlarni va reaksiya shartlarini ramziy ravishda taqdim etadi.

Kimyoviy reaksiyalar belgilangan harorat va kimyoviy konsentratsiyada xos reaksiya tezligi bilan sodir bo'ladi. Odatda, harorat oshishi bilan reaksiya tezligi ortadi, chunki atomlar orasidagi bog'larni buzish uchun zarur bo'lgan aktivatsiya energiyasiga yetishish uchun ko'proq termal energiya mavjud bo'ladi.



Temir(III) oksididan foydalangan holda termit reaksiyasi. Chaqmoqlar tashqariga uchayotgan qoldiqlar – eritilgan temir globulalari bo'lib, ular ortidan tutun izlari qoladi.

Kimyoviy reaksiyalar o'z yo'nalishida oldinga yoki orqaga qarab davom etadi va ularning natijasi yakuniy mahsulotga olib kelishi yoki muvozanat holatiga yetishi mumkin. Oldinga qarab muvozanatga yaqinlashuvchi reaksiyalar ko'pincha o'z-o'zidan amalga oshuvchi (spontan) deb ataladi, chunki ular davom etishi uchun qo'shimcha erkin energiya talab qilinmaydi. Aksincha, o'z-o'zidan amalga oshmaydigan (non-spontan) reaksiyalar oldinga qarab davom etishi uchun erkin energiya talab qiladi. Masalan, tashqi elektr quvvat manbai orqali akkumulatorni zaryadlash yoki quyosh nuridagi elektromagnit nurlanishni yutish orqali amalga oshadigan fotosintez bunga misol bo'la oladi.

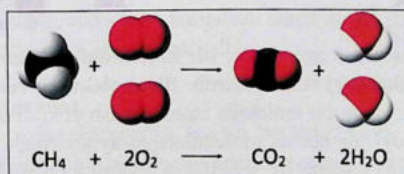
Kimyoviy sintez jarayonida kerakli mahsulotni olish uchun turli kimyoviy reaksiyalar kombinatsiyasidan foydalaniladi. Biokimyoda esa ketma-ket kimyoviy reaksiyalar seriyasi (bir reaksiyaning mahsuloti keyingi reaksiyaning reagentiga aylanadigan jarayon) metabolik yo'llarni hosil qiladi. Ushbu reaksiyalar ko'pincha oqsil fermentlar tomonidan katalizlanadi. Fermentlar biokimyoviy reaksiyalarning tezligini oshiradi va natijada odatdagi sharoitlarda imkonsiz bo'lgan metabolik sintez va parchalanish jarayonlari hujayra ichidagi harorat va konsentratsiyalarda amalga oshishi mumkin bo'ladi.

Kimyoviy reaksiyalar tushunchasi atomdan kichikroq birliklar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni ham qamrab oladi, jumladan, yadroviy reaksiyalar, radioaktiv parchalanishlar va kvant maydon nazariyasi orqali tushuntiriladigan elementar zarrachalar o'rtasidagi reaksiyalar.

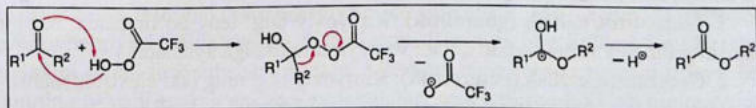
Kimyoviy tenglamalar kimyoviy reaksiyalarni grafik tarzda ko'rsatish uchun ishlatiladi. Bunda reagentlarning kimyoviy yoki struktura formulalari tenglamaning chap tomoniga, mahsulotlarning esa o'ng tomoniga yoziladi. Ular orasida reaksiyaning yo'nalishi va turini ifodalovchi o'q ($\rightarrow$) belgisi bo'ladi, o'q "hosil qiladi" deb o'qiladi. O'qning uchi reaksiyaning qanday yo'nalishda borishini ko'rsatadi. Ikkitomonlama o'q belgisidan ($\rightleftharpoons$) muvozanat reaksiyalari uchun foydalaniladi. Tenglamalar stexiometriyaga muvofiq balanslangan bo'lishi kerak, ya'ni tenglamaning har ikki tomonida ham har bir atom turi soni bir xil bo'lishi lozim. Bunga ishtirok etuvchi molekular (masalan, A, B, C va D) sonini mos koeffitsiyentlar (a, b, c, d) bilan ko'paytirish orqali erishiladi.



Murakkabroq reaksiyalarni ifodalash uchun reaksiyalar sxemalari qo'llaniladi. Bu sxemalar boshlang'ich materiallar va mahsulotlar bilan bir qatorda muhim oraliq bosqichlarni yoki o'tish holatlarini ham ko'rsatadi. Bundan tashqari, reaksiyaga nisbatan kichik, ammo ahamiyatli qo'shimchalar reaksiya o'qining yuqorisida belgilanishi mumkin, bunday qo'shimchalarga suv, issiqlik, yorug'lik, katalizator va boshqa shunga o'xshash modda yoki sharoitlar misol bo'la oladi. Xuddi shunday, ba'zi kichik mahsulotlar o'qning pastki qismida, ko'pincha minus belgisi bilan ko'rsatiladi.



Quyidagi tenglamadan ko'rinib turibdiki: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, massa saqlanish qonuniga muvofiq, reaksiya davomida har bir elementning miqdori o'zgarmasligi uchun kislorod gazining reagentlar tomonida va suvning mahsulotlar tomonida oldiga koeffitsiyent sifatida 2 qo'yilish kerak.



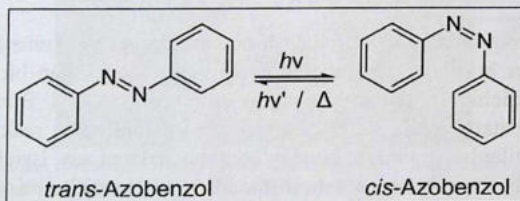
Organik reaksiyaga misol: ketonlarning peroksikarboksilli kislota bilan efirlar hosil bo'lishi

Murakkab sintez reaksiyasini loyihalash uchun retrosintetik tahlil qo'llanilishi mumkin. Ushbu tahlil mahsulotlardan boshlanadi, masalan, tanlangan kimyoviy bog'larni uzish orqali, ehtimoliy boshlang'ich reagentlarga kelib chiqadi. Retro reaksiyalarda maxsus o'q belgisi ($\Rightarrow$) qo'llaniladi.

Elementar reaksiyalar

Elementar reaksiya kimyoviy reaksiyani eng kichik qismlarga bo'lish natijasi-da hosil bo'lgan qismdir, unda oraliq mahsulotlar mavjud emas. Ko'pchilik eksperimental kuzatilgan reaksiyalar bir nechta parallel yoki ketma-ket sodir bo'ladigan elementar reaksiyalardan tashkil topadi. Ushbu individual elementar reaksiyalar ketma-ketligi reaksiya mexanizmi deb nomlanadi.

Elementar reaksiya bir nechta molekular, odatda bitta yoki ikkita molekular ishtirokida amalga oshadi, chunki bir vaqtning o'zida bir nechta molekularning uchrashish ehtimoli juda past bo'ladi.



Azobenzolning izomerizatsiyasi, yorug'lik ($h\nu$) yoki
issiqlik (Δ) tomonidan induksiyalangan.

Eng muhim elementar reaksiyalar **bir molekulari (unimolekulyar)** va **ikki molekulari (bimolekulyar)** reaksiyalardir. **Bir molekulari reaksiyada** faqat bit-ta molekula ishtirok etadi; bu molekula izomerlanish yoki dissotsiatsiya jarayoni orqali boshqa bir yoki bir nechta molekularlarga aylantiriladi. Bunday reaksiya-lar odatda issiqlik yoki yorug'lik shaklidagi energiya qo'shilishini talab qiladi. **sis-trans izomerlanish** bunga tipik misol bo'lib, unda birikmaning sis-formasi trans-formaga yoki aksincha aylantiriladi.

Dissotsiatsiya reaksiyasi odatda molekuladagi bir bog'ning uzilishi (parcha-lanishi) bilan sodir bo'ladi, natijada ikki bimolekulyar fragment hosil bo'ladi. Ush-bu uzilish ikki turda bo'lishi mumkin:

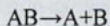
1. **Gomolitik uzilish (gomolitik):** Kimyoviy bog' teng bo'linganda, har bir mahsulot bir elektronni saqlab qoladi va neytral radikalga aylanadi.

2. **Geterolitik uzilish (geterolitik):** Kimyoviy bog'ning ikki elektroni mahsu-lotlardan birida qoladi, natijada zaryadlangan ionlar hosil bo'ladi.

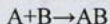
Dissotsiatsiya zanjir reaksiyalarini, masalan, vodorod-kislorod yoki polimeri-zatsiya reaksiyalarini qo'zg'atishda muhim rol o'ynaydi.



Molekulaning AB bo'laklarga, ya'ni A va B ga dissotsiatsiyasi:

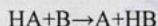


Ikki molekulali reaksiyalar (bimolekulyar reaksiyalar) esa ikki molekula-ning to'qnashuvi va o'zaro reaksiyaga kirishishi orqali amalga oshadi. Ularning birlashishi kimyoviy sintez yoki qo'shilish reaksiyasi deb ataladi:



Bundan tashqari, bir molekulaning faqat bir qismi boshqa molekulaga o'tishi mumkin. Bu turdagi reaksiyalar, masalan, **qaytarilish-oksizlanish (redoks)** va **kislota-asos reaksiyalarida** sodir bo'ladi.

- **Redoks reaksiyalarida** uzatiladigan zarracha elektron hisoblanadi.
- **Kislota-asos reaksiyalarida** esa proton uzatiladi. Ushbu turdagi reaksiyalar **metatezis** (almashinuv) deb ham ataladi:



Masalan:



Bu misolda, ionlar almashinuvi natijasida natriy nitrat ($NaNO_3$) va cho'kma sifatida kumush xlorid ($AgCl$) hosil bo'ladi.

Kimyoviy muvozanat

Ko'pgina kimyoviy reaksiyalar teskari bo'lishi, ya'ni ikkala yo'nalishda ham amalga oshishi mumkin. Oldinga va teskari reaksiyalar bir-biri bilan raqobatlashadi va reaksiya tezliklarida farq mavjud. Bu tezliklar konsentratsiyaga bog'liq bo'lib, shu sababli reaksiyaning davom etishi bilan vaqt o'tib o'zgaradi: teskari tezlik asta-sekin oshib, oldinga reaksiyaning tezligiga tenglashadi va shunday qilib, kimyoviy muvozanat o'rnatiladi. Muvozanatga yetishish vaqti harorat, bosim va ishtirok etayotgan moddalar kabi parametrlar bilan belgilanishi mumkin va minimal erkin energiya bilan aniqlanadi. Muvozanatda Gibbsning erkin energiyasi nolga teng bo'lishi kerak. Bosimga bog'liqlikni **Le Shatelye prinsipi** orqali tushuntirish mumkin. Masalan, hajmning kamayishi tufayli bosimning oshishi reaksiyani gaz molekullari soni kamroq bo'lgan tomonga siljitadi.

Reaksiya chiqimi muvozanatda barqarorlashadi, lekin mahsulotni reaksiya aralashmasidan olib tashlash harorat yoki bosimni oshirish orqali uni oshirish mumkin. Reagentlarning konsentratsiyalaridagi o'zgarish muvozanat konstantasiga ta'sir qilmaydi, lekin muvozanat holatiga ta'sir ko'rsatadi.

Termodinamika

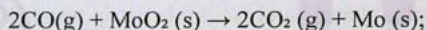
Kimyoviy reaksiyalar termodinamika qonunlari tomonidan belgilanishi mumkin. Reaksiyalar o'z-o'zidan davom etishi mumkin, agar ular **ekzergon** bo'lsa, ya'ni ular energiya chiqarib yuborsa. Reaksiya bilan bog'liq erkin energiya ikki turdagi termodinamik miqdor, ya'ni **entalpiya** va **entropiya**dan iboratdir.

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S.$$

G: erkin energiya, **H:** entalpiya, **T:** harorat, **S:** entropiya, Δ : farq (asl va mahsulot orasidagi o'zgarish).

Reaksiyalar **ekzotermik** bo'lishi mumkin, bunda ΔH manfiy bo'lib, energiya chiqarib yuboriladi. Ekzotermik reaksiyalarning tipik misollari – cho'kishni va kristallanishni o'z ichiga oladi, bu jarayonlarda tartibsiz gaz yoki suyuq fazalardan tartibli qattiq moddalarning hosil bo'lishi yuz beradi.

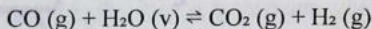
Aksincha, **endotermik** reaksiyalarda issiqlik muhitdan so'riladi. Bu entropiya tizimda oshirish orqali sodir bo'lishi mumkin, ko'pincha gazsimon mahsulotlarning hosil bo'lishi orqali, chunki ular yuqori entropiyaga ega. Entropiya harorat bilan oshishi sababli, ko'plab endotermik reaksiyalar yuqori haroratlarda afzalroq bo'ladi. Buning aksincha, ko'plab ekzotermik reaksiyalar, masalan, kristallanish, past haroratlarda yuz beradi. Haroratdagi o'zgarishlar ba'zan reaksiya entalpiyasining belgisini o'zgartirishi mumkin, masalan, molibden dioksidining karbon monoksid bilan reduksiyasi holatida.



$$\Delta H^\circ = + 21.86 \text{ kJ at } 298 \text{ K}$$

Ushbu reaksiya, karbon dioksid va molibden hosil bo'lishi, past haroratlarda endotermik bo'lib, harorat oshgani sayin kamroq endotermik bo'ladi. ΔH° 1855 K da nolga teng bo'lib, shu haroratdan yuqorida reaksiya ekzotermik bo'lib qoladi.

Haroratdagi o'zgarishlar reaksiyaning yo'nalish tendensiyasini ham o'zgartirishi mumkin. Masalan, **suv gazining o'zgarishi reaksiyasi**:



Reaksiya past haroratlarda afzalroq bo'ladi, lekin uning teskari reaksiyasi yuqori haroratda afzaldir. Reaksiyaning yo'nalish tendensiyasi 1100 K da o'zgaradi.

Reaksiyalar, shuningdek, entropiya, hajm va kimyoviy potentsialdagi o'zgarishlarni hisobga olgan holda **ichki energiya** bilan xarakterlanishi mumkin. Kimyoviy potentsial esa, boshqa narsalar qatorida, ishtirok etayotgan moddalar faoliyatiga bog'liq bo'ladi.

$$dU = T \cdot dS - p \cdot dV + \mu \cdot dn$$

U: ichki energiya, **S:** entropiya, **p:** bosim, **μ :** kimyoviy potentsial, **n:** molekular soni, **d:** kichik o'zgarish belgisi.

Kinetika

Reaksiyalar qanday tezlikda sodir bo'lishi reaksiyaning kinetikasi orqali o'rnaniladi. Tezlik turli parametrlarga bog'liq, masalan:

- **Reagentlarning konsentratsiyalari**, bu odatda reaksiyani tezlashtiradi, chunki konsentratsiya oshishi orqali molekularlar orasidagi to'qnashuvlar ko'payadi. Biroq, ba'zi reaksiyalar borki, ularning tezligi reagentlarning konsentratsiyasidan mustaqil bo'ladi. Bunday reaksiyalar **nol tartibdagi reaksiyalar** deb ataladi.

- **Reagentlar o'rtasidagi kontakt uchun mavjud bo'lgan yuzalar maydoni**, ayniqsa, geterogen tizimlarda qattiq reagentlar uchun. Kattaroq yuzalar maydoni reaksiyaning tezligini oshiradi.

- **Bosim** – bosimni oshirish molekularlar orasidagi hajmni kamaytiradi va shu orqali molekularlar o'rtasidagi to'qnashuvlar sonini oshiradi.

- **Aktivlanish energiyasi**, bu reaksiyani boshlash va o'z-o'zidan davom ettirish uchun zarur bo'lgan energiya miqdoridir. Yuqori aktivlanish energiyasi, reagentlar reaksiyani boshlash uchun ko'proq energiya talab qiladi, past aktivlanish energiyasiga ega bo'lgan reaksiyalar esa osonroq boshlanadi.

- **Temperatura** – reaksiyalarni tezlashtiradi, chunki yuqori temperatura molekularlarning energiyasini oshiradi, shu bilan birga vaqt birligida ko'proq to'qnashuvlar sodir bo'ladi.

- **Katalizatorning mavjudligi yoki yo'qligi**. Katalizatorlar – bu reaksiyaning yo'lini (mexanizmini) o'zgartiruvchi moddalar bo'lib, ular reaksiyani tezlashtiradi, chunki reaksiyaning boshlanishi uchun zarur bo'lgan aktivlanish energiyasini kamaytiradi. Katalizator reaksiyada yo'qolmaydi yoki o'zgarishni boshdan kechirmaydi, shuning uchun uni qayta ishlatish mumkin.

- **Elektromagnit nurlanishining mavjudligi**, ayniqsa, ultrabinafsha nur reaksiyalarni boshlash uchun zarur bo'lishi mumkin, chunki bu nurlar bog'larni uzish jarayonini rag'batlantiradi. Bu, ayniqsa, radikallarga oid reaksiyalar uchun to'g'ri keladi.

Bir nechta nazariyalar molekulyar darajada reaksiya tezliklarini hisoblashga imkon beradi. Ushbu soha **reaksiya dinamikasi** deb ataladi. Birinchi tartibdagi reaksiyaning tezligi v , bu biror A moddasining parchalanishi kabi, quyidagicha ifodalanadi:

$$v = -\frac{d[A]}{dt} = k \cdot [A].$$

Uning integratsiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$[A](t) = [A]_0 \cdot e^{-k \cdot t}.$$

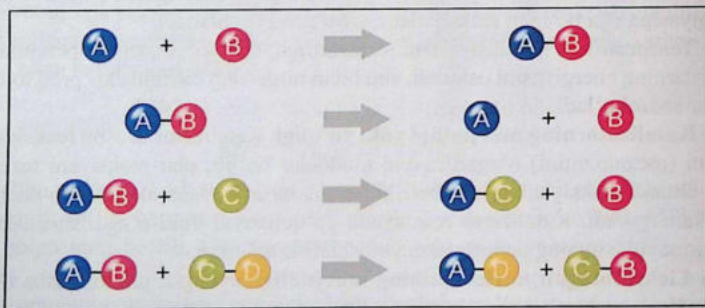
Bu yerda: k – birinchi tartibdagi tezlik doimiysi (yagona vaqt birligi bilan), $[A]_0(t)$ vaqtida konsentratsiya va $[A]_0$ – dastlabki konsentratsiya. Birinchi tartibdagi reaksiyaning tezligi faqat konsentratsiya va ishtirok etuvchi moddalar xususiyatlariga bog‘liq bo‘lib, reaksiya o‘ziga xos yarimto‘liq umr (half-life) bilan tavsiflanishi mumkin. Yuqori tartibdagi reaksiyalarni tavsiflash uchun bir nechta vaqt doimiysi kerak bo‘ladi. Tezlik doimiysining temperaturaga bog‘liqligi odatda Arrenius tenglamasi bilan quyidagicha ifodalanadi:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Bu yerda: E_a – aktivlash energiyasi, k_B – Boltsman doimiysi. Reaksiya tezligi uchun eng oddiy modellardan biri to‘qnashuv nazariyasidir. Biroq, haqiqiyroq modellarga aniq bir masalani yechish uchun moslashtirilgan modellar kiradi, masalan, o‘tish holati nazariyasi, potensial energiya sathining hisoblanishi, Markus nazariyasi va Rays-Ramperger-Kassel-Markus (RRKM) nazariyasi.

Reaksiya turlari.

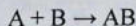
To‘rt asosiy tur:



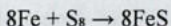
To‘rt asosiy kimyoviy reaksiya turlarining tasviri: sintez, parchalanish, birlamchi almashtirish va ikkitomonlama almashtirish.

Sintez

Sintez reaksiyasida ikki yoki undan ortiq oddiy moddalar birlashib, murakkabroq moddani hosil qiladi. Ushbu reaksiyalar umumiy shaklda:



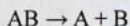
Ikki yoki undan ortiq reaktivlar bitta mahsulot hosil qilishi bu sintez reaksiyasini aniqlashning yana bir usuli hisoblanadi. Sintez reaksiyasiga misollardan biri temir va oltingugurtning temir (II) sulfidni hosil qilish uchun birikmasidir:



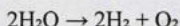
Yana bir misol tariqasida, oddiy vodorod gazi oddiy kislorod gazi bilan qo'shilib suv kabi murakkabroq moddani hosil qiladi.

Parchalanish

Parchalanish reaksiyasi murakkabroq moddaning oddiyroq qismlarga ajralishi demakdir. Shuning uchun u sintez reaksiyasiga qarama-qarshidir va quyidagicha ifodalash mumkin:



Parchalanish reaksiyasining bir misoli kislorod va vodorod gazini hosil qilish uchun suvning elektrolizidir:

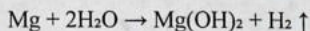


Yagona almashtirish

Yagona almashtirish reaksiyasida bitta birlashtirilmagan element birikmadagi boshqa elementni almashtiradi; boshqacha qilib aytganda, bir element birikmadagi boshqa element bilan o'rin almashadi. Bu reaksiyalar umumiy shaklda bo'ladi:



Yagona joy almashish reaksiyasiga misol qilib, magniy gidroksid va vodorod gazini hosil qilish uchun suvdagi vodorod va magniy o'rnini egallashi mumkin:



Ikkilamchi almashinish

Ikkilamchi almashinish reaksiyasida ikkita birikmaning anionlari va kationlari o'rnini almashtirib, ikkita butunlay boshqa birikma hosil qiladi. Bu reaksiyalar umumiy shaklda bo'ladi:

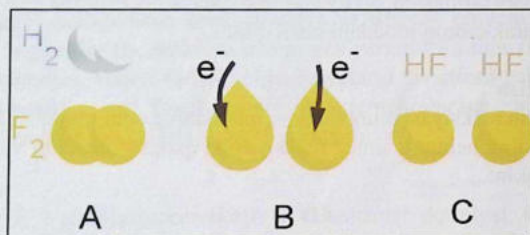


Masalan, bariy xlorid (BaCl_2) va magniy sulfat (MgSO_4) reaksiyaga kirishganda, SO_4^{2-} anioni 2Cl^- anioni bilan o'zgaradi va BaSO_4 hamda MgCl_2 birikmalari hosil bo'ladi.

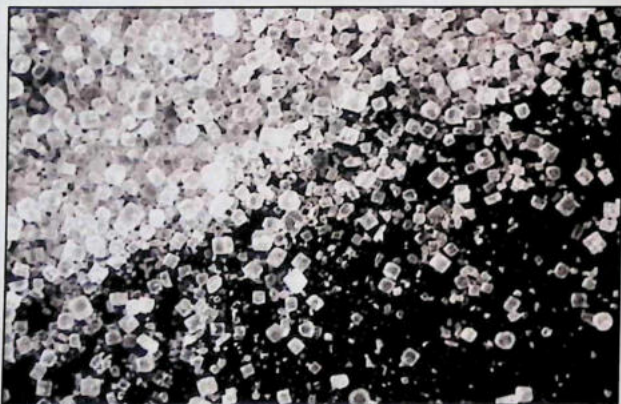
Yana bir misol – bu qo'rg'oshin (II) nitratining kaliy iodid bilan reaksiyaga kirishib, qo'rg'oshin (II) iodid va kaliy nitratini hosil qiladigan ikkitomonlama siljish almashtirish reaksiyasi:



Oksidlanish va qaytarilish



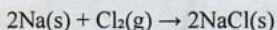
Oksidlanish-qaytarilish reaksiyasining tasviri.



Natriy xlorid natriy metall va xlor gazining oksidlanish-qaytarilish reaksiyasi natijasida hosil bo'ladi.

Redoks reaksiyalari biror-bir moddaning (reduktor agenti) elektronlarini boshqa bir moddaga (oksidlovchi agenti) o'tkazilishi jarayonida tushunilishi mumkin. Bu jarayonda birinchi modda oksidlanadi, ikkinchisi esa reduksiyanadi. Ko'plab holatlar uchun bu tavsiflar yetarli bo'lsa-da, ular aniq emas. Oksidlanish yaxshiroq oksidlanish holatining oshishi, reduksiya esa oksidlanish holatining kamayishi sifatida ta'riflanadi. Amalda, elektronlar almashinuvi har doim oksidlanish holatini o'zgartiradi, lekin ko'plab reaksiyalar "redoks" deb tasniflanadi, hatto elektronlar almashinuvi sodir bo'lmasa ham (masalan, kovalent bog'lar bilan bog'liq reaksiyalar).

Quyidagi redoks reaksiyasida, xavfli natriy metalli toksik xlor gazi bilan reaksiyaga kirishib, natriy xlorid (oddiy osh tuzi) kabi ionli birikma hosil qiladi:



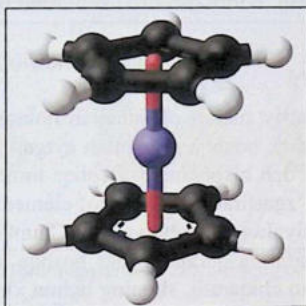
Ushbu reaksiyada, natriy metalli oksidlanish holatini 0 dan +1 ga o'tkazadi (chunki u sof elementdir), boshqa so'z bilan aytganda, natriy bitta elektronni yo'qotadi va oksidlangan deb hisoblanadi. Boshqa tomondan, xlor gazi oksidlanish holatini 0 dan 1 ga o'zgartiradi (bu ham sof elementdir). Xlor bitta elektronni qabul qiladi va reduksiyalangan deb aytiladi. Chunki xlor reduksiyalanadi, u elektron qabul qiluvchi sifatida qaraladi yoki boshqa so'z bilan aytganda, natriyda oksidlanishni keltirib chiqaradi, shuning uchun xlor gazi oksidlovchi agent hisoblanadi. Aksincha, natriy oksidlanadi yoki elektron beruvchi bo'lib, boshqa bir moddaning reduksiyasini keltirib chiqaradi va shuning uchun reduktor agent hisoblanadi.

Qaysi reagentlarning qaysi biri reduktor yoki oksidlovchi agent bo'lishi ularning elementlarining elektronegativligi asosida taxmin qilinishi mumkin. Elektro-negativligi past bo'lgan elementlar, masalan, ko'plab metallar, osonlik bilan elektronlarni berib oksidlanadi – ular reduktor agentlardir. Aksincha, yuqori oksidlanish sonlariga ega bo'lgan ko'plab ionlar, masalan, H_2O , MnO_4^- , CrO_3 , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, OsO_4 bir yoki ikki qo'shimcha elektronni qabul qilib, kuchli oksidlovchi agentlar bo'ladilar.

Redoks reaksiyasida berilgan yoki qabul qilingan elektronlar sonini reagent elementining elektron konfiguratsiyasidan taxmin qilish mumkin. Elementlar past energiyali asl gaz konfiguratsiyasiga erishishga intiladi, shuning uchun ishqorli metallar va galogenlar mos ravishda bir elektron beradi va qabul qiladi. Noble gazlar o'zlari kimyoviy jihatdan passivdir.

Redoks reaksiyalarining muhim sinfini elektrokimyoviy reaksiyalar tashkil etadi, bu yerda quvvat manbalaridan elektronlar reduktor agenti sifatida ishlatiladi. Ushbu reaksiyalar ayniqsa xlor yoki aluminiy kabi kimyoviy elementlarni ishlab chiqarishda muhimdir. Redoks reaksiyalarida elektronlar chiqarilishi va ularni elektr energiyasiga aylantirish jarayoni mumkin bo'lib, bu jarayonlar batareyalarda qo'llaniladi.

Kompleks birikmalar



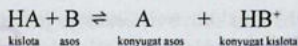
Ferrotsen – ikki C_5H_5 ligandlari orasiga joylashgan temir atomi.

Kompleks birikmalar reaksiyalarida bir nechta ligandlar metall atomi bilan reaksiyaga kirishib, kordinatsion kompleks hosil qiladi. Bu, ligandning bo'sh orbitalariga yolg'iz elektron juftlarini taqdim etish va dipol bog'larini hosil qilish orqali amalga oshiriladi. Ligandlar Luis asoslari bo'lib, ular ionlar va neytral molekularlar, masalan, karbon oksidi, ammiak yoki suv kabi bo'lishi mumkin.

Markaziy metall atomiga reaksiyaga kirishadigan ligandlar sonini 18 elektron qoidasi yordamida aniqlash mumkin, bu qoida bo'yicha o'tkazuvchan metallning valent qatlamlari umumiy holda 18 elektronni qabul qiladi, natijada hosil bo'ladi-gan kompleksning simmetriyasi esa kristalli maydon nazariyasi va ligand maydon nazariyasi yordamida bashorat qilinishi mumkin. Kompleks birikmalar reaksiyalar, shuningdek, ligand almashinuvi, ya'ni bir yoki bir nechta ligandlar boshqa bir ligand bilan almashtirilishi va markaziy metall atomining oksidlanish holatini o'zgartiruvchi redoks jarayonlarini ham o'z ichiga oladi.

Kislota-asos reaksiyalari

Bryonsted-Louri kislotalar va asoslar nazariyasiga ko'ra, kislota-asos reaksiyasi protonlarning (H^+) bir moddadan (kislota) ikkinchi modda (asos)ga o'tishi bilan sodir bo'ladi. Agar kislota protonni yo'qotsa, hosil bo'lgan modda ushbu kislota bilan bog'liq asos, ya'ni uning konyugat asosi deb ataladi. Agar asos protonni qabul qilsa, hosil bo'lgan modda ushbu asos bilan bog'liq kislota, ya'ni uning konyugat kislotasi deb ataladi. Boshqacha aytganda, kislotalar proton donor sifatida, asoslar esa proton akseptor sifatida harakat qiladi. Bu jarayon quyidagi tenglama orqali ifodalanadi.



Teskari reaksiya ham yuz berishi mumkin, shuning uchun kislota/asos va ularning konyugat asos/kislota har doim muvozanatda bo'ladi. Bu muvozanat ishtirok etuvchi moddalar uchun kislota va asos dissotsiatsiya konstantalari (K_a va K_b) orqali aniqlanadi. Kislota-asos reaksiyasining alohida holati neytralla-nish reaksiyasi bo'lib, unda kislota va asos bir xil miqdorda olinganda neytral tuz hosil bo'ladi.

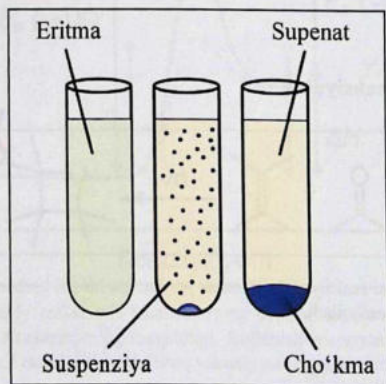
Kislota-asos reaksiyalari turli kislota-asos tushunchalariga ko'ra turlicha talqin qilingan. Eng ko'p qo'llaniladigan ta'riflar quyidagilardan iborat:

- **Arrenius ta'rif:** Kislotalar suvda dissotsiatsiya qilganda H_3O^+ ionlarini hosil qiladi, asoslar esa suvda dissotsiatsiya qilib OH^- ionlarini hosil qiladi.

- **Bryonsted-Louri ta'rif:** Kislotalar proton (H^+) donorlari, asoslar esa proton qabul qiluvchilari (akseptorlar) sifatida namoyon bo'ladi. Bu ta'rif Arrenius ta'rifini o'z ichiga oladi.

- **Luis ta'rif:** Kislotalar elektron juftini qabul qiluvchi moddalar, asoslar esa elektron juftini beruvchi moddalar sifatida talqin qilinadi. Bu ta'rif Bryonsted-Louri ta'rifini ham qamrab oladi.

Presipitatsiya³³



Presipitatsiya

³³ **Presipitatsiya** (lotincha – pastga tez tushish), cho'kish – serologik reaksiya; antigenlar kompleksining antitanalar bilan cho'kma hosil qilishi.

Cho'kma hosil bo'lishi – bu kimyoviy reaksiya jarayonida eritmada yoki boshqa qattiq modda ichida qattiq modda hosil bo'lish jarayonidir. Odatda, bu jarayon erigan ionlarning konsentratsiyasi — eruvchanlik chegarasidan oshib, erimaydigan tuz hosil qilganda sodir bo'ladi. Cho'kma hosil qiluvchi reagent³⁴ erituvchini qo'shish yoki ajratib olish orqali tezlashtirish mumkin.

Tez sodir bo'ladigan cho'kma natijasida amorf yoki mikro-kristall qoldiq hosil bo'ladi, sekin jarayon esa yirik va aniq shakldagi kristallar hosil qilishi mumkin. Yirik kristallarni mikro-kristall tuzlarni qayta kristallashtirish orqali ham olish mumkin.

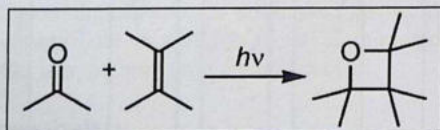
Qattiq holatdagi reaksiyalar

Reaksiyalar ikki qattiq modda orasida sodir bo'lishi mumkin. Biroq, diffuziya tezligi nisbatan past bo'lgani sababli, shu bilan bog'liq kimyoviy reaksiyalar suyuqlik va gaz holatidagi reaksiyalar bilan solishtirganda juda sekin kechadi. Bu reaksiyalarni tezlashtirish uchun reaksiya haroratini oshirish va reagentlarni mayda bo'laklarga ajratib, ular orasidagi aloqa yuzasini kengaytirish mumkin.

Qattiq-gaz interfeysida sodir bo'ladigan reaksiyalar

Reaksiyalar qattiq-gaz interfeysida, masalan, juda past bosimdagi muhitda, ultrayuqori bo'shliq sharoitida yuz beradi. Skanerlovchi tunnel mikroskopiyasi yordamida, agar reaksiyaning vaqt miqyosi to'g'ri bo'lsa, qattiq-gaz interfeysida sodir bo'ladigan reaksiyalarni haqiqiy makonda kuzatish mumkin. Ba'zi holatlarda, qattiq-gaz interfeysida sodir bo'ladigan reaksiyalar kataliz jarayonlari bilan bog'liq bo'ladi.

Fotokimyoviy reaksiyalar



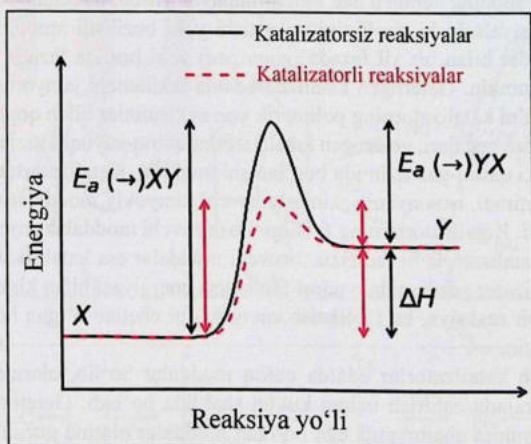
Ushbu Paterno-Baumann reaksiyasida fotonlar yordamida bir xil karbonil guruhi har xil olefin bilan qo'shilib, oksetan hosil qiladi.

³⁴ **Reagent** – bu kimyoviy reaksiya yoki tahlil jarayonida ishtirok etadigan, ammo o'zi reaksiya natijasida yo'qolmaydigan moddadir. Reagent kimyoviy reaksiyalarning boshlanishini yoki tezlashishini ta'minlash uchun qo'shiladi. Masalan, presipitatsiya reaksiyalarida cho'kma hosil bo'lishini keltirib chiqaradigan modda reagent sifatida ishlatiladi.

Fotokimyoviy reaksiyalarda atomlar va molekular yorug'lik energiyasini (fotonlarni) yutib, bir xil holatga o'tadi. So'ngra, ular bu energiyani kimyoviy bog'larni buzish orqali chiqarib, radikallar hosil qilishi mumkin. Fotokimyoviy reaksiyalar vodorod-kislorod reaksiyalari, radikal polimerizatsiya, zanjirli reaksiyalar va qayta joylashish reaksiyalarini o'z ichiga oladi.

Ko'plab muhim jarayonlar fotokimyo bilan bog'liq. Eng asosiy misol bu fotosintez bo'lib, unda o'simliklar quyosh energiyasidan foydalanib, karbonat angidrid va suvni glukozaga aylantiradi va kislorodni yon mahsulot sifatida chiqaradi. Insonlar fotokimyoviy jarayonlarga, ayniqsa vitamin D hosil bo'lishi uchun harakat qiladi, shuningdek, ko'rish jarayoni rodopsin fotokimyoviy reaksiyasi orqali boshlanadi. Olma chig'anoqlarida esa qorin bo'shlig'ida joylashgan ferment reaksiyasini katalizlab, bioluminessensiyaning hosil qiladi. Ozon hosil bo'lishi kabi ko'plab muhim fotokimyoviy reaksiyalar Yer atmosferasida sodir bo'lib, atmosferik kimyoni tashkil qiladi.

Kataliz³⁵



Endotermik kimyoviy reaksiyada katalizatorning ta'sirini ko'rsatuvchi sxematik potensial energiya diagrammasi. Katalizatorning mavjudligi, faollanish energiyasini kamaytiradigan, pastroq energiya yo'lini (qizil rangda) ochadi. Biroq yakuniy natija va umumiy termodinamik jarayonlar o'zgarmaydi.

³⁵ **Kataliz** – bu kimyoviy reaksiyaning tezligini o'zgartirmasdan, uni boshlash yoki tezlashtirish uchun ishlatiladigan moddaning ta'siridir. Katalizatorlar reaksiyalarning mahsulini bo'lmaydi va o'zi reaksiya davomida yo'qolmaydi, ya'ni ular bir necha marta ishlatilishi mumkin. Katalizatorlar reaksiyaga kirishish uchun zarur bo'lgan aktivatsiya energiyasini kamaytiradi, bu esa reaksiyaning tezligini oshiradi.



Qattiq geterogen katalizatorlar keramika katalitik konvertorlarda³⁶ ularning yuzasini maksimal darajada oshirish uchun to'rlar ustiga qoplangan. Ushbu chiqarish konvertori Pejo 106 S2 1100 modelidan olingan.

Katalizda reaksiyaning to'g'ridan to'g'ri o'tishi emas, balki uchinchi bir modda, ya'ni katalizator bilan reaksiyaga kirishish orqali amalga oshadi. Katalizator reaksiyada ishtirok etishi mumkin, ammo reaksiyaning oxirida uning dastlabki holati tiklanadi, shuning uchun u iste'mol qilinmaydi. Biroq, u ikkilamchi jarayonlar orqali ingibitsiyalashishi, faolligini yo'qotishi yoki buzilishi mumkin. Katalizatorlar reagentlar bilan bir xil fazada (gomogen) yoki boshqa fazada (geterogen) ishlatilishi mumkin. Geterogen katalizda odatda ikkilamchi jarayonlar, masalan, ko'klash³⁷, ya'ni katalizatorning polimerik yon mahsulotlar bilan qoplanishi sodir bo'ladi. Bundan tashqari, geterogen katalizatorlar qattiq-suyuqlik tizimida eritmaga o'tishi yoki qattiq-gaz tizimida bug'lanishi mumkin. Katalizatorlar faqat reaksiyani tezlashtiradi, reaksiyani sekinlashtiruvchi kimyoviy moddalar esa inibitorlar deb ataladi. Katalizatorlarning faolligini oshiruvchi moddalar promotorlar deb nomlanadi, katalizatorlarni faolsizlantiruvchi moddalar esa katalitik zaharlar deb ataladi. Katalizator yordamida, yuqori faollanish energiyasi bilan kinetik jihatdan to'xtatilgan bir reaksiya, bu faollanish energiyasini chetlab o'tgan holda amalga oshishi mumkin.

Geterogen katalizatorlar odatda qattiq moddalar bo'lib, ularning yuzasini maksimal darajada oshirish uchun kukun shaklida bo'ladi. Geterogen katalizda, ayniqsa muhim ahamiyatga ega bo'lgan moddalar platina guruhiga mansub metallar va boshqa o'tish metallaridir, ular vodorodlanish, katalitik reformingda va mahsulot kimyoviy moddalari, masalan, azot kislota va ammiak sintezida qo'llaniladi. Kislotalar esa gomogen katalizatorlarga misol bo'la oladi, ular karbonil guruhlarining nukleofilik faolligini oshirib, elektrofillar bilan reaksiyaga

³⁶ **Konvertor** – bu kimyoviy yoki fizikaviy jarayonlarni amalga oshirish uchun ishlatiladigan asbob yoki qurilma.

³⁷ **Ko'klash** – bu katalitik jarayonda katalizator yuzasida yon mahsulotlarning polimerlanib, qattiq moddaga aylanishi jarayonidir.

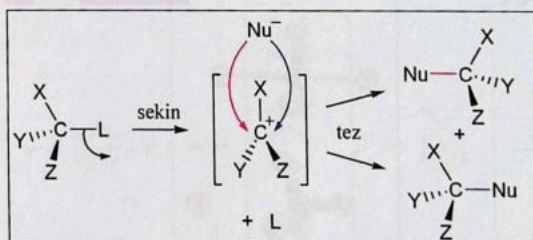
kirishishga imkon beradi. Gomogen katalizatorlarning afzalligi shundaki, ularni reagentlar bilan oson aralashtirish mumkin, ammo ularni mahsulotlardan ajratish qiyin. Shuning uchun ko'plab sanoat jarayonlarida geterogen katalizatorlar afzal ko'riladi.

Organik kimyodagi reaksiyalar

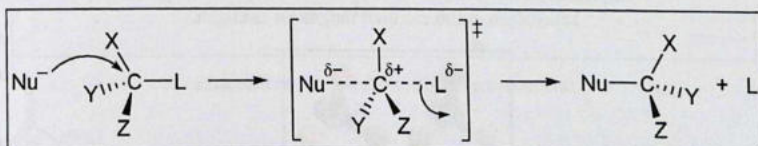
Organik kimyoda oksidlanish, kamayish yoki kislotali-norma reaksiyalaridan tashqari, uglerod atomlari yoki uglerod va geteroatomlar (masalan, kislorod, azot, galogenlar va boshqalar) o'rtasidagi kovalent bog'lanishlar bilan bog'liq boshqa turli reaksiyalar ham yuzaga kelishi mumkin. Organik kimyodagi ko'plab xos reaksiyalar, ularni kashf qilgan olimlar nomi bilan ataladi.

Almashtirish

Almashtirish reaksiyasida, ma'lum bir kimyoviy birikmadagi funksional guruh boshqa bir guruh bilan almashtiriladi. Bu reaksiyalar o'zgartiruvchi modaning turiga qarab, nukleofilik, elektrofilik yoki radikal substitutsiya sifatida ajratiladi.



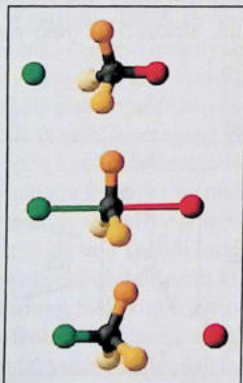
S_N1 mexanizmi



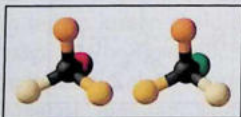
S_N2 mexanizmi

Birinchi turda, nukleofil, elektronlar ortiqcha bo'lgan va shuning uchun manfiy zaryad yoki qisman zaryadga ega bo'lgan atom yoki molekula, "subst-rat" molekulasining boshqa bir atomi yoki qismini almashtiradi. Nukleofilning

elektron juftligi substratga hujum qilib, yangi bog'lanish hosil qiladi, shu bilan birga, ketayotgan guruh elektron juftligi bilan ajralib ketadi. Nukleofil elektr neytral yoki manfiy zaryadlangan bo'lishi mumkin, substrat esa odatda neytral yoki musbat zaryadlangan bo'ladi. Nukleofilarga gidroksid ioni, alkoksidlari, aminlar va galogenidlari misol bo'ladi. Ushbu turdagi reaksiyalar asosan alifatik uglevodorodlarda uchraydi, aromatik uglevodorodlarda esa kamdan kam hollarda sodir bo'ladi. Aromatik uglevodorodlar yuqori elektron zichligiga ega bo'lib, faqat juda kuchli elektronni o'ziga tortadigan guruhlar mavjud bo'lsa, nukleofilik aromatik substitutsiyaga kirishadi. Nukleofilik substitutsiya ikki xil mexanizmga amalga oshishi mumkin: S_N1 va S_N2 . Ularning nomlarida S substitutsiya, N nukleofilikni anglatadi va raqamlar reaksiyaning kinetik tartibini, ya'ni unimolekulyar yoki bimolekulyar bo'lishini bildiradi.



S_N2 reaksiyasining uchta bosqichi: Nukleofil yashil rangda, ketayotgan guruh esa qizil rangda ko'rsatilgan.

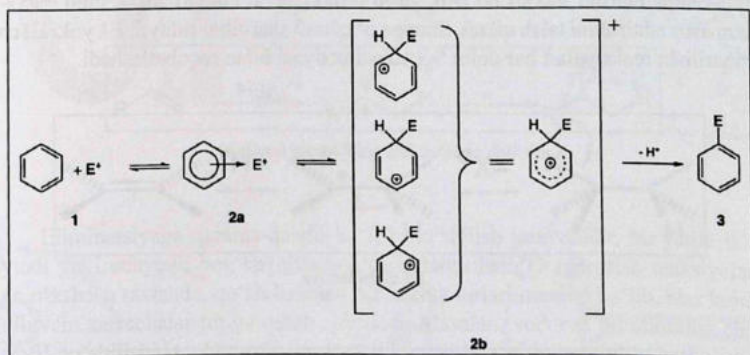


S_N2 reaksiyasi stereoinversiyani (Valden inversiyasini) keltirib chiqaradi.

S_N1 reaksiyasi ikki bosqichda amalga oshadi. Birinchi bosqichda ketayotgan guruh ajralib, karbokation hosil bo'ladi. Keyin bu karbokation tezda nukleofil bilan reaksiyaga kirishadi.

S_{N2} mexanizmda nukleofil hujum qilayotgan molekulasini bilan o'tish holatini hosil qiladi va faqat undan keyin ketayotgan guruh ajralib ketadi. Bu ikki mexanizm mahsulotlarning stereokimyosida farq qiladi. S_{N1} reaksiyasi stereospesifik bo'lmagan qo'shilishga olib keladi va xiral markazni hosil qilmaydi, balki geometrik izomerlar (*cis/trans*) to'plamini hosil qiladi. Aksincha, S_{N2} mexanizmda avvalgi stereokimyoning teskari (Valden inversiyasi) o'zgarishi kuzatiladi.

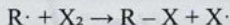
Elektrofil substitutsiya – bu nukleofil substitutsiyaning qarama-qarshi reaksiyasi bo'lib, hujum qiluvchi atom yoki molekula, ya'ni elektrofil, past elektron zichligiga ega va shu sababli musbat zaryadga ega bo'ladi. Tipik elektrofillarga karbonil guruhining karbon atomi, karbokationlar yoki oltingurgut va nitroniy kationlar kiradi. Ushbu reaksiyalar asosan aromatik uglevodorodlarda sodir bo'ladi va ular elektrofil aromatik almashtirish deb ataladi. Elektrofilning hujumi natijasida σ – kompleks deb ataladigan o'tish holati hosil bo'ladi, bu holatda aromatik tizim yo'qoladi. So'ngra ketayotgan guruh (odatda proton) ajralib chiqadi va aromatiklik tiklanadi. Aromatik substitutsiyaga muqobil sifatida elektrofil alifatik substitutsiya mavjud. U nukleofil alifatik substitutsiyaga o'xshash bo'lib, ikkita asosiy turga ega – S_E1 va S_E2 .



Elektrofil aromatik substitutsiyaning mexanizmi

Radikal substitutsiyaning uchinchi turi reaksiyaning hujumchi zarrasi radikal hisoblanadi. Bu jarayon odatda zanjirli reaksiyalar shaklida kechadi, masalan, alkanlarning galogenlar bilan reaksiyasida. Birinchi bosqichda, yorug'lik yoki issiqlik galogenli molekullarni parchalaydi va radikallarni hosil qiladi. Shundan so'ng, reaksiyaning davom etishi zanjir sifatida amalga oshadi va oxir-oqibat ikki radikal uchrashib, birlashadi.

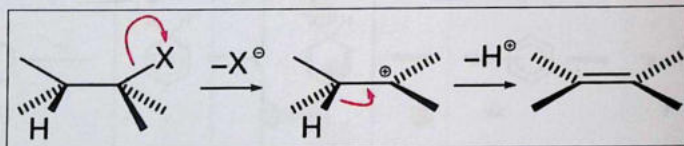
Reaksiyalar zanjirli radikal substitutsiya jarayonida quyidagicha davom etadi:



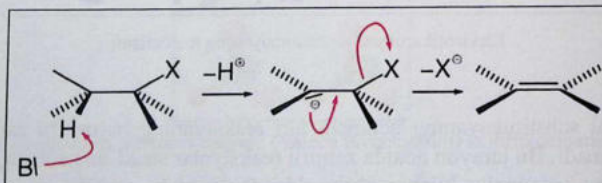
Bu jarayon radikallarni hosil qilib, ularning o'zaro reaksiyaga kirishishi orqali zanjirli reaksiyalarni yuzaga keltiradi.

Qo'shilish va chiqarilish

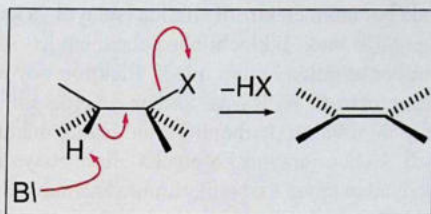
Qo'shilish va uning teskari reaksiyasi bo'lgan chiqarilish, uglerod atomidagi almashinuvchilar sonini o'zgartiradigan va ko'p bog'larni hosil qiladigan yoki parchalaydigan reaksiyalardir. Ikki va uchlik bog'lar, mos keladigan chiqish guruhini chiqarish orqali hosil bo'lishi mumkin. Yadroviy almashinishiga o'xshab, bir nechta mumkin bo'lgan reaksiya mexanizmlari mavjud bo'lib, ular tegishli reaksiya tartibiga nomlangan. E1 mexanizmidagi, birinchi navbatda chiqish guruhi chiqarilib, karbokation hosil bo'ladi. Keyingi bosqichda, ikki bog'ning hosil bo'lishi protonni chiqarish (deprotonatsiya) orqali amalga oshadi. E1cb mexanizmidagi chiqish tartibi teskari bo'ladi, ya'ni proton avval chiqariladi. Ushbu mexanizm asos ishtirokini talab qiladi. Shunga o'xshash sharoitlar tufayli, E1 yoki E1cb chiqarilishi reaksiyalari har doim S_N1 substitutsiyasi bilan raqobatlashadi.



E1 eliminatsiya

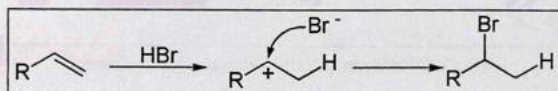


E1 cb eliminatsiya



E2 eliminatsiya

E2 mexanizmi ham asosni talab qiladi, lekin bunda asosning hujumi va chiqish guruhining chiqarilishi bir vaqtning o'zida sodir bo'lib, ionli o'rtacha holat hosil qilmaydi. E1 chiqarilishlaridan farqli o'laroq, E2 mexanizmida reaksiyaning mahsulotining turli stereokimyoviy konfiguratsiyalari mumkin, chunki asosning hujumi, asosan, chiqish guruhiga nisbatan anti-pozitsiyada ro'y beradi. O'xshash sharoitlar va reagentlar tufayli, E2 chiqarilishi har doim S_N2 substitutsiyasi bilan raqobatlashadi.

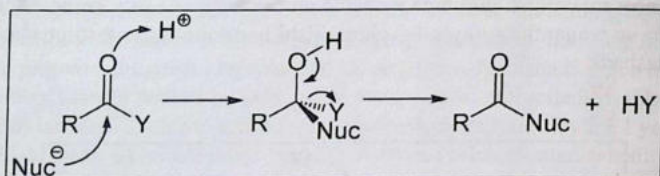


Vodorod bromidning elektrofil qo'shilishi.

Eliminatsiyaga qarama-qarshi bo'lish qo'shilish jarayonidir, bu yerda ikkiyuzli yoki uchyuzli bog'lar bitta bog'ga aylantiriladi. O'zgartirish reaksiyalari-ga o'xshash ravishda, qo'shilishning bir nechta turlari mavjud bo'lib, ular hujum qiluvchi zarrachalar turiga qarab ajratiladi. Masalan, vodorod bromidining elektrofil qo'shilishida, elektrofil (proton) ikkiyuzli bog'ni hujum qilib, karbokation hosil qiladi, keyin esa bu karbokation nukleofil bilan (brom) reaksiyaga kirishadi. Karbokation ikkiyuzli bog'ning har ikki tomonida ham hosil bo'lishi mumkin, u bog'ning uch tomonida bog'langan guruhlar asosida va afzal konfiguratsiya Markovnikov qoidasiga asosan oldindan aytib berilishi mumkin. Bu qoidada shunday deyiladi: "Polar molekulaning alkenga yoki alkin geterolitik qo'shilishida, polar molekuladagi ko'proq elektrolit (nukleofil) atomi (yoki qismi) vodorod atomlari kamroq bo'lgan uglerod atomiga bog'lanadi".

Agar funksional guruh ikkiyuzli bog'ning kamroq o'zgartirilgan uglerod atomiga qo'shilsa, unda kislotalar bilan elektrofil almashtirish mumkin emas. Bunday holatda, gidroboratsiya-oksidlash reaksiyasidan foydalanish kerak, bun-

da birinchi bosqichda bor atom elektrofil sifatida ishlaydi va kamroq o'zgartirilgan uglerod atomiga qo'shiladi. Ikkinchi bosqichda, nukleofilik gidroperoksid yoki galogen anioni bor atomiga hujum qiladi. Elektron boy alken va alkinlarga qo'shilish asosan elektrofil bo'lsa-da, karbon-geteroatomli ko'p bog'lar va ayniqsa uning eng muhim vakili, karbonil guruhi uchun nukleofilik qo'shilish muhim rol o'ynaydi. Ushbu jarayon ko'pincha eliminatsiya bilan bog'lanadi, shunday qilib, reaksiyadan keyin karbonil guruhi yana mavjud bo'ladi. Shuning uchun bu qo'shilish eliminatsiya reaksiyasi deb ataladi va karboksil kislota hosilalarida, masalan, xloridlar, esterlar yoki anhidridlar kabi moddalar bilan yuz berishi mumkin. Ushbu reaksiyalar ko'pincha kislotalar yoki asoslar tomonidan katalizlanadi, bunda kislotalar karbonil guruhining elektrofilikligini oshiradi, kislorod atomiga bog'lanish orqali, asoslar esa hujum qiluvchi nukleofilning nukleofiligini oshiradi.

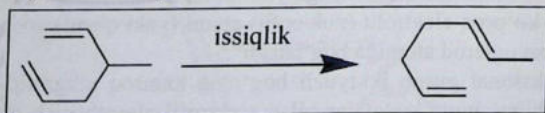


Kislota katalizlangan qo'shilish eliminatsiya mexanizmi.

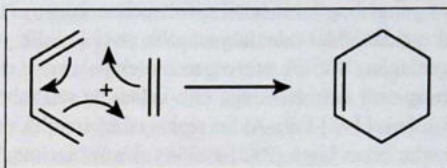
Karbanion yoki boshqa nukleofilning alfa-beta to'yinmagan karbonil birikmasining qo'sh bog'lanishiga nukleofil qo'shilishi konugat qo'shimchalarining katta sinfiga mansub Maykl reaksiyasi orqali borishi mumkin. C-C aloqalari yumshoq shakllanishning eng foydali usullaridan biridir.

Nukleofillar va elektrofillar bilan bajarib bo'lmaydigan ba'zi qo'shimchalar erkin radikallar bilan almashtirilishi mumkin. Erkin radikallarni almashtirishda bo'lgani kabi, radikal qo'shilish zanjirli reaksiya sifatida davom etadi va bunday reaksiyalar erkin radikal polimerizatsiyasining asosi hisoblanadi.

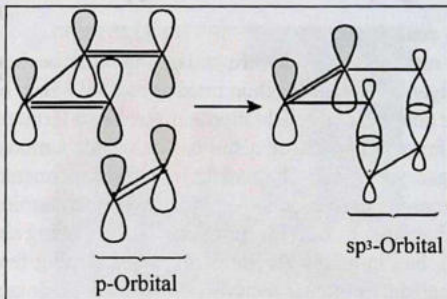
Boshqa organik reaksiya mexanizmlari



3-metil-1,5-geksadiyendagi Koup guruhlanishi



Diels-Alder reaksiyasining mexanizmi



Dils-Alder reaksiyasida orbital qoplama

Qaytalanish reaksiyasida molekulaning uglerod suyaklari qayta tartiblanib, asl molekulaning struktural izomerini hosil qiladi. Bunga Vagner-Meyerveyn guruhlanishi kabi gidrid ko'chishi reaksiyalari kiradi, bunda vodorod, alkil yoki aril guruhi bir uglerodan qo'shni uglerodga o'tadi.

Ko'pchilik qaytalanishlar yangi uglerod-uglerod bog'larining buzilishi va hosil bo'lishi bilan bog'liq. Boshqa misollar sifatida sigmatropik reaksiyalar, masalan, Koup guruhlanishini keltirish mumkin.

Siklik qaytalanishlarga siklik yuklanishlar³⁸, umumiy qilib aytganda, perisiklik reaksiyalar kiradi, bunda ikkita yoki undan ortiq qo'shilmagan bog'larni o'z ichiga olgan molekular siklik molekula hosil qiladi. Siklik qaytalanish tizimini hosil qilish uchun konyugatsiyalangan din va almashtirilgan alken o'rtasidagi Dils-Alder reaksiyasi ([4+2]sikloadlanish deb ataladigan) siklogeksen reaksiyasining muhim misolidir.

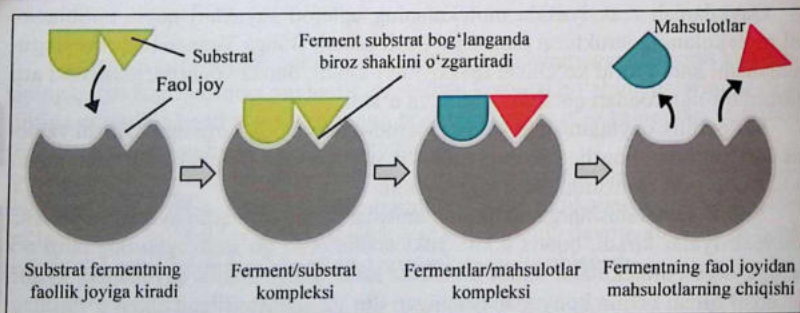
Ma'lum bir siklik yuklanishning amalga oshishi ishtirok etayotgan turlarning elektron orbitalariga bog'liq, chunki faqat bir xil to'liq funksiyasiga ega orbitalar

³⁸ **Siklik yuklanish** – kimyoviy reaksiyalarda ikki yoki undan ortiq molekularning birlashib, yangi siklik (halqa shaklida) molekula hosil qilishi.

o'zaro qoplaydi va yangi bog'larni hosil qilish uchun konstruktiv tarzda o'zaro ta'sir qiladi. Siklik yuklanishlar odatda yorug'lik yoki issiqlik yordamida o'tkaziladi. Ushbu o'zgarishlar, ishtirok etayotgan molekulalarning qo'zg'algan holatidagi elektronlarning turli tartiblanishiga olib keladi va shu sababli turli ta'sirlar yuzaga keladi. Masalan, [4+2] Dils-Alder reaksiyalari issiqlik yordamida tezlashtirilishi mumkin, shu bilan birga [2+2] siklik yuklanishlar faqat yorug'lik bilan induksiyanadi. Orbital xarakteri tufayli, siklik yuklanishda stereoizomerik mahsulotlar ishlab chiqarish imkoniyati cheklangan, bu esa Vudvord-Hofman qonunlari tomonidan tushuntiriladi.

Biokimyoviy reaksiyalar

Biokimyoviy reaksiyalar asosan fermentlar tomonidan boshqariladi. Bu oqsillar aniq bir reaksiyani katalizlash uchun maxsus mo'ljallangan bo'lib, shu orqali reaksiyalarni juda aniq nazorat qilishi mumkin. Reaksiya fermentning faol joyida sodir bo'ladi, bu fermentning kichik qismi bo'lib, odatda aminokislotalar qoldiqlari bilan qoplangan yoriq yoki cho'ntakda joylashadi, fermentning qolgan qismi esa asosan barqarorlashtirish uchun ishlatiladi. Fermentlarning katalitik ta'siri bir nechta mexanizmlarga asoslanadi, jumladan molekulaning shakli ("induksiya qilingan moslik"), bog'larning kuchlanishi, molekulalarning fermentga nisbatan yaqinligi va yo'nalishi, protonlarni berish yoki olish (kislota/negativ kataliz), elektrostatik o'zaro ta'sirlar va boshqa ko'plab jarayonlar.



Ferment faoliyatidagi induksiyalashgan moslashish modeli tasviri.

Tirik organizmlarda sodir bo'ladigan biokimyoviy reaksiyalar umumiy ravishda metabolizm deb ataladi. Uning eng muhim mexanizmlaridan biri anabolizm bo'lib, unda turli xil DNK va fermentlar tomonidan boshqariladigan jarayonlar

orqali kichik birlardangina katta molekularlar, masalan, oqsillar va uglevodlar ishlab chiqariladi. Bioenergetika esa bunday reaksiyalar uchun energiya manbalarini o'rganadi. Muhim energiya manbalaridan biri — bu glukoza, uni o'simliklar fotosintez orqali ishlab chiqarishi yoki oziq-ovqatdan assimilatsiya qilishi mumkin. Barcha organizmlar ushbu energiyani adenozin trifosfat³⁹ (ATF) ishlab chiqarish uchun ishlatadi, bundan esa keyinchalik boshqa reaksiyalarni energiyalashda foydalaniladi.

Ilovalar



Termit reaksiyasi temiryo'lni payvandlashda amalga oshiriladi. Bu jarayonni boshlashdan so'ng, suyuq temir temiryo'l bo'ylab bo'shliqqa to'kilib, qolipga quyiladi.

Kimyoviy reaksiyalar kimyo muhandisligida muhim o'rin egallaydi, chunki ular tabiiy xomashyolardan, ya'ni neft va mineral rudalaridan yangi birikmalarni sintetiklashda qo'llaniladi. Reaksiyalarni iloji boricha samarali amalga oshirish zarur, bunda hosil bo'lgan mahsulotni maksimal darajada olish, reaktivlar, energiya sarfi va chiqindilarni minimallashtirish maqsad qilinadi. Katalizatorlar reaksiyaning energiya talabini kamaytirishda va uning tezligini oshirishda ayniqsa foydali.

Ba'zi maxsus reaksiyalar o'zining alohida qo'llanilish sohalariga ega. Masalan, termit reaksiyasi yoritish va issiqlik hosil qilishda, shuningdek, payvandlashda qo'llaniladi. Bu, odatdagi kislorod-yoqilg'i payvandlash, elektr yoyi yordamida payvandlashga nisbatan kamroq boshqariladigan bo'lsa-da, juda oz jihoz talab qiladi va ayniqsa uzoq hududlarda temiryo'lni tuzatishda ishlatiladi.

³⁹ Adenozintrifosfat kislotasi (ATF) – adenin, riboza va uch molekula fosfat kislotadan tarkib topgan organik modda.

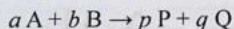
Monitoring

Kimyoviy reaksiyalarni monitoring qilish mexanizmlari, asosan, reaksiyaning tezligiga bog'liq. Nisbatan sekin jarayonlarni joyida tahlil qilib, alohida ingrediventlarning konsentratsiyasi va identifikatsiyasi aniqlanadi. Real vaqt tahlilining muhim vositalaridan biri pH o'lchovlari va optik yutish (rang) va emissiya spektrlarini tahlil qilishdir. Kamroq kirish imkoniyati bo'lsa-da, ammo samarali usul, reaksiyaga radioaktiv izotop kiritish va uni vaqt o'tishi bilan qanday o'zgarishini va qayerga harakatlanishini monitoring qilishdir; bu usul, ko'pincha inson tanasidagi moddalar taqsimotini tahlil qilishda qo'llaniladi. Tezkor reaksiyalarni o'rganishda esa ultratez lazer spektroskopiyasi qo'llaniladi, bu yerda femtosekundli lazerlardan foydalanish orqali qisqa muddatli o'tish holatlari bir necha femtosekund vaqt oralig'ida kuzatilishi mumkin.

Reaksiya tezligi

Reaksiya tezligi yoki reaksiyaning tezligi, reagentlarning⁴⁰ mahsulotlarga aylanish tezligini anglatadi. Masalan, temirning oksidlanish orqali zanglash jarayoni yer atmosferasida sekin sodir bo'lib, yillar davom etishi mumkin, ammo sellulozaning olovda yonishi bir necha soniya ichida amalga oshadi. Ko'plab reaksiyalarda, reaksiya davomida tezlik kamayadi.

Kimyoviy kinetika – bu fizika kimyosining bir qismi bo'lib, reaksiyaning tezligini o'rganadi. Kimyoviy kinetika tushunchalari ko'plab sohalarida, masalan, kimyo muhandisligi, enzimologiya va atrof-muhit muhandisligida qo'llaniladi. Misol tariqasida, tipik kimyoviy reaksiyani ko'rib chiqamiz:



Kichik harflar (a , b , p , va q) stexiometrik koeffitsiyentlarni, katta harflar esa reagentlar (A va B) va mahsulotlarni (P va Q) ifodalaydi.

Agar yopiq tizimda izoxorik sharoitda, reaksiya oraliqlari hosil bo'lmasdan amalga oshsa, reaksiyaning tezligi quyidagicha ta'riflanadi:

$$v = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{p} \frac{d[P]}{dt} = \frac{1}{q} \frac{d[Q]}{dt}$$

[Bu yerda $[X]$ moddaniy konsentratsiyasini ifodalaydi (A , B , P yoki Q). Reaksiya tezligi shunday aniqlanadi va uning birligi mol/L/s bo'ladi.]

Reaksiya tezligi har doim musbat bo'ladi. Salbiy belgisi faqat shuni ko'rsatadiki, reagent konsentratsiyasi kamaymoqda. Xalqaro sof va amaliy kimyo ittifoqi tavsiyalariga ko'ra, vaqt birligi har doim soniya bo'lishi kerak.

⁴⁰ Reagent kimyoviy reaksiya jarayonida foydalaniladigan moddani bildiradi.

Reaksiya tezligi mahsulot P konsentratsiyasining ortish tezligidan doimiy omil (uning stexiometrik sonining teskarisi) va reaksiyaga kirishuvchi modda A uchun stexiometrik sonning teskarisi minus bilan farqlanadi. Stexiometrik raqamlar shu tarzda kiritilgan. Belgilangan tezlik o'ldash uchun qaysi reaksiyaga kirishuvchi modda yoki mahsulot turi tanlanishiga bog'liq emas. Masalan, agar $a=1$ va $b=3$ bo'lsa, B ga qaraganda uch baravar tezroq iste'mol qilinadi. A, lekin $v = -d[A]/dt = -(1/3)d[B]/dt$ yagona aniqlangan. Bu ta'rifning qo'shimcha afzalligi shundaki, elementar va qaytarilmas reaksiya uchun v mahsulotga teng. O'tish holatini yengib o'tish ehtimoli faollanish energiyasi va o'tish holatiga reaksiyaga kirishuvchi modda molekular soniyada necha marta yaqinlashadi. Agar shunday ta'riflangan bo'lsa, elementar va qaytarilmas reaksiya uchun v – mahsulotga olib keladigan muvaffaqiyatli kimyoviy reaksiya hodisalarining tezligi.

Yuqoridagi ta'rif faqat bitta reaksiya uchun, o'zgaras hajmli yopiq tizimda, ta'rifda aniq ko'rsatilishi kerak bo'lgan taxmin uchun amal qiladi. Agar nordon suv solingan idishga suv qo'shilsa, tuz konsentratsiyasi kamayadi, ammo mavjud bo'lsa, kimyoviy reaksiya kuzatilmaydi.

Ochiq tizim uchun to'liq massa balansini hisobga olish kerak: in – out + davr – iste'mol = to'plash.

$$F_{A0} - F_A + \int_0^V v dV = \frac{dN_A}{dt},$$

Bu yerda: F_{A0} – sekundiga molekularlarning kirish tezligi, F_A – chiqish va v – butun tizim hajmi bo'ylab integrallashgan, berilgan differensial hajmdagi A ning bir lahzali reaksiya tezligi (molyar emas, balki sonli konsentratsiyada) berilgan davr. Yuqorida ko'rib chiqilgan doimiy hajmdagi yopiq tizimga qo'llanilganda, bu tenglama

$$r = \frac{d[A]}{dt},$$

ga kamayadi.

Bu yerda: konsentratsiya $[A]$ molekular soni N_A by $[A] = N_A / NoV$ bilan bog'liq. Bu yerda: N_o – Avogadro doimiysi⁴¹.

O'zgaruvchan hajmdagi yopiq tizimda bitta reaksiya uchun konsentratsiyalar bilan ishlov berishdan qochish uchun konversiya tezligidan foydalanish mumkin. Bu vaqtga nisbatan reaksiya darajasining hosilasi sifatida aniqlanadi.

$$v = \frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dn_i}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{d(C_i V)}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \left(V \frac{dC_i}{dt} + C_i \frac{dV}{dt} \right)$$

⁴¹ Avogadro doimiysi (belgilari: L, NA) zarrachalar (odatda atom yoki molekularlar) soni N ning modda miqdori n (mol) ga nisbati $NA = N/n$ deb aniqlanadi.

Bu yerda: $v - i$ moddaning stexiometrik koeffitsiyenti, a, b, p va q in yuqoridagi tipik reaksiyaga teng. Shuningdek, reaksiya hajmi va C_i moddaning konsentratsiyasi.

Agar yon mahsulotlar yoki reaksiya oraliqlari hosil bo'lsa, Xalqaro sof va amaliy kimyo ittifoqi mahsulotlar va reagentlar uchun konsentratsiyaning ortishi va kamayishining tezligini to'g'ri ishlatishni tavsiya qiladi.

Reaksiya tezliklari reaktor hajmi asosida ham ta'riflanishi mumkin. Agar katalizator ishlatilsa, reaksiya tezligi katalizatorning og'irligi ($\text{mol g}^{-1} \text{s}^{-1}$) yoki yuzasi ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) asosida ifodalanishi mumkin. Agar asos sifatida aniq bir katalizator joyi ishlatilsa va u belgilangan usul bilan qat'iy hisoblanishi mumkin bo'lsa, tezlik sekunda o'lchanadi va buni "aylanma chastota" deb atashadi.

Reaksiya tezligiga ta'sir qiluvchi omillar

Reaksiyaning tabiati, konsentratsiya, bosim, reaksiya tartibi, harorat, erituvchi, elektromagnit nurlanish, katalizator, izotoplar, yuzaning maydoni, aralash-tirish va diffuziya chegarasi. Ba'zi reaksiyalar boshqalariga qaraganda tabiatan tezroq sodir bo'ladi. Reaksiya tezligiga ta'sir qiluvchi omillar orasida reaksiya ishtirokchilari soni, ularning jismoniy holati (qattiq moddalarni hosil qiladigan zarrachalar gaz yoki eritmadagi zarrachalarga qaraganda ancha sekin harakatlana-dii), reaksiyaning murakkabligi va boshqa omillar katta ahamiyatga ega.

Reaksiya tezligi konsentratsiya bilan oshadi, bu tezlik qonuni orqali tushuntiriladi va to'qnashuv nazariyasi bilan izohlanadi. Reagent konsentratsiyasi oshgan sari, to'qnashuvlarning chastotasi ham oshadi. Gazli reaksiyalarda reaksiyaning tezligi bosim bilan oshadi, bu, aslida, gaz konsentratsiyasining oshishi bilan teng-dir. Reaksiya tezligi, gaz molekullari soni kam bo'lgan yo'nalishda oshadi va teskari yo'nalishda kamayadi. Kondensatsiya fazasidagi reaksiyalarda bosimning ta'siri zaif bo'ladi.

Reaksiyaning tartibi, reagent konsentratsiyasi (yoki bosim) qanday ta'sir qilishini boshqaradi. Odatda, reaksiyani yuqori haroratda o'tkazish tizimga ko'proq energiya beradi va to'qnashuvlarning sonini oshirish orqali reaksiyaning tezligini oshiradi, bu to'qnashuv nazariyasiga asosan tushuntiriladi. Biroq, haroratning reaksiyaning tezligiga ta'sir qilishining asosiy sababi shundaki, ko'proq to'qnashgan zarrachalar kerakli faollanish energiyasiga ega bo'lib, natijada muvaffaqiyatli to'qnashuvlar sodir bo'ladi (reagentlar o'rtasida bog'lanishlar hosil bo'ladi). Haroratning ta'siri Arrenius tenglamasi orqali tavsiflanadi. Masalan, ko'mir olovda kislorod mavjud bo'lsa yonadi, ammo xona haroratida saqlanayot-ganda yonmaydi. Reaksiya past va yuqori haroratda spontandir, lekin xona haro-ratida uning tezligi juda sekin bo'lib, u e'tiborga olinmaydi. Haroratning oshishi, masalan, yoritqichni yondirganda, reaksiyaning boshlanishiga olib keladi va keyin o'zini isitadi, chunki bu ekzotermik reaksiyadir. Bu boshqa ko'plab yoqilg'ilar, masalan, metan, butan va vodorod uchun ham to'g'ri.

Reaksiya tezliklari haroratga bog'liq bo'lmazligi mumkin (non-Arrenius) yoki harorat oshgani sari kamayishi mumkin (anti-Arrenius). Faollanish to'sig'i bo'lmagan reaksiyalar (masalan, ba'zi radikal reaksiyalar) anti-Arrenius haroratga bog'lanishiga ega bo'ladi: bu turdagi reaksiyalarda tezlik doimiysi harorat oshishi bilan kamayadi.

Ko'pgina reaksiyalar eritmada sodir bo'ladi va erituvchining xususiyatlari reaksiya tezligiga ta'sir qiladi. Ion kuchi ham reaksiya tezligiga ta'sir ko'rsatadi.

Elektromagnit nurlanish energiya shaklidir. Shunday qilib, bu energiya reaksiya tezligini oshirishi yoki reaksiyani o'z-o'zidan sodir bo'lishiga olib kelishi mumkin, chunki u reagentlarning zarralariga ko'proq energiya beradi. Bu energiya bir tarzda yoki boshqa tarzda reagent zarralarida saqlanadi (u bog'larni sinishi, molekullarni elektron yoki vibratsion jihatdan hayajonli holatlarga o'tkazishi mumkin) va oson reaksiyaga kirishadigan oraliq turlarini yaratadi. Yorug'lik intensivligi oshgani sayin, zarralar ko'proq energiya so'rib olishadi va shuning uchun reaksiya tezligi oshadi. Masalan, metan xlor bilan qorong'ida reaksiyaga kirishganda, reaksiya tezligi sekinlashadi. Agar aralashma tarqalgan yorug'lik ostida qo'yilsa, reaksiyaning tezligi oshadi. Quyosh nurida, reaksiya portlash hosil qiladi.

Katalizatorning mavjudligi reaksiya tezligini (ikki yo'nalishda ham) oshiradi, chunki u pastroq faollanish energiyasiga ega bo'lgan muqobil yo'lni taqdim etadi. Misol tariqasida, platina vodorod va kislorodning yonishini xona haroratida katalizlaydi.

Kinetik izotop effekti bir xil molekulaning turli izotoplari, ayniqsa vodorod izotoplari uchun reaksiya tezligidagi farqlanish hisoblanadi. Bu hodisa vodorod va deyteriyning nisbiy massalaridagi tafovut tufayli yuz beradi. Yuzaning kattalashishi Geterogen katalizda bo'lgani kabi sirt reaksiyalarida tezlikning oshishiga sabab bo'ladi. Chunki qattiq jismning zarrachalari ochilgani sari, reagent molekullari bilan o'zaro ta'sir qilish imkoniyati oshib boradi. Shuningdek, geterogen reaksiyalarda aralashtirish jarayoni juda muhim rol o'ynaydi, chunki u reagentlarning katalizator yuzasiga yetib borishini jadallashtirib, reaksiya tezligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Ba'zi reaksiyalar diffuziya bilan cheklangan. Konsentratsiya va reaksiya tartibidan tashqari, reaksiya tezligiga ta'sir qiluvchi barcha omillar reaksiya tezligi koeffitsiyenti (reaksiya tezligi tenglamasidagi koeffitsiyent)da hisobga olinadi.

Tezlik tenglamasi

Kimyoviy reaksiya uchun tezlik tenglamasi yoki tezlik qonuni – bu kimyo kinetikasi bo'yicha reaksiyaning tezligini har bir reagentning konsentratsiyasiga bog'lash uchun ishlatiladigan matematik ifodadir. U odatda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$v = k(T) [A]^n [B]^m$$

Gaz fazasidagi reaksiyalar uchun tezlik ko'pincha qisman bosimlar orqali bo'ladi.

Ushbu tenglamalarda $k(T)$ reaksiyaning tezlik koeffitsiyenti yoki tezlik doimiysi, lekin aslida bu doimiy emas, chunki u reaksiya tezligiga ta'sir qiluvchi barcha parametrlarni, konsentratsiya hisobga olingan holda o'z ichiga oladi. Reaksiya tezligiga ta'sir qiluvchi barcha parametrlar ichida, odatda, eng muhimi haroratdir va bu Arrenius tenglamasi orqali hisobga olinadi.

n va m eksponentlar reaksiya tartiblari bo'lib, ular reaksiya mexanizmiga bog'liq. Bir bosqichli (elementar) reaksiyalarda har bir reagentning tartibi uning stexiometrik koeffitsiyentiga teng bo'ladi. Biroq, murakkab (ko'p bosqichli) reaksiyalarda bu har doim ham to'g'ri bo'lmaydi va tezlik tenglamasi batafsil mexanizmga asoslanib aniqlanadi, masalan, H_2 va NO reaksiyasi uchun quyida keltirilgan.

Elementar reaksiya yoki reaksiya bosqichlari uchun tartib va stexiometrik koeffitsiyent bir vaqtning o'zida molekulyarlik yoki ishtirok etayotgan molekullar soniga teng bo'ladi.

Agar reaksiya yoki bosqich bir molekulyar bo'lsa, tezlik reagent molekullarining konsentratsiyasiga proporsional bo'ladi, shuning uchun tezlik qonuni birinchi tartibda bo'ladi. Agar reaksiya yoki bosqich ikki molekulyar bo'lsa, zarbalar soni ikkita reagent konsentratsiyasining ko'paytmasiga proporsional bo'ladi, ya'ni ikkinchi tartibda. Uch molekulyar bosqich uchinchi tartibda bo'lishi kutiladi, lekin bu juda sekin bo'ladi, chunki uch molekulaning bir vaqtda zarbasi kam uchraydi.

Massani saqlash orqali reaksiya sodir bo'layotgan tizim uchun konsentratsiyaning o'zgarish tezligi ifodalanishi mumkin. Doimiy hajmdagi yopiq tizimda bunday ifoda quyidagi ko'rinishda bo'lishi mumkin:

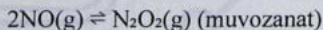
$$\frac{d[P]}{dt} = k(T)[A]^n[B]^m$$

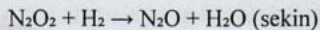
Murakkab reaksiyaga misol: vodorod va azot oksidi

$2H_2(g) + 2NO(g) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$ reaksiyasi uchun kuzatilgan tezlik tenglamasi (yoki tezlik ifodasi) quyidagicha bo'ladi: $v = k[H_2][NO]^2$

Ko'plab reaksiyalar uchun tajribaviy tezlik tenglamasi umumiy reaksiyaning stexiometrik koeffitsiyentlarini oddiy tarzda aks ettirmaydi: u umumiy hisobda uchinchi tartibda, birinchi tartibda H_2 uchun va ikkinchi tartibda NO uchun, garchi ikkala reagentning stexiometrik koeffitsiyentlari ham 2 ga teng bo'lsa ham.

Kimyo kinetikasida umumiy reaksiya tezligi ko'pincha bir nechta elementar bosqichlardan iborat bo'lgan mexanizm orqali tushuntiriladi. Ushbu bosqichlarning barchasi reaksiya tezligiga ta'sir qilavermaydi; odatda eng sekin elementar bosqich reaksiya tezligini boshqaradi. Ushbu misolda, mumkin bo'lgan mexanizm quyidagicha:





Birinchi va uchinchi reaksiyalar ikkinchisiga nisbatan juda tez bo'ladi, shuning uchun sekin reaksiya tezlikni aniqlovchi bosqich hisoblanadi. Bu ikki molekulyar elementar reaksiya bo'lib, uning tezligi ikkinchi tartibdagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$v = k_2[\text{H}_2][\text{N}_2\text{O}_2]$$

Biroq, N_2O_2 – bu beqaror oraliq birikmasi bo'lib, uning konsentratsiyasi birinchi bosqichning muvozanatda bo'lishi sababli aniqlanadi, shunday qilib, $[\text{N}_2\text{O}_2] = K_1[\text{NO}]^2$, bu yerda, K_1 birinchi bosqichning muvozanat konstantasidir. Ushbu tenglamani avvalgi tenglamaga qo'shish orqali, dastlabki reagentlar nuqtasiga nazaridan ifodalangan tezlik tenglamasiga olib keladi:

$$v = k_2 K_1 [\text{H}_2][\text{NO}]^2$$

Agar $k = k_2 K_1$ deb faraz qilinsa, bu kuzatilgan tezlik tenglamasining shakli bilan mos keladi. Amalda, tezlik tenglamasi, tajribaga mos keladigan tezlik tenglamasini bashorat qiluvchi mumkin bo'lgan mexanizmlarni taklif qilish uchun ishlatiladi.

Ikkinchi H_2 molekulasini tezlik tenglamasida ko'rinmaydi, chunki u uchinchi bosqichda reaksiyaga kirishadi, bu esa tezlikni belgilovchi bosqichdan keyin tezkor bosqichdir, shuning uchun u umumiy reaksiyaning tezligiga ta'sir qilmaydi.

Temperaturaga bog'liqligi

Har bir reaksiya tezligi koeffitsiyenti k temperaturaga bog'liq bo'lib, bu odatda Arrenius tenglamasi orqali ifodalanadi:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

E_a – bu faollanish energiyasi, R esa gaz doimiysi. T temperaturada molekulyar Boltsman taqsimoti bo'yicha energiyalarga ega bo'lgani uchun, E_a dan yuqori energiyaga ega to'qnashuvlar soni $e^{-\frac{E_a}{RT}}$ ga proporsional bo'lishini kutish mumkin. A esa preeksponensial omil yoki chastota omilidir.

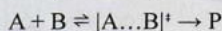
A va E qiymatlari reaksiyaga bog'liqdir. Shuningdek, bu shablonni kuzatmaydigan boshqa tezlik konstantalarining temperaturaga bog'liqligini tasvirlaydigan murakkabroq tenglamalar mavjud. Kimyoviy reaksiya faqat reaktiv zarrachalar to'qnashganda sodir bo'ladi. Biroq, barcha to'qnashuvlar reaksiyani yuzaga keltirishda samarali bo'lmaydi. Mahsulotlar faqat to'qnashgan zarrachalar ma'lum bir minimal energiyaga ega bo'lganida, bu energiya minimal energiya deb ataladi. Ko'plab reaksiyalar uchun, umumiy qoida sifatida, har 10 daraja selsiyya oshiril-

gan haroratda reaksiya tezligi ikki baravarga ortadi. Ma'lum bir reaksiyani ko'rib chiqishda, uning yuqori haroratdagi tezlik konstantasi bilan past haroratdagi tezlik konstantasi orasidagi nisbat, uning temperaturaga bog'liqligi (Q) deb ataladi. Q_{10} – bu ko'pincha 10 °C farqdagi tezlik konstantalarining nisbati sifatida ishlatiladi.

Bosimga bog'liqlik

Kondensatsiya bosqichidagi reaksiyalar uchun (ya'ni reagentlar va mahsulotlar qattiq yoki suyuq holatda bo'lganda) tezlik konstantasining bosimga bog'liqligi, sanoatda odatda uchraydigan bosimlar oralig'ida yetarlicha kuchsiz bo'lib, amalda hisobga olinmaydi.

Tezlik konstantasining bosimga bog'liqligi faollanish hajmi bilan bog'liqdir. Faollanish holatidagi kompleks orqali o'tadigan reaksiyaga qarasak:



faollanish hajmi, $\Delta V^{\ddagger}$ quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta V^{\ddagger} = \bar{V}^{\ddagger} - \bar{V}_A - \bar{V}_B$$

bu yerda: $\bar{V}$ – bu turlarning qisman molyar hajmi va $\ddagger$ faollanish holatidagi kompleksni bildiradi.

Yuqoridagi reaksiyada, konstant haroratda bosim bilan reaksiyaning tezlik konstantasining o'zgarishini kutish mumkin, bu esa quyidagicha bo'ladi:

$$\left(\frac{\partial \ln k_x}{\partial P} \right)_T = - \frac{\Delta V^{\ddagger}}{RT}$$

Amalda, bu masala murakkablashishi mumkin, chunki qisman molyar hajmlar va faollanish hajmi o'zlari bosimning funksiyasi bo'ladi. Reaksiyalar bosim bilan tezliklarini oshirishi yoki kamaytirishi mumkin, bu esa $\Delta V^{\ddagger}$ ning qiymatiga bog'liq. Bosim ta'sirining mumkin bo'lgan kattaligi misolida, ba'zi organik reaksiyalar bosim 0.1 MPa dan 50 MPa gacha oshirilganda (bu esa $\Delta V^{\ddagger} = -0.025$ L/molni beradi) reaksiyaning tezligini ikki baravarga oshirganligi ko'rsatilgan.

Tezlik tenglamasi

Kimyoviy reaksiya uchun tezlik qonuni yoki tezlik tenglamasi reaksiyaning tezligini reagentlarning konsentratsiyalari yoki bosimlari bilan va doimiy parametrlar (odatda tezlik koeffitsiyentlari va qisman reaksiyaning tartib raqamlari) bilan bog'laydigan tenglamadir. Ko'plab reaksiyalar uchun tezlik kuchaytiruvchi qonun bilan ifodalanadi, masalan:

$$v = k[A]^x[B]^y$$

bu yerda, $[A]$ va $[B]$ A va B turlarining konsentratsiyasini bildiradi (odatda mol/litrda (molarlik, M)). Eksponentlar x va y – bu A va B turlari uchun qisman reaksiyaning tartiblari va umumiy reaksiyaning tartibi eksponentlarning yig'indisi bo'ladi. Bu eksponentlar ko'pincha musbat butun sonlar bo'lsa-da, ular nol, kasr yoki manfiy ham bo'lishi mumkin. k doimiysi – bu reaksiyaning tezlik konstantasi yoki tezlik koeffitsiyenti. Uning qiymati sharoitlarga, masalan, harorat, ion kuchi, adsorbentning yuzasi yoki yorug'lik nurlanishi kabi omillar bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Birlamchi (bir qadamli) reaksiyalar va reaksiyalar bosqichlari har bir reagent uchun reaksiyaning tartibini stexiometrik koeffitsiyentlarga teng bo'lgan tarzda ko'rsatadi. Umumiy reaksiyaning tartibi, ya'ni reagentlarning stexiometrik koeffitsiyentlarining yig'indisi har doim birlamchi reaksiyaning molekulyarligiga teng bo'ladi. Biroq, murakkab (ko'p qadamli) reaksiyalarda reaksiyaning tartibi stexiometrik koeffitsiyentlarga teng bo'lmasligi mumkin. Bu, reaksiyaning tartibi va tezlik tenglamasini reaksiyaning stexiometrik tuzilmasidan ishonchli ravishda aniqlab bo'lmasligini bildiradi va bu tajriba usulida aniqlanishi kerak, chunki noma'lum reaksiyaning mexanizmi birlamchi yoki murakkab bo'lishi mumkin. Eksperimental tezlik tenglamasi aniqlangandan so'ng, u ko'pincha reaksiyaning mexanizmini aniqlashda foydali bo'ladi.

Faraz qilingan ko'p bosqichli mexanizmga ega bo'lgan reaksiyaning tezlik tenglamasini ko'pincha asosiy elementar reaksiyalardan kvazibarqaror holat taxminlari yordamida nazariy jihatdan olish mumkin va taxmin qilingan mexanizmni sinab ko'rish uchun eksperimental tezlik tenglamasi bilan solishtirish kerak. Bu esa kasr tartibini o'z ichiga oladi va oraliq turning konsentratsiyasiga bog'liq bo'lishi mumkin.

Agar reaksiyaning tezligi faqatgina reagentning konsentratsiyasining ba'zi kuchiga nisbatan mutanosib bo'lmasa, u holda reaksiyaning tartibi aniqlanmagan bo'lishi mumkin. Masalan, adsorbsiyalangan molekullar orasidagi bimolekulyar reaksiyada reaksiya tartibi haqida gapira olmaymiz.

$$v = k \frac{K_1 K_2 C_A C_B}{(1 + K_1 C_A + K_2 C_B)^2}.$$

Odatdagi kimyoviy reaksiyani ko'rib chiqaylik, unda ikkita reagent A va B birlashib C mahsulotini hosil qiladi:



Bu quyidagicha yozilishi ham mumkin:

$$0 = -A - 2B + 3C$$

Bu yerda, -1, -2 va 3 prefaktorlar (reagentlar uchun salbiy belgilar, chunki ular iste'mol qilinadi) stexiometrik koeffitsiyentlar sifatida tanilgan. Bir molekula

A ikki molekula B bilan birlashib 3 molekula C hosil qiladi, shuning uchun [X] belgisi yordamida kimyoviy X ning moli sonini ifodalashimiz mumkin.

$$-\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{3} \frac{d[C]}{dt}.$$

Agar reaksiyaga yopiq tizimda doimiy harorat va hajmda, reaksiya o'rtasidagi oraliq mahsulotlarning to'planmasdan o'tishini hisobga olsak, reaksiyaning tezligi quyidagicha ta'riflanadi:

$$v = \frac{1}{\nu_i} \frac{d[X_i]}{dt},$$

Bu yerda, ν_i – kimyoviy X_i uchun stexiometrik koeffitsiyent.

Reaksiyaning tezligi reagentlarning konsentratsiyalariga ba'zi funksional bog'lanishga ega bo'lishi kerak:

$$v = f([A], [B], \dots),$$

va bu bog'lanish tezlik tenglamasi yoki tezlik qonuni deb ataladi. Ushbu qonun odatda kimyoviy tenglamadan chiqarib olinmaydi va tajriba bilan aniqlanishi kerak.

Quvvat qonunlari

Tezlik tenglamasining keng tarqalgan shakli quvvat qonunidir:

$$v = k[A]^x [B]^y \dots$$

Bu yerda, k – tezlik doimiysi deb ataladi. Eksponentlar (x va y) kasr bo'lishi mumkin, reaksiyaning qisman tartiblari deb ataladi va ularning yig'indisi umumiy reaksiya tartibini beradi.

Suyuqlikda, birlamchi reaksiyalar (bitta bosqichli va bitta o'tish holatiga ega bo'lgan) tajriba asosida massasining ta'sir qonuniga amal qilishi aniqlangan. Bu qonun, tezlik faqatgina reagentlarning konsentratsiyalariga bog'liq ekanligini, har bir reagentning stexiometrik koeffitsiyentlarining kuchlariga ko'tarilgan holda taqdim etadi.

Reaksiya tartibini aniqlash

Boshlang'ich tezliklar usuli

Quvvat qonuniga asoslangan tezlik tenglamasining tabiiy logarifmi quyidagicha ifodalanadi:

$$\ln v = \ln k + x \ln([A]) + y \ln([B]) + \dots$$

Bu tenglama har bir reagentning reaksiya tartibini baholash uchun ishlatilishi mumkin. Masalan, boshlang'ich tezlikni, A reagentining turli boshlang'ich konsentratsiyalarida barcha boshqa konsentratsiyalar (masalan, [B], [C], ...) doimiy saqlanib turadigan sharoitda o'lchash mumkin, shunda:

$$\ln v = x \ln[A] + \text{konstant}.$$

$\ln[A]$ ning funksiyasi sifatida $\ln(v)$ grafigining egri chizig'ining burchagi x tartibni A reagentiga nisbatan belgilaydi. Biroq, bu usul har doim ishonchli emas, chunki:

1. Boshlang'ich tezlikni o'lchash, konsentratsiyaning kichik o'zgarishlarini qisqa vaqt ichida to'g'ri aniqlashni talab qiladi (reaksiyaning yarimyemirilish davriga nisbatan) va bu o'lchash turi xatolarga ta'sirchan.

2. Agar tezlik reaksiyaning boshida mavjud bo'lmagan moddalar, ya'ni oraliq mahsulotlariga bog'liq bo'lsa, tezlik tenglamasi to'liq aniqlanmaydi.

Integral usuli

Boshlang'ich tezliklar usuli bilan aniqlangan taxminiy tezlik tenglamasi, odatda, integratsiyalangan tezlik tenglamasi bilan birga uzoq vaqt davomida (bir necha yarim yemirilish davri) o'lchangan konsentratsiyalarni solishtirish orqali tekshiriladi. Misol uchun, birinchi tartibli reaksiya uchun integratsiyalangan tezlik qonuni quyidagicha:

$$\ln[A] = -kt + \ln[A]_0,$$

Bu yerda, $[A]_0 - t$ vaqtidagi konsentratsiya, $[A]$ esa nol vaqtidagi boshlang'ich konsentratsiyadir. Agar $\ln [A]$ haqiqatan ham vaqtning chiziqli funksiyasi bo'lsa, birinchi tartibli tezlik qonuni tasdiqlanadi. Bunday holatda, tezlik doimiysi k belgisi teskari bo'lgan belgisiga teng.

To'ldirish usuli

Berilgan reaksiyaga kirishuvchi modda bo'yicha qisman tartib Ostvald⁴²ning to'ldirish (yoki izolatsiya) usuli yordamida baholanishi mumkin. Ushbu usulda bir reaksiyaga kirishuvchi moddaning konsentratsiyasi o'lchanib, boshqa barcha reaksiyaga kirishuvchi moddalar esa katta ortiqcha miqdorda bo'ladi, shuning uchun ularning konsentratsiyasi deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi. Agar reaksiya quyidagicha bo'lsa: $a \cdot A + b \cdot B \rightarrow c \cdot C$ reaksiyasi va tezlik qonuni: $v = k \cdot [A]^x \cdot [B]^y$ bo'lsa, A ga nisbatan qisman tartib B ning katta ortiqcha miqdori yordamida aniqlanadi. Bu holatda:

$$v = k' \cdot [A]^x \text{ with } k' = k \cdot [B]^y \text{ } k' = k \cdot [B]^y,$$

⁴² Vilhelm Ostvald (1853–1932) – nemis fizik-kimyogari.

va x integratsiyalangan usul yordamida aniqlanishi mumkin. Xuddi shunday sharoitlarda bir qator o'xshash tajribalar o'tkazilib (B ortiqcha miqdorda bo'lsa) B ga nisbatan tartib y , boshlang'ich konsentratsiya $[B]_0$ ning turli qiymatlari o'rganiladi, shunda k ning o'zgarishi o'lchanishi mumkin.

Nolinchi tartib

Nol tartibli reaksiyalar uchun, reaksiya tezligi reaksiyaga kirishuvchi modda konsentratsiyasidan mustaqil bo'ladi, shuning uchun uning konsentratsiyasini o'zgartirish reaksiyaning tezligiga ta'sir qilmaydi. Shunday qilib, konsentratsiya vaqt bilan chiziqli ravishda o'zgaradi. Bu reaksiya biror-bir ferment yoki katalitik yuzaga tegishli bo'lsa va bu yuzaga reaksiyaga kirishuvchi modda molekulalarining soni cheklangan bo'lsa yuz berishi mumkin. Agar reaksiyaga kirishuvchi moddaning konsentratsiyasi ferment konsentratsiyasidan ancha katta va bu fermentning tezlikni boshqarishiga imkon beradigan darajada to'yingan bo'lsa, u ko'plab fermentlar tomonidan katalizlangan reaksiyalar nol tartibda bo'ladi. Misol uchun, etanolning asetaldegidlarga biokimyoviy oksidlanishi, laktat devodorodaza fermenti (LDH) tomonidan amalga oshiriladi va bu etanol uchun nol tartibda bo'ladi. Shuningdek, geterogen katalizli reaksiyalar agar katalitik yuzaga to'yingan bo'lsa, u holda nol tartibda bo'lishi mumkin. Misol uchun, fosfin (PH_3)ning yuqori bosimdagi issiq volfram yuzasida parchalanishi, fosfin uchun nol tartibda bo'lib, u doimiy tezlikda parchalanadi.

Gomonogen katalizda nol tartibli xatti-harakatlar teskari ingibitsiya orqali yuzaga kelishi mumkin. Misol uchun, uchinchi avlod Grabbs katalizatori yordamida halqani ochish metatezasi polimerizatsiyasi piridin va ruteniy markazi o'rtasida yuzaga keladigan teskari ingibitsion tufayli katalizatorida nol tartibli xatti-harakatni namoyish etadi.

Birinchi tartib

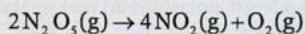
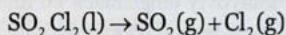
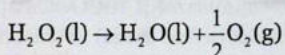
Birinchi tartibli reaksiya faqat bitta reaksiyaga kirishuvchi modda konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi (bu bir molekulyar reaksiya). Boshqa reaksiyaga kirishuvchi moddalar mavjud bo'lishi mumkin, ammo har birining tartibi nol bo'ladi. Bunday reaksiya uchun tezlik qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A],$$

Uning yarmi boshlang'ich konsentratsiyadan mustaqil bo'ladi va quyidagicha beriladi:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}.$$

Bunday reaksiyalarga misollar:



Organik kimyoda, S_1 (nukleofil almashtirish bir molekulyar) reaksiyalar sinfi birinchi tartibli reaksiyalarni tashkil etadi. Masalan, arendiazon ionlarining nukleofillarli suvli eritmada reaksiyasida, $\text{ArN}_2^+ + \text{X}^- \rightarrow \text{ArX} + \text{N}_2$, tezlik tenglamasi $v = k[\text{ArN}_2^+]$ bo'ladi, bu yerda Ar aril guruhini anglatadi.

Ikkinchi tartib

Agar umumiy tartib ikki bo'lsa, reaksiya ikkinchi tartibda bo'lgan deb ataladi. Ikkinchi tartibli reaksiyaning tezligi bir konsentratsiyaning kvadratiga proporsional bo'lishi mumkin: $v = k[\text{A}]^2$ yoki (ko'proq uchraydigan holatda) ikkita konsentratsiyaning ko'paytmasiga proporsional bo'ladi $v = k[\text{A}][\text{B}]$

Birinchi turdagi misol sifatida, $\text{NO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{NO} + \text{CO}_2$ reaksiyasi, NO reaksiyasida ikkinchi tartibli va CO reaksiyasida nol tartibda bo'ladi. Kuzatilgan tezlik $v = k[\text{NO}_2]^2$ bo'lib, CO konsentratsiyasidan mustaqil bo'ladi. Agar tezlik bir konsentratsiyaning kvadratiga proporsional bo'lsa, konsentratsiyaning vaqtga bog'liqligi quyidagicha beriladi:

$$\frac{1}{[\text{A}]} = \frac{1}{[\text{A}]_0} + kt$$

Ikki teng bo'lmagan konsentratsiyaning ko'paytmasiga proporsional bo'lgan tezlik uchun vaqtga bog'liqlik quyidagicha beriladi:

$$\frac{[\text{A}]}{[\text{B}]} = \frac{[\text{A}]_0}{[\text{B}]_0} e^{([\text{A}]_0 - [\text{B}]_0)kt};$$

Agar konsentratsiyalar teng bo'lsa, ular avvalgi tenglamani qanoatlantiradi. Ikkinchi turga nukleofil qo'shilish-chiqish reaksiyalari kiradi, masalan, etil asetatning alkalini gidrolizi:



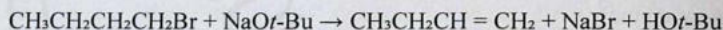
Ushbu reaksiya har bir reaksiyaga kirishuvchi modda bo'yicha birinchi tartibda va umumiy tarzda ikkinchi tartibda bo'ladi:

$$r = k[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{OH}^-]$$

Agar bir xil gidroliz reaksiyasi imidazol tomonidan katalizlansa, tezlik tenglamasi quyidagicha bo'ladi: $v = k[\text{imidazol}][\text{CH}_3\text{COOC}\cdot\text{H}_3]$. Tezlik birinchi tartibda bir reaksiyaga kirishuvchi moddaga (etil asetat) va shuningdek, imidazolga, ya'ni katalizator bo'lib, umumiy kimyoviy tenglamada ko'rinmaydigan modda uchun birinchi tartibda bo'ladi. Ikkinchi tartibli reaksiyalarning yana bir yaxshi ma'lum sinfi S_N2 (bimolekulyar nukleofil almashtirish) reaksiyalari bo'lib, masalan, n-butil bromidning natriy iodid bilan asetondagi reaksiyasi:



Ushbu bir xil birikma bimolekulyar (E2) eliminatsiya reaksiyasiga olib kelishi mumkin, agar natriy iodid va aseton o'rniga natriy tret-butoksidini tuz sifatida va tertbutanolni erituvchi sifatida almashtirilsa bu ikkinchi tartibli reaksiyaning yana bir keng tarqalgan turi bo'ladi.



Soxta-birinchi tartib

Agar bir reaksiyaga kirishuvchi moddaning konsentratsiyasi doimiy bo'lsa (masalan, agar u katalizator bo'lsa yoki boshqa reaksiyaga kirishuvchi moddalarga nisbatan katta ortiqcha miqdorda bo'lsa), uning konsentratsiyasi tezlik doimiysiga kiritilishi mumkin, shunda soxta-birinchi tartibli (yoki ba'zan soxta-ikkinchi tartibli) tezlik tenglamasi olinadi. Tipik ikkinchi tartibli reaksiya uchun tezlik tenglamasi $v = k[A][B]$, agar B reaksiyaga kirishuvchi moddaning konsentratsiyasi doimiy bo'lsa, unda $v = k[A][B] = k'[A]$, bu yerda soxta-birinchi tartibli tezlik doimiysi $k' = k[B]$. Ikkinchi tartibli tezlik tenglamasi soxta-birinchi tartibli tezlik tenglamasiga kamaytirilgan bo'ladi, bu esa integratsiyalangan tezlik tenglamasini olishni ancha osonlashtiradi. Soxta-birinchi tartibli reaksiyani olishning bir usuli – bir reaksiyaga kirishuvchi moddaning katta ortiqcha miqdorini ishlatishdir (masalan, $[B] \gg [A]$), shunda reaksiya davom etar ekan, ortiqcha reaksiyaga kirishuvchi moddaning faqat kichik bir qismi iste'mol qilinadi va uning konsentratsiyasi doimiy bo'lib qoladi. Masalan, efilarning gidrolizi suyultirilgan mineral kislotalar yordamida soxta-birinchi tartibli kinetikani kuzatadi, bunda suv konsentratsiyasi katta ortiqcha miqdorda bo'ladi:



Saxarozaning kislotali eritmadagi gidrolizi ko'pincha birinchi tartibli reaksiya sifatida keltiriladi, tezlik tenglamasi $r = k[\text{saxaroza}]$. Asl tezlik tenglamasi esa uchinchi tartibda bo'lib, $r = k[\text{saxaroza}][\text{H}^+][\text{H}_2\text{O}]$; ammo, katalizator H^+ va erituvchi H_2O ning konsentratsiyalari odatda doimiy bo'ladi, shuning uchun reaksiya soxta-birinchi tartibli bo'ladi.

Reaksiya tartiblari 0, 1, 2 va n

Uchinchi tartibdagi (ternar reaksiyalar deb ataladigan) elementar reaksiya qadamlarining o'zi kamdan kam uchraydi va ehtimoliy emas. Biroq, bir necha elementar qadamdan iborat bo'lgan umumiy reaksiyalar har qanday (shu jumladan butun bo'lmagan) tartibda bo'lishi mumkin.

	Nolinchi tartib	Birinchi tartib	Ikkinchi tartib	N inchi tartib
Reaksiya tezligi qonuni	$-d[A]/dt = k$	$-d[A]/dt = k[A]$	$-d[A]/dt = k[A]^2$	$-d[A]/dt = k[A]^n$
Integratsiyalashgan tezlik qonuni	$[A] = [A]_0 - kt$	$[A] = [A]_0 e^{-kt}$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$	$\frac{1}{[A]^{n-1}} = \frac{1}{[A]_0^{n-1}} + (n-1)kt$ [Birinchi tartib]
Tezlik birliklari (k)	$\frac{M}{s}$	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{M \cdot s}$	$\frac{1}{M^{n-1} \cdot s}$
k ni aniqlash uchun chiziqli chizma	$[A]$ vs. t	$\ln[A]$ vs. t	$\frac{1}{[A]}$ vs. t	$\frac{1}{[A]^{n-1}}$ vs. t [Birinchi tartibdan tashqari]
Yarim umr	$t_{\frac{1}{2}} = \frac{[A]_0}{2k}$	$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{k}$	$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{k[A]_0}$	$t_{\frac{1}{2}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2^{x-1} - 1}{(x-1)k[A]_0^{n-1}}$ [cheklash faqat birinchi navbatda kerak]

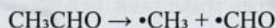
Bu yerda M konsentratsiyani molyarlikda ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ifodalaydi, t vaqtini va k reaksiya tezlik doimiysini bildiradi. Birinchi tartibli reaksiyaning yarim umri ko'pincha $t_{1/2} = 0.693/k$ ($\ln 2 = 0.693$ sifatida) shaklida ifodalanadi.

Kasr tartib

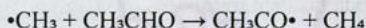
Kasr tartibli reaksiyalarda tartib butun bo'lmagan son bo'ladi, bu ko'pincha kimyoviy zanjirli reaksiya yoki boshqa murakkab reaksiya mexanizmini ko'rsatadi. Masalan, asetaldegidning (CH_3CHO) metan va uglerod oksidiga pirolizi asetaldegidga nisbatan 1.5 tartibda amalga oshadi: $r = k[\text{CH}_3\text{CHO}]^{3/2}$. Fosgenning (COCl_2) uglerod oksidi va xlorga parchalanishi fosgen o'zi uchun 1 tartibda va xlor uchun 0.5 tartibda bo'ladi: $v = k[\text{COCl}_2][\text{Cl}_2]^{1/2}$.

Zanjirli reaksiya tartibi reaksiyaga kirishuvchi modda oraliqlarning (masalan, erkin radikallarning) konsentratsiyasini barqaror holat yaqinlashuvi (steady state approximation) yordamida izohlash mumkin. Asetaldegidning pirolizi uchun Rays-Gersfeld mexanizmi quyidagicha bo'ladi:

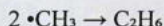
Boshlanish:



Tarqalish:



Tugash:



Bu yerda: CHO erkin radikalni bildiradi. Nazariyani soddalashtirish maqsadida, ikkinchi CH_3 ni hosil qilish uchun CHOning reaksiyalari e'tiborga olinmaydi. Barqaror holatda, metil radikallarining hosil bo'lishi va yo'q bo'lishi tezliklari teng bo'ladi, shuning uchun:

$$\frac{d[\cdot\text{CH}_3]}{dt} = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_t[\cdot\text{CH}_3]^2 = 0,$$

“Shunday qilib, metil radikallarining konsentratsiyasi quyidagicha bo'ladi”:

$$[\cdot\text{CH}_3] \propto [\text{CH}_3\text{CHO}]^{\frac{1}{2}}.$$

“Reaksiya tezligi asosiy reaksiya mahsulotlari CH_4 va CO hosil qiladigan tarqalish qadamlarining tezligiga eksperimental tartibga mos ravishda $3/2$ teng bo'ladi”:

$$v = \frac{d[\text{CH}_4]}{dt} = k_p[\cdot\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] \propto [\text{CH}_3\text{CHO}]^{\frac{3}{2}}$$

Murakkab qonunlar

Aralash tartib

Kengroq murakkab tezlik qonunlari turli konsentratsiyalardagi kimyoviy moddalar uchun turli tartiblarni taxmin qilsa, aralash tartib deb ta'riflanadi. Masalan, $v = k_1[A] + k_2[A]^2$ shaklidagi tezlik qonuni bir vaqtning o'zida birinchi tartibli va ikkinchi tartibli reaksiyalarni (yoki ko'proq, soxta-birinchi tartibli reaksiyalarni) ifodalaydi va aralash birinchi tartib va ikkinchi tartib sifatida tavsiflanadi. Agar $[A]$ ning qiymati yetarlicha katta bo'lsa, bunday reaksiya ikkinchi tartibli kinetikaga yaqinlashadi, lekin $[A]$ kichik bo'lsa, kinetika birinchi tartibli (yoki soxta-birinchi tartibli) kinetikaga yaqinlashadi. Reaksiya davom etganda, reaksiyaga kirishuvchi modda iste'mol qilingan sari reaksiya ikkinchi tartibdan birinchi tartibga o'tishi mumkin.

Aralash tartibli tezlik qonunining boshqa bir turi, ikki yoki undan ortiq bosqichdan iborat bo'ladi, ko'pincha bu tezlikni belgilovchi qadamning kimyoviy konsentratsiyalarning qiymatlariga bog'liq bo'lishi sababli. Bir misol sifatida, spirtning ketonga oksidlanishi, geksasianoferat (III) ioni $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]$ va rutenat (VI) ioni (RuO_4^{2-}) katalizatori yordamida amalga oshadi. Ushbu reaksiyada tezlik:

$$v = \frac{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]^2}{k_a + k_p [\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]^2}$$

Bu reaksiyaning boshida (konsentratsiyasi yuqori bo'lib, ruteniy katalizatori tezda qayta tiklanayotgan paytda) geksasianoferat (III)ga nisbatan nol tartibli, ammo uning konsentratsiyasi kamayib, katalizatorning qayta tiklanishi tezlikni belgilovchi qadamga aylanadigan bo'lsa, reaksiyaning tartibi birinchi tartibga o'zgaradi. Aralash tartibli tezlik qonunlari va ikki qismli hadlar bilan bog'liq e'tiborga molik mexanizmlar quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- **Mixaelis–Menten kinetikasi, ferment-kataliz uchun:** Substratga nisbatan birinchi tartib (umumiy ikkinchi tartib) substrat konsentratsiyalarida past, substratga nisbatan nol tartib (umumiy birinchi tartib) substrat konsentratsiyalarida yuqori.

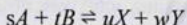
- **Lindemann mexanizmi, monomolekulyar reaksiyalar uchun:** Past bosimlarda ikkinchi tartib, yuqori bosimlarda birinchi tartib.

Manfiy tartib

Reaksiya tezligi moddaga nisbatan qisman manfiy tartibga ega bo'lishi mumkin. Masalan, ozon (O_3)ning kislorodda (O_2) ortiq miqdorda parchalanishi reaksiyasi $v = k \frac{[\text{O}_3]^2}{[\text{O}_2]}$. Bu ozon uchun ikkinchi tartibga, kislorod uchun esa (-1) tartibga mos keladi. Qisman tartib manfiy bo'lsa, umumiy tartib odatda aniqlanmagan deb hisoblanadi. Yuqoridagi misolda, masalan, reaksiya birinchi tartibli deb ta'riflanmaydi, garchi qisman tartiblar yig'indisi $2+(-1)=1$ bo'lsa ham, chunki tezlik qonuni oddiy birinchi tartibli reaksiyadan ko'proq murakkabdir.

Teskari reaksiyalar

Oldinga va teskari reaksiyalar bir vaqtda o'xshash tezlikda yuz berishi mumkin. Masalan, A va B moddalarining X va Y ga o'zaro reaksiyaga kirishishi va aksincha (s , t , u va w – stexiometrik koeffitsiyentlar).



Yuqoridagi reaksiyalar uchun reaksiya tezligining ifodasi (har birini elementar deb hisoblasak) quyidagicha ifodalanishi mumkin:

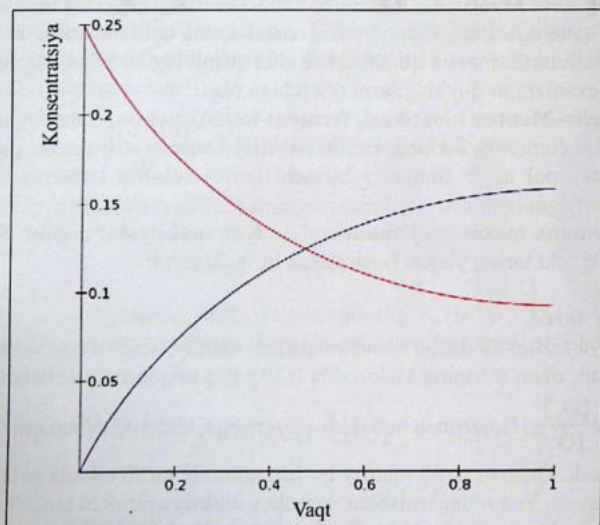
$$v = k_1[A]^s[B]^t - k_2[X]^u[Y]^w$$

bu yerda, k_1 – A va B ni iste'mol qiluvchi reaksiya uchun tezlik koeffitsiyenti; k_2 – X va Y ni iste'mol qilib, A va B ni ishlab chiqaruvchi teskari reaksiya uchun tezlik koeffitsiyenti.

k_1 va k_2 konstantalari reaksiyaning muvozanat koeffitsiyenti (K) bilan quyidagi munosabat orqali bog'langan (muvozanatda $v = 0$ deb oling):

$$k_1[A]^s[B]^r = k_2[X]^u[Y]^w$$

$$K = \frac{[X]^u[Y]^w}{[A]^s[B]^r} = \frac{k_1}{k_2}$$



Oddiy misol

Ikkita tur o'rtasidagi oddiy muvozanat:



Bunda reaksiyalar A, $[A]_0$ ning dastlabki konsentratsiyasi bilan boshlanadi, $t=0$ vaqtida B uchun o'ning boshlang'ich konsentratsiyasi. U holda muvozanatdagi K doimiysi quyidagicha ifodalanadi:

$$K \stackrel{def}{=} \frac{k_f}{k_b} = \frac{[B]_e}{[A]_e}$$

Bu yerda $[A]_e$ va $[B]_e$ mos ravishda A va B ning muvozanatdagi konsentratsiyalari. A ning t $[A]_t$ vaqtidagi konsentratsiyasi B ning t $[B]_t$ vaqtidagi konsentratsiyasi bilan muvozanat reaksiya tenglamasi bilan bog'liq.

$$[A]_t = [A]_0 - [B]_t$$

$[B]_0$ Bu t vaqt cheksizda bo'lsa ham, ya'ni muvozanatga erishilganda ham amal qiladi degan atama mavjud emas, chunki bu oddiy misolda B ning dastlabki konsentratsiyasi o'ga teng:

$$[A]_e = [A]_0 - [B]_e$$

K ning ta'rifiga ko'ra, shunday bo'ladi:

$$[B]_e = x = \frac{k_f}{k_f + k_b} [A]_0$$

va shuning uchun:

$$[A]_e = [A]_0 - x = \frac{k_b}{k_f + k_b} [A]_0$$

Bu tenglamalar bizga differensial tenglamalar tizimini ajratishga va faqat A ning konsentratsiyasini yechishga imkon beradi.

Oldinroq berilgan reaksiya tenglamasi:

$$v = k_1[A]^n[B]^m - k_2[X]^u[Y]^v$$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_f[A]_t - k_b[B]_t$$

Bunda hosil salbiydir, chunki bu reaksiyaning A dan B gacha bo'lgan tezligi va shuning uchun A ning konsentratsiyasi kamaymoqda. Izohni soddalashtirish uchun x $[A]_t$ deb olaylik, A ning t vaqtidagi konsentratsiyasi x_e bo'lsin, muvozanatdagi A ning konsentratsiyasi shu tarzda ifodalanadi.

Keyin:

$$d - \frac{d[A]}{dt} = k_f[A]_t - k_b[B]_t$$

$$-\frac{dx}{dt} = k_f x - k_b[B]_t$$

$$= k_f x - k_b ([A]_0 - x)$$

$$= (k_f + k_b)x - k_b[A]_0$$

Chunki:

$$k_f + k_b = k_b \frac{[A]_0}{x_e}$$

Reaksiya tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k_b [A]_0}{x_e} (x_e - x)$$

Natijada:

$$\ln \left(\frac{[A]_0 - [A]_e}{[A]_t - [A]_e} \right) = (k_f + k_b) t$$

Vaqtidagi A konsentratsiyasining manfiy natural logarifmining grafigi muvozanatdagi konsentratsiyadan t vaqtga nisbatan muvozanatni olib tashlagan holda, qiyaligi $k_f + k_b$ bo'lgan to'g'ri chiziq hosil bo'ladi va ikki reaksiyaga kirishuvchi modda darajali konstantalar ma'lum bo'ladi.

Oddiy misolni umumlashtirish

Agar $t = 0$ vaqtidagi konsentratsiya yuqoridagidan boshqacha bo'lsa, yuqoridagi soddalashtirishlar noto'g'ri hisoblanadi va differensial tenglamalar tizimini yechish zarurati tug'iladi. Biroq, quyidagi umumlashgan ifodalarni olish maqsadida ushbu tizimni ham aniq yechish mumkin:

$$[A] = [A]_0 \frac{1}{k_f + k_b} \left(k_b + k_f e^{-(k_f + k_b)t} \right) + [B]_0 \frac{k_b}{k_f + k_b} \left(1 - e^{-(k_f + k_b)t} \right)$$
$$[B] = [A]_0 \frac{k_f}{k_f + k_b} \left(1 - e^{-(k_f + k_b)t} \right) + [B]_0 \frac{1}{k_f + k_b} \left(k_f + k_b e^{-(k_f + k_b)t} \right)$$

Agar muvozanat konstantasi birlikka yaqin bo'lsa va reaksiya tezligi, masalan, molekullarning konformatsion tahlilida, tezlik konstantalarini aniqlash uchun boshqa usullar kerak bo'ladi, masalan, yadro magnit-rezonansi (YMR) spektroskopiyasida chiziq shaklini to'liq tahlil qilish.

Ketma-ket reaksiyalar

Agar quyidagi reaksiya uchun tezlik konstantalari k_1 va k_2 ; $A \rightarrow B \rightarrow C$, bo'lsa, u holda tezlik tenglamasi bo'ladi.

Reaksiyaga kirishuvchi A modda uchun: $\frac{d[A]}{dt} = -k_1 [A]$

Reaksiyaga kirishuvchi B modda:

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2[B]$$

C mahsulot uchun:

$$\frac{d[C]}{dt} = k_2[B]$$

Reaksiyaga kirishuvchi moddaning umumiy populatsiyasi bo'yicha o'lgan individual konsentratsiyalar bilan bu kabi differensial tenglamalarning chiziqli tizimlari asosiy tenglama sifatida shakllanishi mumkin. Differensial tenglamalar analitik tarzda hal qilinishi mumkin, integrallashgan tezlik tenglamalari esa quyidagilar:

$$[A] = [A]_0 e^{-k_1 t}$$

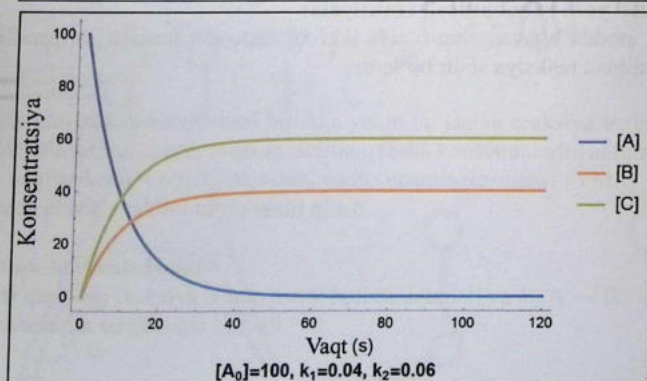
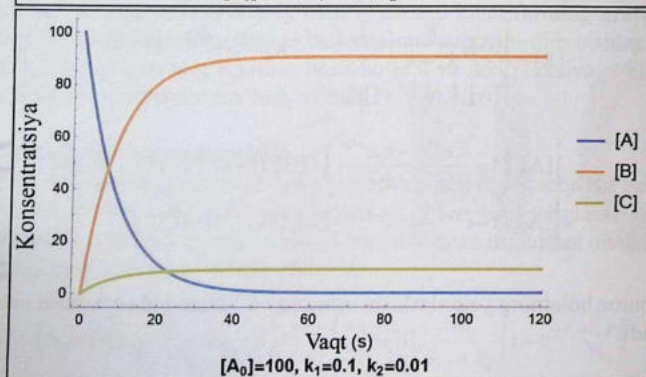
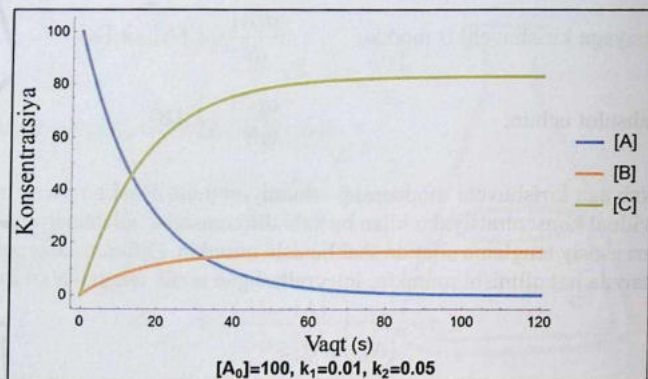
$$[B] = \begin{cases} [A]_0 \frac{k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + [B]_0 e^{-k_2 t} & k_1 \neq k_2 \\ [A]_0 k_1 t e^{-k_1 t} + [B]_0 e^{-k_1 t} & k_1 = k_2 \end{cases}$$

$$[C] = \begin{cases} [A]_0 \left(1 + \frac{k_1 e^{-k_2 t} - k_2 e^{-k_1 t}}{k_2 - k_1} \right) + [B]_0 (1 - e^{-k_2 t}) + [C]_0 & k_1 \neq k_2 \\ [A]_0 (1 - e^{-k_1 t} - k_1 t e^{-k_1 t}) + [B]_0 (1 - e^{-k_1 t}) + [C]_0 & k_1 = k_2 \end{cases}$$

Barqaror holatning yaqinlashishi osonroq yo'l bilan juda o'xshash natijalarga olib keladi.

Parallel yoki raqobatdosh reaksiyalar

Agar modda bir vaqtning o'zida ikki xil mahsulot hosil qilsa, parallel yoki raqobatbardosh reaksiya sodir bo'ladi.



Ikki birinchi tartibli vaqt kursi, tezlik konstantalari har xil bo'lgan raqobat reaksiyalari.

Ikki birinchi tartibli reaksiyalar

$A \rightarrow \text{guruh } A \rightarrow C$, konstantalar k_1 va k_2 hamda tezlik tenglamalari:

$$-\frac{d[A]}{dt} = (k_1 + k_2)[A]; \quad \frac{d[B]}{dt} = k_1[A] \quad \text{and} \quad \frac{d[C]}{dt} = k_2[A]$$

Integratsiyalashgan daraja tenglamalari quyidagicha:

$$[A] = [A]_0 e^{-(k_1 + k_2)t};$$

$$[B] = \frac{k_1}{k_1 + k_2} [A]_0 (1 - e^{-(k_1 + k_2)t})$$

va
$$[C] = \frac{k_2}{k_1 + k_2} [A]_0 (1 - e^{-(k_1 + k_2)t}).$$

bu holatda muhim munosabatlardan biridir $\frac{[B]}{[C]} = \frac{k_1}{k_2}.$

Birinchi tartib va ikkinchi darajali reaksiya

Bu bimolekulyar reaksiyani o'rganishda va bir vaqtning o'zida gidroliz (buni soxta tartib sifatida ko'rib chiqish mumkin) sodir bo'lishi mumkin: gidroliz reaksiya kinetikasini o'rganishni murakkablashtiradi, chunki ba'zi reaksiyaga kirishuvchi moddalar parallel reaksiyada "sarflanadi". Masalan, A R bilan reaksiyaga kirishib, mahsulotimiz C hosil bo'ladi, lekin ayni paytda gidroliz reaksiyasi A miqdorini olib, B yon mahsulot hosil qiladi: $A + H_2O \rightarrow \text{guruh } A + R \rightarrow C.$

Tezlik tenglamalari:

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A][H_2O] = k_1'[A] \quad \frac{d[C]}{dt} = k_2[A][R]$$

Bu yerda, k – soxta birinchi tartib doimiysi.

$$[B] = -\frac{k_1'}{k_2} \ln \left(1 - \frac{[C]}{[R]_0} \right)$$

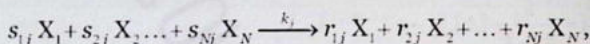
$$[C] = [R]_0 \left[1 - e^{-\frac{k_2}{k_1'} [A]_0 (1 - e^{-k_1 t})} \right]$$

$$\frac{[R]_0}{[R]_0 - [C]} = \frac{k_2[A]_0}{k_1}(1 - e^{-k_1 t})$$

Integratsiyalashgan tenglamalar analitik tarzda olingan, ammo jarayon davomida $[A]_0 - [C] \approx [A]_0$, shuning uchun $[C]$ uchun avvalgi tenglama faqat $[C]$ ning past konsentratsiyasi $[A]_0$ uchun ishlatilishi mumkin deb taxmin qilingan.

Stexiometrik reaksiya tarmoqlari

Kimyoviy reaksiya tarmog'ining eng umumiy tavsifi R reaksiyalari orqali reaksiyaga kirishadigan bir nechta N xil kimyoviy turlarni ko'rib chiqadi. j -reaksiyaning kimyoviy tenglamasini umumiy shaklda yozish mumkin:



ko'pincha ekvivalent shaklda yoziladi:

$$\sum_{i=1}^N s_{ij} X_i \xrightarrow{k_j} \sum_{i=1}^N r_{ij} X_i.$$

Bu yerda:

- $j - 1$ dan R gacha bo'lgan reaksiya indeksi,
- X_{ij} -chi kimyoviy turni bildiradi,
- $k_j - j$ -chi reaksiya tezligi konstantasi,
- s_{ij} va r_{ij} mos ravishda reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning stexiometrik koeffitsiyentlari.

Bunday reaksiya tezligini massalar ta'siri qonuni bilan aniqlash mumkin:

$$f_j([\dot{X}]) = k_j \prod_{z=1}^N [X_z]^{s_{zj}}$$

Bu vaqt birligi va hajm birligidagi molekular oqimini bildiradi. Bu yerda $[X] = ([X_1], [X_2], \dots, [X_N])$ konsentratsiyalar vektori. Bu ta'rif elementar reaksiyalarni o'z ichiga oladi:

- Nol tartibli reaksiyalar:
buning uchun barcha z uchun $s_{zj} = 0$,
- Birinchi tartibli reaksiyalar:

bitta z uchun $s_z = 1$,

• Ikkinchi tartibli reaksiyalar:

buning uchun aynan ikkita z , ya'ni bimolekulyar reaksiya uchun $s_z = 1$ yoki bitta z , ya'ni dimerlanish reaksiyasi uchun $s_z = 2$.

Stexiometrik matritsani aniqlash mumkin:

$$s_{ij} = r_{ij} - s_{ij},$$

ion reaksiya molekularining aniq hajmini bildiruvchi j reaksiya tezligi tenglamalarini umumiy shaklda yozish mumkin:

$$\frac{d[X_i]}{dt} = \sum_{j=1}^R S_{ij} f_j([\bar{X}]).$$

Bu stexiometrik matritsa va reaksiya tezligi funksiyalari vektorining mahsulotidir. Muvozanatda ma'lum oddiy yechimlar mavjud bo'lib, ular faqat teskari reaksiyalardan tashkil topgan tizimlar uchundir. Bu holda oldinga va orqaga reaksiyalar tezligi teng bo'ladi, bu prinsip batafsil muvozanat deb ataladi. Daraja funksiyalarining o'ziga xos shakliga bog'liq emas. Tafsilot balansi buzilgan bos-hqa barcha holatlar odatda metabolik yo'llarni tushunish uchun ishlab chiqilgan muvozanat tahlili oqimi bilan o'rganiladi.

Bimolekulyar konversiya dinamikasi

N turli turlarning o'zaro konvertatsiyasini o'z ichiga olgan umumiy bir molekulyar reaksiya uchun, ularning vaqt konsentratsiyasi $X_i(t)$ yordamida $X_N(t)$ orqali ko'rsatilgan, turlarning vaqt evolutsiyasi uchun analitik shakl topilishi mumkin. X_i turidan X_j turiga o'tkazish tezligi doimiysi K sifatida belgilansin va yozuvlari K_{ij} bo'lgan tezlik doimiy matritsasi K_{ij} ni tuzing.

Bundan tashqari, $X(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_N(t))^T$ vaqtning funksiyasi sifatida konsentratsiyalar vektori bo'lsin.

$J = (1, 1, 1, \dots, 1)^T$ birlarning vektori bo'lsin.

I $N \times N$ identifikatsiya matritsasi bo'lsin.

Diag vektorni oladigan va diagonal yozuvlari vektorga tegishli bo'lgan diagonal matritsani qiladigan funksiya bo'lsin.

C teskari Laplas transformatsiyasi bo'lsin. Keyin vaqt bilan rivojlangan holat $X(t)$ quyidagicha beriladi:

$$X(t) = \hat{\mathcal{L}}^{-1} [(sI + \text{Diag}(KJ) - K^T)^{-1} X(0)],$$

Shunday qilib, tizimning boshlang'ich shartlari va uning t vaqtidagi holati o'rtasidagi munosabatni ta'minlaydi.

Tezlikni aniqlash bosqichi

Kimyoviy kinetikada reaksiyaning umumiy tezligi odatda tezlikni aniqlash bosqichi (RDS – rate-determining step) yoki tezlikni cheklash bosqichi deb nomlanuvchi eng sekin bosqich bilan aniqlanadi. Berilgan reaksiya mexanizmi uchun mos keladigan tezlik tenglamasini bashorat qilish uchun (eksperimental tezlik qonuni bilan) taqqoslash ko'pincha tezlikni aniqlash bosqichining ushbu yaqinlashuvidan foydalangan holda soddalashtiriladi.

Asosan, reaksiyaga kirishuvchi modda va mahsulot konsentratsiyasining vaqt evolyutsiyasi mexanizmning individual bosqichlari uchun bir vaqtning o'zida tezlik tenglamalari to'plamidan, har bir qadam uchun bittadan aniqlanishi mumkin. Biroq, bu differensial tenglamalarning analitik yechimi emas, balki ba'zi hollarda sonli integratsiya talab qilinishi mumkin. Matematikada yagona tezlikni aniqlovchi bosqich gipotezasi jarayonni sezilarli darajada soddalashtirishi mumkin. Eng oddiy holatda, boshlang'ich qadam eng sekin, umumiy tezlik esa faqat birinchi qadam tezligidir.

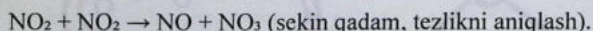
Shuningdek, tezlikni aniqlovchi bir bosqichli mexanizmlar uchun tezlik tenglamalari odatda oddiy matematik shaklda bo'lib, ularning mexanizmga aloqasi va tezlikni aniqlash bosqichini tanlash aniqdir. Har bir mumkin bo'lgan tanlov uchun daraja qonuni va turli bashoratlarni eksperimental qonun bilan solishtirish, quyida NO_2 va CO misolida bo'lgani kabi namoyon bo'ladi. Tezlikni aniqlash bosqichi tushunchasi kataliz va yonish kabi ko'plab kimyoviy jarayonlarni optimallashtirish va tushunish uchun juda muhimdir.

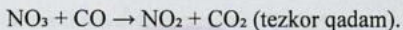
Reaksiyaga misol: $\text{NO}_2 + \text{CO}$

Misol tariqasida, $\text{NO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{NO} + \text{CO}_2$ gaz fazali reaksiyasini ko'rib chiqaylik. Agar bu reaksiya bir bosqichda sodir bo'lsa, uning reaksiya tezligi (r) NO_2 va CO molekullari o'rtasidagi to'qnashuv tezligiga mutanosib bo'ladi: $r = k[\text{NO}_2][\text{CO}]$, bu yerda, k – reaksiya tezligi konstantasi va kvadrat qavslar molyar konsentratsiyani bildiradi. Yana bir tipik misol – Zeldovich mexanizmi.

Tezlikni aniqlovchi birinchi qadam

Biroq, kuzatilgan reaksiya tezligi $r = k[\text{NO}_2]^2$ tezlik tenglamasi bilan NO_2 da ikkinchi darajali, CO da nol tartibli bo'ladi. Bu tezlik ikki NO_2 molekulasini reaksiyaga kirishadigan bosqich ya'ni CO molekulasini boshqa, tezroq bosqichga kirishi bilan aniqlanishini ko'rsatadi. Tezlik tenglamasini tushuntiruvchi ikkita elementar bosqichda mumkin bo'lgan mexanizm:





Bu mexanizmدا reaksiyaga kirishuvchi modda oraliq tur NO_3 birinchi bosqichda r_1 tezligi bilan hosil bo'ladi va ikkinchi bosqichda r_2 tezligi bilan CO bilan reaksiyaga kirishadi. Ammo birinchi bosqich teskari yo'nalishda sodir bo'lsa, NO ham NO bilan reaksiyaga kirishishi mumkin. ($\text{NO} + \text{NO}_3 \rightarrow 2\text{NO}_2$) r_{-1} tezligi bilan, bu yerda minus belgisi teskari reaksiya tezligini bildiradi.

$[\text{NO}_3]$ kabi reaksiyaga kirishuvchi modda oraliq mahsulotning konsentratsiyasi past va deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi. Shuning uchun uni barqaror holatga yaqinlashishi bilan hisoblash mumkin, bu esa uning hosil bo'lish tezligi uning (umumiy) tezligiga teng ekanligini ko'rsatadi. Bu misolda NO_3 bir bosqichda hosil bo'ladi va ikki bosqichda reaksiyaga kirishadi, shuning uchun:

$$\frac{d[\text{NO}_3]}{dt} = r_1 - r_2 - r_{-1} \approx 0.$$

Birinchi qadam sekin qadam degan fikrda aslida teskari yo'nalishdagi birinchi qadam oldinga yo'nalishdagi ikkinchi qadamdan sekinroq bo'lishini anglatadi, shuning uchun deyarli barcha NO_3 NO bilan emas, balki CO bilan reaksiyada iste'mol qilinadi. Ya'ni, $r_{-1} \ll r_2$, shuning uchun $r_1 - r_2 \approx 0$ bo'ladi. Ammo reaksiyaning umumiy tezligi yakuniy mahsulot hosil bo'lish tezligidir (bu yerda CO_2), shuning uchun $r = r_2 \approx r_1$. Ya'ni, umumiy tezlik birinchi bosqich tezligi bilan belgilanadi va (deyarli) birinchi bosqichda reaksiyaga kirishadigan barcha molekular tez ikkinchi bosqichga o'tadi.

Oldindan muvozanat: Agar ikkinchi bosqich darajasini belgilovchi bo'lsa

Boshqa mumkin bo'lgan holat, ikkinchi bosqich sekin va tezlikni aniqlaydigan bo'lishi mumkin, ya'ni u teskari yo'nalishdagi birinchi qadamdan sekinroq: $r_2 \ll r_{-1}$. Bu gipotezada, $r_1 - r_{-1} \approx 0$, shuning uchun birinchi bosqich (deyarli) muvozanatda. Umumiy tezlik ikkinchi bosqichda aniqlanadi: $r = r_2 \ll r_1$ chunki birinchi bosqichda reaksiyaga kirishadigan juda oz sonli molekularlar ikkinchi bosqichga o'tadi. Bunday vaziyatda qaysi oraliq (bu yerda NO_3) tezlikni aniqlash bosqichidan oldin reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan muvozanat hosil qiladi. NO_2 va CO ning reaksiyasi uchun bu gipotezani rad qilish mumkin, chunki u tezlik tenglamasini nazarda tutadi. Bu tajribaga mos kelmaydi.

Agar birinchi qadam muvozanatda bo'lsa, uning muvozanat doimiy ifodasi barqarorroq (va osonroq o'lchanadigan) reaksiyaga kirishuvchi modda va mahsulot turlarining oraliq NO_3 konsentratsiyasini hisoblash imkonini beradi:

$$K_1 = \frac{[\text{NO}][\text{NO}_3]}{[\text{NO}_2]^2},$$

$$[\text{NO}_3] = K_1 \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]}$$

Keyin umumiy reaksiya tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$r = r_2 = k_2 [\text{NO}_3][\text{CO}] = k_2 K_1 \frac{[\text{NO}_2]^2 [\text{CO}]}{[\text{NO}]},$$

bu yuqorida keltirilgan eksperimental tezlik qonuniga mos kelmaydi va shuning uchun ikkinchi bosqich bu reaksiya uchun tezlikni belgilovchi gipotezani inkor etadi. Biroq, ba'zi boshqa reaksiyalar tezlikni aniqlash bosqichidan oldin tez muvozanatni o'z ichiga oladi, deb ishoniladi.

Nukleofil almashtirish

Yana bir misol, organik kimyodagi unimolekulyar nukleofil almashinish (S_N1) reaksiyasi bo'lib, u unimolekulyar bo'lgan birinchi tezlikni aniqlash bosqichidir. O'ziga xos holat tert-butil bromidning ($\text{t-C}_4\text{H}_9\text{Br}$) suvli natriy gidroksidi bilan asosiy gidrolizidir. Mexanizm ikki bosqichga ega (bu yerda, R $\text{t-C}_4\text{H}_9$ tert-butil radikalini bildiradi):

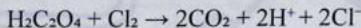
1. $\text{R} - \text{Br} \rightarrow \text{R}^+ + \text{Br}^-$ karbokatsiyasining hosil bo'lishi.
2. Bir suv molekulasini $\text{R}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{ROH}$ ning nukleofil hujumi.

Bu reaksiya $r = k[\text{R-Br}]$ bilan birinchi tartibli ekanligi aniqlangan, bu birinchi bosqich sekin ekanligini ko'rsatadi va tezlikni aniqlaydi. OH^- bilan ikkinchi bosqich ancha tezdir, shuning uchun umumiy tezlik OH^- konsentratsiyasi.

Bundan farqli o'laroq, metil bromidning (CH_3Br) ishqoriy gidrolizi bir bimolekulyar bosqichda bimolekulyar nukleofil o'rnini bosuvchi (S_N2) reaksiyasidir. Uning tezlik qonuni ikkinchi darajali: $r = k[\text{R-Br}][\text{OH}^-]$.

O'tish davri tarkibi

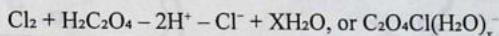
Mexanizmni aniqlashda foydali qoida shundaki, tezlik qonunidagi konsentratsiya omillari faollashtirilgan kompleks yoki o'tish holatining tarkibi va zaryadini ko'rsatadi. Yuqoridagi $\text{NO}_2 - \text{CO}$ reaksiyasi uchun tezlik $[\text{NO}_2]^2$ ga bog'liq, shuning uchun faollashtirilgan kompleks N_2O_4 tarkibiga ega bo'lib, $2\text{N}_2\text{O}$ bilan reaksiyaga o'tish holatidan oldin kiradi va COdan keyin reaksiyaga kirishadi. Ko'p bosqichli misol suvda oksalat kislotasi va xlor o'rtasidagi reaksiyadir.



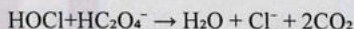
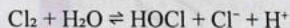
Kuzatilgan daraja qonuni:

$$v = k \frac{[\text{Cl}_2][\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]}{[\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]},$$

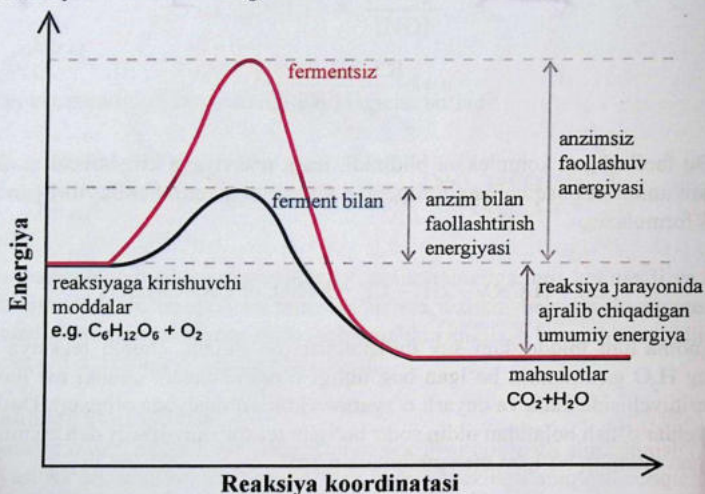
Bu faollashgan kompleksni bildiradi, unda reaksiyaga kirishuvchi moddalar tezlikni aniqlash bosqichidan oldin $2\text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ni yo'qotadi. Faollashtirilgan kompleks formulasi:



(noma'lum miqdordagi suv molekullari qo'shiladi, chunki reaksiya tezligining H_2O ga mumkin bo'lgan bog'liqligi o'rganilmagan, chunki ma'lumotlar suv erituvchisida katta va deyarli o'zgarmas konsentratsiyada olingan). Dastlabki bosqichlar o'tish holatidan oldin sodir bo'lgan tezkor muvozanat deb taxmin qilinadigan mumkin bo'lgan mexanizmlardan biri:



Reaksiya koordinata diagrammasi



Ko'p bosqichli reaksiyada tezlikni aniqlovchi bosqich reaksiya koordinata diagrammasidagi eng yuqori Gibbs energiyasiga mos kelishi shart emas.

Agar oraliq reaksiyaning energiyasi boshlang'ich reaksiyaga kirishuvchi moddalardan pastroq bo'lsa, u holda har qanday keyingi o'tish holatidan o'tish uchun zarur bo'lgan faollashuv energiyasi bu holatning Gibbs energiyasiga nisbatan past energiyali oraliq mahsulotga bog'liq bo'ladi. Demak, aniqlash bosqichi boshlang'ich materialga yoki diagrammadagi har qanday oldingi oraliq mahsulotga nisbatan eng katta Gibbs energiya farqiga ega bo'lgan qadamdir.

Bundan tashqari, birinchi darajali bo'lmagan reaksiya bosqichlari uchun tezlikni aniqlash bosqichini tanlashda konsentratsiya shartlari hisobga olinishi kerak.

Zanjirli reaksiyalar

Hamma reaksiyalar ham tezlikni belgilovchi bitta bosqichga ega emas. Xususan, zanjirli reaksiya tezligi odatda bitta bosqich bilan boshqarilmaydi.

Diffuziya nazorati

Oldingi misollarda tezlikni aniqlash bosqichi mahsulotga olib keladigan ketma-ket kimyoviy reaksiyalardan biri edi. Tezlikni aniqlash bosqichi reaksiyaga kirishuvchi moddalarni ular o'zaro ta'sir qilishi va mahsulot hosil qilishi mumkin bo'lgan joyga ko'chirishi mumkin. Bu holat diffuziya nazorati deb ataladi va umu-

man olganda, faollashtirilgan kompleksdan mahsulot hosil bo'lishi juda tez bo'l-ganda sodir bo'ladi va shuning uchun reaksiyaga kirishuvchi moddalarni yetkazib berish tezligini belgilaydi.

Massa harakati qonuni

Massalar ta'siri qonuni shuni ko'rsatadiki, reaksiya tezligi har bir reaksiya-ga kirishuvchi moddaning konsentratsiyasining mahsulotiga proporsionaldir. Bu qonundan dinamik muvozanatdagi eritmalar ko'rsatadigan xatti-harakatni tushun-tirish uchun foydalanish mumkin. Massa ta'siri qonuni ham nisbatni ko'rsatadi. Kimyoviy muvozanat holatida reaksiyaga kirishuvchi moddalar konsentratsiyasi va mahsulot konsentratsiyasi doimiy bo'ladi.

Muvozanat doimiysi (K_c)

Muvozanat holatidagi reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlar kon-sentratsiyasi ma'lum bir haroratda doimiy bo'ladi. Quyidagi oddiy qaytar reaksi-yani ko'rib chiqing, bunda A va B reaksiyaga kirishuvchi moddalar, C va D esa mahsulotlardir.



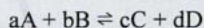
Kimyoviy muvozanat holatidagi mahsulotlar va reaksiyaga kirishuvchi mod-dalar aralashmasi muvozanat aralashmasi deb ataladi. Muvozanat aralashmasi uchun mahsulotlar konsentratsiyasi va reaksiyaga kirishuvchi moddalarning kon-sentratsiyasi o'rtasida bog'liqlik mavjud. Bu munosabatni quyidagicha tenglash-tirish mumkin:

$$K_c = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

Bu yerda, K_c muvozanat konstantasi deyiladi. Bu tenglamada A ning muvo-zanatdagi konsentratsiyasi [A] (B, C va D uchun xuddi shunday) shaklida ifoda-lanadi va reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning stexiometrik ko-effitsiyentlari 1 ga teng. Muvozanat konstantasi reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning stexiometrik ko'effitsiyentlariga ham bog'liq ekanligi eksperi-mental ravishda kuzatilgan.

Shunday qilib, massa ta'siri qonuni shuni ko'rsatadiki, ma'lum bir doimiy haroratda muvozanat konstantasi tegishli stexiometrik ko'effitsiyentlarga ko'taril-gan mahsulotlar konsentratsiyasining har bir ko'tarilgan reaksiyaga kirishuvchi modda konsentratsiyasining mahsulotiga bo'lingan mahsulotga tengdir, ya'ni mos keladigan stoxiometrik ko'effitsiyentga.

Bu muvozanat qonuni yoki kimyoviy muvozanat qonuni sifatida ham tanilgan. Muvozanat konstantasining ifodasi. Turdagi muvozanatli reaksiya uchun,



Massalar ta'siri qonuniga ko'ra, reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning muvozanat konsentratsiyasini bog'lash orqali olingan doimiy qiymat muvozanat konstantasi deb ataladi. To'g'ridan to'g'ri reaksiya uchun bu quyidagicha ifodalanadi:

$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

Teskari reaksiya uchun muvozanat konstantasi to'g'ridan to'g'ri reaksiyaga teskari bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$K_c' = \frac{1}{K_c} = \frac{[A]^a [B]^b}{[C]^c [D]^d}$$

Agar kimyoviy tenglamaning koeffitsiyentlari koeffitsiyentga ko'paytirilsa, muvozanat konstantasi kuchga ko'tariladi, ya'ni doimiy bo'ladi.

Muvozanatning doimiy vakilligi	Ifodalangan jihati	... sifatida ifodalangan
K_c	Reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning konsentratsiyasi.	$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$
K_p	Reaktivlar va mahsulotlarning qisman bosimlari (faqat gaz holatidagi moddalar uchun)	$\frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b}$
K_x	Reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlarning mol fraksiyalari	$\frac{[X_C]^c [X_D]^d}{[X_A]^a [X_B]^b}$

K_c , K_p va K_x o'rtasidagi munosabat:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n_g}$$

$$K_x = K_p (RT)^{\Delta n_g}$$

Bu yerda, Δn_g = gazsimon mahsulotlarning mollari – gazsimon reaksiyaga kirishuvchi moddalarning mollari. K_c reaksiyaga kirishuvchi moddalar/mahsu-

lotlar konsentratsiyasi bilan ifodalangan muvozanat konstantasi. Xuddi shunday, K_p moddalarining qisman bosimlari bo'yicha doimiydir va K_x mol ulushi bilan ifodalanadi.

Kimyoviy muvozanat

Kimyoviy reaksiyada kimyoviy muvozanat deganda reaksiyaga kirishuvchi moddalar ham, mahsulotlar ham vaqt o'tishi bilan o'zgarishga moyil bo'lmagan konsentratsiyalarda bo'ladi, natijada tizim xossalarida kuzatiladigan o'zgarishlar bo'lmaydi. Odatda, bu holat to'g'ridan to'g'ri reaksiya teskari reaksiya bilan bir xil tezlikda boradi. To'g'ridan to'g'ri va orqaga reaksiyalarning reaksiya tezligi odatda nolga teng emas, balki tengdir. Shunday qilib, aniq reaksiyaga kirishuvchi modda(lar) va mahsulot(lar)ning konsentratsiyalarida o'zgarishlar bo'lmaydi. Bunday holat dinamik muvozanat deb ataladi.

Termodinamika

Doimiy harorat va bosimda Gibbsning erkin energiyasi G ni, doimiy harorat va hajmda reaksiya uchun Gelmgoltsning erkin energiyasini, A ni, doimiy ichki energiya va hajmda esa hisobga olish kerak. Reaksiya uchun entropiya esa S .

Doimiy hajm holati geokimyo va atmosfera kimyosida bosim o'zgarishi muhim bo'lgan muhim ahamiyatga ega. E'tibor bering, agar reaksiyaga kirishuvchi modda va mahsulotlar standart holatda (to'liq sof) bo'lsa, unda hech qanday teskarilik va muvozanat bo'lmaydi. Mahsulotlar va reaksiyaga kirishuvchi moddalarning aralashuvi katta entropiyaga yordam beradi (aralash entropiyasi sifatida tanilgan). Standart Gibbs energiyasining o'zgarishi, aralash tirishning Gibbs energiyasi bilan birgalikda muvozanat holatini aniqlaydi.

Bu yerda, faqat doimiy bosim holati ko'rib chiqiladi. Gibbsning erkin energiyasi va muvozanat konstantasi o'rtasidagi bog'liqlikni kimyoviy potentsiallarni hisobga olgan holda topish mumkin.

Doimiy harorat va bosimda Gibbsning erkin energiyasi G , chunki reaksiya faqat beshinchi reaksiya darajasiga bog'liq va faqat termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra kamayishi mumkin. Demak, G ning ξ bilan hosilasi bo'lishi kerak. Reaksiya sodir bo'lsa manfiy bo'ladi; muvozanatda hosila nolga teng.

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = 0 : \text{equilibrium}$$

Muvozanatning termodinamik shartini bajarish uchun Gibbs energiyasi statsonar bo'lishi kerak, ya'ni reaksiya darajasiga nisbatan G ning hosilasi ξ nolga teng bo'lishi lozim. Bu holda ko'rsatish mumkinki, kimyoviy moddalar yig'indisi

mahsulotlarning potentsiallari reaksiyaga kirishuvchi moddalarga mos keladiganlar yig'indisiga teng. Demak, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning Gibbs energiyalari yig'indisi shunday bo'lishi kerak.

$$\alpha\mu_A + \beta\mu_B = \sigma\mu_S + \tau\mu_T$$

Bu yerda μ qisman molyar Gibbs energiyasi, kimyoviy potentsial. A reaksiyaga kirishuvchi moddaning kimyoviy potentsiali shu reaksiyaga kirishuvchi moddaning $\{A\}$ faolligiga bog'liq

$$\mu_A = \mu_A^\circ + RT \ln\{A\}$$

(bu yerda μ_A° standart kimyoviy potentsial).

Gibbs energiya tenglamasining ta'rifi ishlab chiqarish uchun asosiy termodinamik munosabat bilan o'zaro ta'sir qiladi:

$$dG = Vdp - SdT + \sum_{i=1}^k \mu_i dN_i.$$

Yuqoridagi tenglamaga $dN_i = \nu_i d\xi$ kiritilsa, stexiometrik koeffitsiyent (ν_i) va bir marta sodir bo'ladigan reaksiyani bildiruvchi differensial ($d\xi$) hosil bo'ladi. Doimiy bosim va haroratda yuqoridagi tenglamalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = \sum_{i=1}^k \mu_i \nu_i = \Delta_r G_{T,p}$$

Bu Gibbs erkin energiya o'zgarishi reaksiyasi.

Buning natijasida:

$$\Delta_r G_{T,p} = \sigma\mu_S + \tau\mu_T - \alpha\mu_A - \beta\mu_B.$$

Kimyoviy potentsiallarni almashtirish orqali:

$$\Delta_r G_{T,p} = (\sigma\mu_S^\circ + \tau\mu_T^\circ) - (\alpha\mu_A^\circ + \beta\mu_B^\circ) + (\sigma RT \ln\{S\} + \tau RT \ln\{T\}) - (\alpha RT \ln\{A\} + \beta RT \ln\{B\}),$$

munosabatga ayplanadi.

$$\Delta_r G_{T,p} = \sum_{i=1}^k \mu_i \nu_i + RT \ln \frac{\{S\}^\sigma \{T\}^\tau}{\{A\}^\alpha \{B\}^\beta}$$

$$\sum_{i=1}^k \mu_i \nu_i = \Delta_r G^\circ :$$

Bu termodinamik jadvallar yordamida hisoblash mumkin bo'lgan reaksiya uchun standart Gibbs energiyasining o'zgarishi. Reaksiya koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_r = \frac{\{S\}^{\nu} \{T\}^{\tau}}{\{A\}^{\alpha} \{B\}^{\beta}}$$

Shuning uchun:

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = \Delta_r G_{T,p} = \Delta_r G^\circ + RT \ln Q_r$$

Muvozanat holatida:

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = \Delta_r G_{T,p} = 0$$

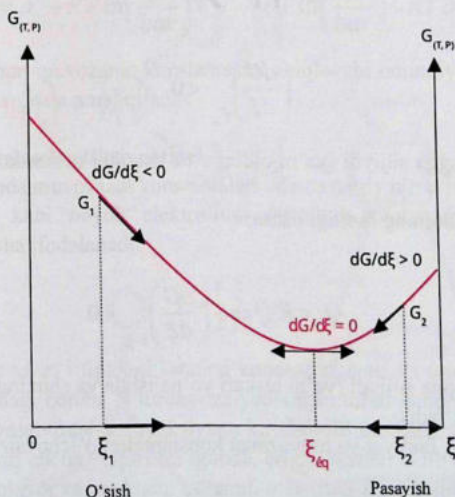
olib keladi:

$$0 = \Delta_r G^\circ + RT \ln K_{eq}$$

Va

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K_{eq}$$

Gibbs energiya o'zgarishining standart qiymatini olish muvozanat konstantasini hisoblash imkonini beradi.



Reaksiyaga kirishuvchi moddalar yoki mahsulotlar qo'shilishi

Muvozanat holatidagi reaksiya sistemasi uchun: $Q_r = K_{eq}$; $\xi = \xi_{eq}$

Agar tarkibiy qismlarning faolligi o'zgartirilgan bo'lsa, reaksiya koeffitsiyentining qiymati o'zgaradi va muvozanat konstantasidan farq qiladi: $Q_r \neq K_{eq}$

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = \Delta_r G + RT \ln Q_r$$

Va

$$0 = \Delta_r G^\theta + RT \ln K$$

Keyin:

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} = RT \ln \left(\frac{Q_r}{K_{eq}} \right)$$

Agar reaksiyaga kirishuvchi i modda faolligi oshsa:

$$Q_r = \frac{\prod (a_j)^{\nu_j}}{\prod (a_i)^{\nu_i}}$$

reaksiya koeffitsiyenti kamayadi.

Keyin:

$$Q_r < K_{eq}$$

va

$$\left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} < 0$$

Reaksiya o'ngga siljiydi (ya'ni oldinga va shuning uchun ko'proq mahsulot hosil bo'ladi).

Agar j mahsulotning faolligi oshsa:

keyin:

$$Q_r < K_{eq} \text{ and } \left(\frac{dG}{d\xi} \right)_{T,p} < 0$$

Reaksiya chapga siljiydi (ya'ni teskari yo'nalishda va shuning uchun kamroq mahsulot hosil bo'ladi).

E'tibor bering, faoliyat va muvozanat konstantalari o'lhovsiz sonlardir.

Faoliyatni qayta ishlash

Muvozanat konstantasining ifodasini konsentratsiya koeffitsiyenti K_c va faollik koeffitsiyenti Γ ko'paytmasi sifatida qayta yozish mumkin.

$$K = \frac{[S]^{\alpha} [T]^{\beta} \dots}{[A]^{\alpha} [B]^{\beta} \dots} \times \frac{\gamma_S^{\alpha} \gamma_T^{\beta} \dots}{\gamma_A^{\alpha} \gamma_B^{\beta} \dots} = K_c \Gamma$$

[A] – reaksiyaga kirishuvchi modda A ning konsentratsiyasi va boshqalar. Prinsipial jihatdan faollik koeffitsiyentlarining qiymatlarini olish mumkin. Yechimlar uchun Debay-Gyukkel tenglamasi yoki Devis tenglamasi kabi kengaytmalar uchun ionlarning o'zaro ta'sirining o'ziga xos nazariyasi yoki Pitzer tenglamalaridan foydalanish mumkin.

Biroq, bu har doim ham mumkin emas. Y ni doimiy deb taxmin qilish va termodinamik muvozanat konstantasi o'rniga konsentratsiya koeffitsiyentini qo'llash odatiy amaliyot. Aniqlik konsentratsiya koeffitsiyenti o'rniga muvozanat konstantasi atamasini qo'llash ham umumiy amaliyotdir. Bu amaliyotga shu yerda amal qilinadi.

Gaz fazasidagi reaksiyalar uchun konsentratsiya o'rniga qisman bosim va faollik koeffitsiyenti o'rniga fugatlik koeffitsiyenti qo'llaniladi. Haqiqiy hayotda, masalan, sanoatda ammiak ishlab chiqarilayotganda, fugatlik koeffitsiyentlarini hisobga olish kerak. Fugatlik qisman bosim va fugatlik koeffitsiyentining mahsulotidir. Gaz fazasidagi turning kimyoviy potentsiali quyidagicha ifodalanadi:

$$\mu = \mu^\circ + RT \ln \left(\frac{f}{bar} \right) = \mu^\circ + RT \ln \left(\frac{p}{bar} \right) + RT \ln \gamma$$

shuning uchun muvozanat konstantasini aniqlovchi umumiy ifoda eritma va gaz fazalari uchun ham amal qiladi.

Konsentratsiya koeffitsiyentlari

Suvli eritmada muvozanat konstantalari odatda natriy nitrat NaNO_3 yoki kaliy perxlorat KClO_4 kabi "noyob" elektrolitlar ishtirokida aniqlanadi. Eritmaning ion kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N c_i z_i^2$$

Bu yerda, c va z , i tipidagi ionning konsentratsiyasi va ion zaryadini ifodalaydi va eritmadagi barcha N turdagi zaryadlangan turlar uchun yig'indi olinadi. Eritilgan tuz konsentratsiyasi reaksiyaga kirishuvchi moddalarning analitik konsentratsiyalaridan ancha yuqori bo'lganda, erigan tuzdan kelib chiqadigan ionlar ion kuchini aniqlaydi va ion kuchi samarali o'zgarmasdir. Faollik koeffitsiyentlari

ion kuchiga bog'liq bo'lgani uchun, faollik koeffitsiyentlari turlar konsentratsiya-dan samarali ravishda mustaqildir.

Γ doimiy degan faraz asosli. Konsentratsiya koeffitsiyenti muvozanat konstantasining oddiy karrasidir.

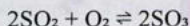
$$K_c = \frac{K}{\Gamma}$$

Biroq, K_c ion kuchiga qarab o'zgaradi. Agar u turli xil ion kuchlari qatorida o'lcansa, qiymat nol ion kuchiga ekstrapolatsiya qilinishi mumkin. Shu tarzda olingan konsentratsiya koeffitsiyenti, paradoksal ravishda, termodinamik muvozanat doimiysi sifatida ma'lum.

Muvozanat konstantasining e'lon qilingan qiymatini uni aniqlashda qo'llaniladigan sharoitlardan farqli ion kuchi sharoitida ishlatish uchun qiymatni sozlash kerak.

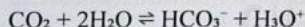
Metastabil aralashmalar

Aralashma muvozanatda bo'lmasa-da, o'zgarishga moyil bo'lmagan ko'rinishi mumkin. Masalan, SO_2 va O_2 ning aralashmasi metastabildir, chunki mahsulot, SO_3 hosil bo'lishi uchun kinetik to'siq mavjud.



Kontakt jarayonida bo'lgani kabi aralashmada ham katalizator mavjud bo'lganda to'siqni yengib o'tish mumkin, ammo katalizator muvozanat konsentratsiyasiga ta'sir qilmaydi.

Xuddi shunday, oddiy sharoitlarda karbonat angidrid va suvdan bikarbonat hosil bo'lishi juda sekin:

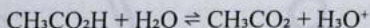


lekin katalitik ferment karboangidraza ishtirokida deyarli bir zumda sodir bo'ladi.

Sof moddalar

Sof moddalar (suyuqliklar yoki qattiq moddalar) muvozanatda ishtirok etganda, ularning faolligi muvozanat konstantasida ko'rinmaydi, chunki ularning son qiymatlari bitta hisoblanadi.

Muvozanat konstantasining umumiy formulasini sirka kislotasining suvdagi suyultirilgan eritmasining o'ziga xos holatiga qo'llash natijasida quyidagilar olinadi:

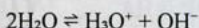


$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}][\text{H}_2\text{O}]}$$

Juda konsentrlangan eritmalaridan tashqari hamma uchun suvni "sof" suyuqlik deb hisoblash mumkin va u bitta faollikka ega. Shuning uchun uning muvozanat doimiysi ifodasi odatda quyidagicha yoziladi:

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]} = K_c.$$

Bunda muayyan holat suvning o'zini o'zi ionlashidir:



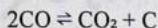
Chunki suv erituvchi bo'lib, faolligi bitta, suvning o'z-o'zidan ionlanish konstantasi quyidagicha aniqlanadi:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

Gidroniy ioni konsentratsiyasi uchun $[\text{H}^+]$ yozish mutlaqo qonuniydir, chunki protonning solvatlanish holati doimiy (suyultirilgan eritmalarida) va shuning uchun muvozanat konsentratsiyalariga ta'sir qilmaydi. K_w ion kuchi va/yoki haroratning o'zgarishiga qarab o'zgaradi.

H^+ va OH^- konsentratsiyalari mustaqil miqdorlar emas. Ko'pincha $[\text{OH}^-]$ $K_w[\text{H}^+]^{-1}$ muvozanatdagi doimiy ifodalar bilan almashtiriladi, aks holda gidroksid ioni ham kiradi.

Agar ular sof va faoliyati bitta deb hisoblansa, qattiq jismlar ham muvozanat doimiy ifodasida ko'rinmaydi. Bunga Buduar reaksiyasi misol bo'la oladi:

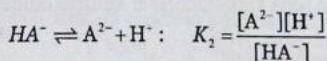
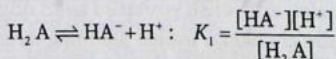


buning uchun tenglama (qattiq uglerodsiz) quyidagicha yoziladi:

$$K_c = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]^2}$$

Ko'p muvozanat

Ikki asosli kislota H_2A misolini ko'rib chiqaylik. Suvda eritilganda, aralashmada H_2A , HA^- va A^{2-} bo'ladi. Bu muvozanatni ikki bosqichga bo'lish mumkin, ularning har birida bitta proton ajralib chiqadi.



K_1 va K_2 bosqichli muvozanat konstantalariga misoldir. Umumiy muvozanat konstantasi, β_D bosqichli konstantalarning mahsulotidir.

$$\text{H}_2\text{A} \rightleftharpoons \text{A}^{2-} + 2\text{H}^+; \beta_D = \frac{[\text{A}^{2-}][\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{A}]} = K_1 K_2$$

E'tibor bering, bu konstantalar dissotsiatsiya konstantalaridir, chunki muvozanat ifodasining o'ng tomonidagi mahsulotlar dissotsiatsiya mahsulotidir. Ko'pgina tizimlarda assotsiatsiya konstantalaridan foydalanish afzalroqdir.

$$\text{A}^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HA}^-; \beta_1 = \frac{[\text{HA}^-]}{[\text{A}^{2-}][\text{H}^+]}$$

$$\text{A}^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{A}; \beta_2 = \frac{[\text{H}_2\text{A}]}{[\text{A}^{2-}][\text{H}^+]^2}$$

β_1 va β_2 bog'lanish doimiyya misol bo'la oladi. Shubhasiz, β_1 ning qiymati $\beta_1 = \frac{1}{K_2}$ ga va β_2 ning qiymati esa $\beta_2 = \frac{1}{\beta_D}$ ga teng.

$\log \beta_1 = pK_2$ ga teng bo'lsa, $\log \beta_2 = pK_1 + pK_2$ ning yig'indisiga teng bo'ladi.

Haroratning ta'siri

Harorat o'zgarishining muvozanat konstantasiga ta'siri vant goff tenglamasi bilan berilgan.

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H_m^\ominus}{RT^2}$$

Shunday qilib, ekzotermik reaksiyalar uchun (ΔH manfiy), K harorat oshishi bilan kamayadi, endotermik reaksiyalarda esa (ΔH musbat) K harorat oshishi bilan ortadi. Muqobil formulasi:

$$\frac{d \ln K}{d(T^{-1})} = -\frac{\Delta H_m^\ominus}{R}$$

Bir qarashda, bu K ning harorat bilan o'zgarishini o'rganish orqali reaksiyaning standart molyar entalpiyasini olish vositasini taklif qilgandek tuyuladi. Biroq, amalda usul ishonchsizdir, chunki bu usulda xatoning tarqalishi deyarli har doim hisoblangan qiymatlarda juda katta xatolarni keltirib chiqaradi.

Elektr va magnit maydonlarining ta'siri

Elektr maydonining muvozanatga ta'siri Manfred Eygen tomonidan o'rganilgan.

Muvozanat turlari

Gaber-Bosh jarayoni

$N_2(g) \rightleftharpoons N_2$ (adsorbsiyalangan)

N_2 (adsorbsiyalangan) $\rightleftharpoons 2N$ (adsorbsiyalangan)

$H_2(g) \rightleftharpoons H_2$ (adsorbsiyalangan)

H_2 (adsorbsiyalangan) $\rightleftharpoons 2H$ (adsorbsiyalangan)

N (adsorbsiyalangan) + $3H$ (adsorbsiyalangan) $\rightleftharpoons NH_3$ (adsorbsiyalangan)

NH_3 (adsorbsiyalangan) $\rightleftharpoons NH_3(g)$

Muvozanatni keng ma'noda geterogen va bir jinsli muvozanat deb tasniflash mumkin. Bir xil muvozanat reaksiyaga kirishuvchi moddalar va bir xil fazaga tegishli mahsulotlardan iborat bo'lsa, turli xil fazalardagi reaksiyaga kirishuvchi moddalar va mahsulotlar uchun geterogen muvozanat kuchga kiradi.

- Gaz bosqichida: Raketa dvigatellari
- Gaber-Bosh jarayonidagi ammiak kabi sanoat sintezi (o'ngda tasvirlangan) adsorbsiya jarayonlarini o'z ichiga olgan muvozanat bosqichlarining ketma-ketligi orqali sodir bo'ladi.
 - Atmosfera kimyosi
 - Dengiz suvi va boshqa tabiiy suvlar: Kimyoviy okeanografiya
 - Ikki faza o'rtasida taqsimlash
 - log D tarqatish koeffitsiyenti: Lipofillik preparatning muhim xususiyati bo'lgan farmatsevtika uchun muhim.
 - Suyuq-suyuqlik ekstraksiyasi, Ion almashinuvi, Xromatografiya.
 - Eruvchanlik mahsuloti.
 - Gemoglobin tomonidan qonga kislorodning so'rilish va chiqarilishi.
 - Kislota-asos muvozanati: Kislota dissotsialanish konstantasi, gidroliz, bufer eritmalar, indikatorlar, kislota-asos gomeostazi.
 - Metall-ligand kompleksi: sekvestrlash vositalari, xelat terapiyasi, MRT (magnit-rezonans tomografiyasi) kontrast reagentlari, Shlenk muvozanati.
 - Qo'shimchalarning shakllanishi: Mehmon-xo'jayin kimyosi, supramolekulyar kimyo, molekulyar tanib olish, dinitrogen tetroksidi.
 - Ba'zi tebranish reaksiyalarida muvozanatga yaqinlashish asimptotik emas, balki susaytiruvchi tebranish shaklida bo'ladi.
 - Elektrokimyodagi tegishli Nernst tenglamasi oksidlanish-qaytarilish konsentratsiyasining funksiyasi sifatida elektrod potentsialining farqini beradi.

• Muvozanatning har ikki tomonidagi molekular ikkilamchi reaksiyalarda qaytarilmas reaksiyaga kirisha oladigan bo'lsa, yakuniy mahsulot nisbati K_{ur}-Gammet tamoyiliga muvofiq aniqlanadi.

Bu ilovalarda turg'unlik konstantasi, hosil bo'lish konstantasi, bog'lanish doimiysi, yaqinlik doimiysi, assotsiatsiya/dissotsiatsiya konstantasi kabi atamalar qo'llaniladi. Biokimyoda bog'lanish konstantalari uchun birliklarni berish odatiy hol bo'lib, ular konstanta qiymatini aniqlashda foydalanilgan konsentratsiya birliklarini aniqlashga xizmat qiladi.

Aralashmaning tarkibi

Agar yagona muvozanat aralashmaning tarkibi sifatida 1:1 qo'shimchani hosil bo'lishi bo'lsa, aralashmaning tarkibini hisoblashning ko'plab usullari mavjud.

Muvozanat holatidagi aralashmaning tarkibini umumiy hisoblashda uchta yondashuv mavjud.

1. Eng asosiy yondashuv istalgan konsentratsiyalar o'Ichangan muvozanat konstantalari (kimyoviy potentsiallarni o'Ichashga teng) va boshlang'ich sharoitlarda ifodalanmaguncha turli muvozanat konstantalarini manipulyatsiya qilishdir.

2. Tizimning Gibbs energiyasini minimallashtirish.

3. Massa muvozanati tenglamasini bajaring. Massa muvozanati tenglamalari oddiygina ifodalar bo'lib, har bir reaksiyaga kirishuvchi moddani umumiy konsentratsiyasi massa saqlanish qonuni bo'yicha doimiy bo'lishi kerakligini ko'rsatadi.

Massa-muvozanat tenglamalari

Umuman olganda, hisob-kitoblar ancha murakkab. Masalan, suvda erigan ikki asosli kislota H₂A bo'lsa, ikkita reaksiyaga kirishuvchi moddani konyugat asos sifatida ko'rsatish mumkin, A²⁻ va proton, H. Quyidagilar massa balans tenglamalari 1,2-diaminoetan kabi asosga teng darajada qo'llanilishi mumkin, bu holda bazaning o'zi reaksiyaga kirishuvchi modda A sifatida belgilanadi:

$$T_A = [A] + [HA] + [H_2A]$$

$$T_H = [H] + [HA] + 2[H_2A] - [OH]$$

T_A bilan, turlarning umumiy konsentratsiyasi A. E'tibor bering, bu tenglamalarni yozish va ishlatishda ion zaryadlarini qoldirish odatiy holdir.

Muvozanat konstantalari ma'lum bo'lganda va umumiy konsentratsiyalar aniqlanganda ikkita noma'lum "erkin konsentratsiyalar" [A] va [H]da ikkita tenglama mavjud. Bu [HA] = β₁ [A][H], [H₂A] = β₂ [A][H]² va [OH] = K_w[H]⁻¹:

$$T_A = [A] + \beta_1 [A][H] + \beta_2 [A][H]^2$$

$$T_H = [H] + \beta_1 [A][H] + 2\beta_2 [A][H]^2 - K_w [H]^{-1}$$

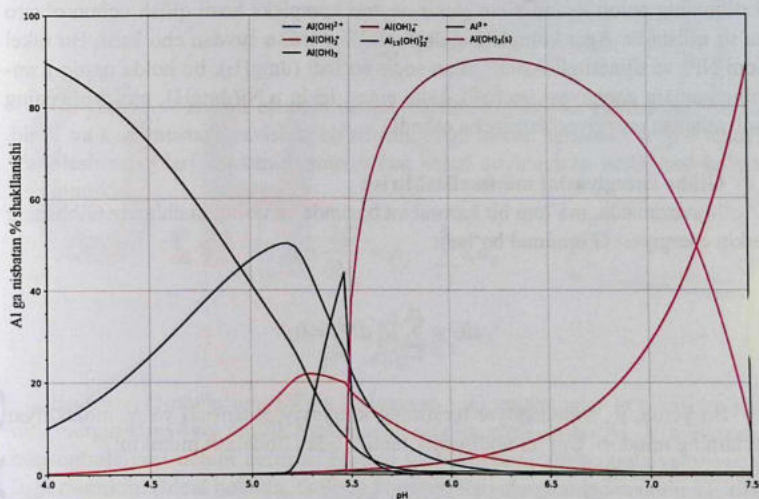
Shuning uchun “komplekslar”ning konsentratsiyasi erkin konsentratsiyalar va muvozanat konstantalaridan hisoblab chiqiladi. A va B ikkita reaksiyaga kirishuvchi moddali barcha tizimlar uchun qo‘llaniladigan umumiy iboralar bo‘ladi;

$$T_A = [A] + \sum_i p_i \beta_i [A]^p [B]^q$$

$$T_B = [B] + \sum_i q_i \beta_i [A]^p [B]^q$$

Buni uch yoki undan ortiq reaksiyaga kirishuvchi moddalarga qanday kengaytirish mumkinligini ko‘rish oson.

Ko‘p asosli kislotalar



Aluminiyning gidrolizi paytida turlarning konsentratsiyasi.

A va H reaksiyaga kirishuvchi moddalarini o‘z ichiga olgan eritmalar tarkibini $p[H]$ funksiyasi sifatida hisoblash oson. Agar $[H]$ ma’lum bo‘lsa, erkin konsentratsiya $[A]$ A dagi massa balansi tenglamasidan hisoblanadi. Diagrammada aluminiiy Luis kislotasining gidrolizlanishi misoli ko‘rsatilgan Al^{3+} aluminiiy tuzining 5×10^{-6} M eritmasi uchun turdagi konsentratsiyalarni pH funksiyasi sifatida ko‘rsatadi. Har bir konsentratsiya umumiiy aluminiiyning foizi sifatida ko‘rsatilgan.

Eritma va cho'kma

Yuqoridagi diagrammada eritma muvozanatidagi asosiy turlardan biri bo'lmagan cho'kma hosil bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan. pH^{43} 5.5 dan sal pastroq bo'lganda, Al^{3+} ning $5 \mu\text{M}$ eritmasida mavjud bo'lgan asosiy turlar aluminiy gidroksidlari $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ dir. Lekin pH $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ko'tarilganda eritmadan cho'kma hosil bo'ladi. Bu $\text{Al}(\text{OH})_3$ juda katta bo'lgani uchun sodir bo'ladi. pH ko'tarilgan sari $\text{Al}(\text{OH})_3$ eritmadan chiqadi. Bu Le Shatelye prinsipining amaldagi misolidir.

Gidroksid ionining konsentratsiyasining oshishi aluminiy gidroksidining ko'proq cho'kishiga olib keladi, bu gidroksidni eritmadan olib tashlaydi. Gidrok-sid konsentratsiyasi yetarlicha yuqori bo'lganda, eruvchan aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ hosil bo'ladi.

Cho'kma paydo bo'lishining yana bir keng tarqalgan misoli sifatida, metall kationining anion ligand bilan elektr neytral kompleks hosil qilish uchun o'zaro ta'sir qilishidir. Agar kompleks gidrofobik⁴⁴ bo'lsa, u suvdan cho'kadi. Bu nikel ioni Ni^{2+} va dimetilglioksim⁴⁵ bilan sodir bo'ladi (dmgH_2), bu holda qattiq jismning panjara energiyasi unchalik katta emas, lekin u $\text{Ni}(\text{dmgH})_2$ molekulasining solvatlanish energiyasidan ancha oshadi.

Gibbs energiyasini minimallashtirish

Muvozanatda, ma'lum bir harorat va bosimda va tashqi kuchlarsiz Gibbsning erkin energiyasi G minimal bo'ladi:

$$dG = \sum_{j=1}^m \mu_j dN_j = 0$$

Bu yerda, μ_j , j molekulyar turlarning kimyoviy potentsiali va N_j molekulyar turlarning miqdori. Uni termodinamik faollik bilan ifodalash mumkin:

$$\mu_j = \mu_j^\circ + RT \ln A_j$$

Bu yerda, μ_j° standart holatdagi kimyoviy potentsial, R gaz doimiysi mutlaq harorat, A_j esa faollik.

Yopiq tizim uchun hech qanday zarrachalar kirishi yoki chiqishi mumkin emas, ammo ular turli yo'llar bilan birlashishi mumkin. Har bir element atom-

⁴³ Kimyoda pH talaffuzi: pe – hash; ingl. potential Hydrogen – “potensial vodorod” suvli eritmaning kislota yoki asosligi o'lchovidir.

⁴⁴ Gidrofobiklik qadimgi yunoncha $\psi\delta\omicron\rho$ – “suv” + phosor – “qo'rquv” kimyoviy molekularlarning suv muhiti bilan o'zaro ta'sir qilish tendensiyasining yo'qligidan iborat bo'lgan xususiyatdir.

⁴⁵ Dimetilglioksim nikel ioni bilan qizil rangli kristall cho'kma hosil qiladi.

larining umumiy soni o'zgaras bo'lib qoladi. Bu shuni anglatadiki, yuqoridagi minimallashtirish cheklovlariga bo'ysunishi kerak:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} N_j = b_i^0$$

Bu yerda, a_{ij} molekuladagi i element atomlarining soni, b_i^0 esa i element atomlarining umumiy soni bo'lib, tizim yopiq bo'lgani uchun doimiy hisoblanadi. Agar tizimda jami k turdagi atomlar mavjud bo'lsa, u holda bunday tenglamalar k bo'ladi. Agar ionlar ishtirok etsa, har bir molekuladagi tegishli zaryadni ko'rsatuvchi qo'shimcha a_{ij} qator qo'shiladi, uning yig'indisi nolga teng bo'ladi.

$$\mathcal{G} = G + \sum_{i=1}^k \lambda_i \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} N_j - b_i^0 \right) = 0$$

Bu yerda λ_i – har bir element uchun bittadan Lagranj ko'paytmalari. Bu har bir N_j va λ_j ni mustaqil ravishda ko'rib chiqishga imkon beradi va ko'p o'lchovli hisoblash asboblari yordamida muvozanat holati quyidagicha berilishini ko'rsatish mumkin:

$$0 = \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial N_j} = \mu_j + \sum_{i=1}^k \lambda_i a_{ij}$$

$$0 = \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \lambda_i} = \sum_{j=1}^m a_{ij} N_j - b_i^0$$

Bu $(m + k)$ noma'lum (N_j va λ_i)dagi $(m + k)$ tenglamalar to'plami va shuning uchun kimyoviy faollik funksiyalari sifatida ma'lum bo'lsa, N_j muvozanat konsentratsiyasi uchun berilgan harorat va bosimdagi konsentratsiyalar yechilishi mumkin. (Ideal holatda, faoliyat konsentratsiyalarga mutanosibdir.) E'tibor bering, ikkinchi tenglama minimallashtirish uchun faqat boshlang'ich cheklovlardir.

Muvozanat kimyoviy konsentratsiyasini hisoblashning bu usuli juda ko'p turli xil molekulalarga ega tizimlar uchun foydalidir. Massani cheklash uchun k atom elementini saqlash tenglamalaridan foydalanish oddiy va stexiometri koeffitsiyent tenglamalaridan foydalanishni almashtiradi. Natijalar kimyoviy tenglamalar bilan belgilangan natijalarga mos keladi. Masalan, agar muvozanat bitta kimyoviy tenglama bilan aniqlansa:

$$\sum_{j=1}^m \nu_j R_j = 0$$

Bu yerda, v_j – j -molekula uchun stexiometrik koeffitsiyent (reaksiyaga kirishuvchi moddalar uchun manfiy, mahsulotlar uchun ijobiy) va R_j – j -molekulaning belgisi, to'g'ri muvozanatlangan tenglama bo'ysuniladi:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} v_j = 0$$

Birinchi muvozanat shartini v_j ga ko'paytirish natijasida quyidagi hosil bo'ladi:

$$0 = \sum_{j=1}^m v_j \mu_j + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k v_j \lambda_i a_{ij} = \sum_{j=1}^m v_j \mu_j$$

Yuqoridagidek, ΔG ni aniqlash:

$$\Delta G = \sum_{j=1}^m v_j \mu_j = \sum_{j=1}^m v_j (\mu_j + RT \ln(\{R_j\})) = \Delta G^\circ + RT \ln \left(\prod_{j=1}^m \{R_j\}^{v_j} \right) = \Delta G^\circ + RT \ln(K_c)$$

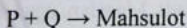
Bu yerda K_c – muvozanat konstantasi va ΔG muvozanatda nolga teng bo'ladi. Boshqa termodinamik potentsiallarni minimallashtirish uchun o'xshash jarayonlar mavjud.

To'qnashuv nazariyasi

Bu nazariyaga ko'ra, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning molekulari qattiq sharlar deb qabul qilinadi va reaksiyalar faqat bu sharlar (molekulalar) bir-biri bilan to'qnashganda sodir bo'ladi deb faraz qilinadi. Shunday qilib, reaksiya haqida aniq tasavvurga ega bo'lishimiz uchun mahsulotlarni hosil qilish uchun sodir bo'lgan to'qnashuvlar sonini aniqlash muhimdir va shu bois to'qnashuv chastotasi atamasi paydo bo'ldi.

To'qnashuv chastotasi deganda reaksiyaga kirishayotgan aralashmaning birlik hajmiga soniyada to'qnashuvlar soni tushunilishi mumkin. U odatda Z bilan belgilanadi.

Quyidagi bimolekulyar elementar reaksiyani ko'rib chiqamiz:



Endi to'qnashuv nazariyasiga ko'ra, yuqoridagi reaksiya tezligi quyidagicha berilishi mumkin:

$$Rate = Z_{PQ} e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Bu yerda:

- Z_{PQ} = reaksiyaga kirishuvchi moddalar P va Q ning to'qnashuv chastotasi.
- E_a = Faollanish energiyasi⁴⁶.
- R = Universal gaz doimiysi.
- T = Mutlaq shkaladagi harorat.

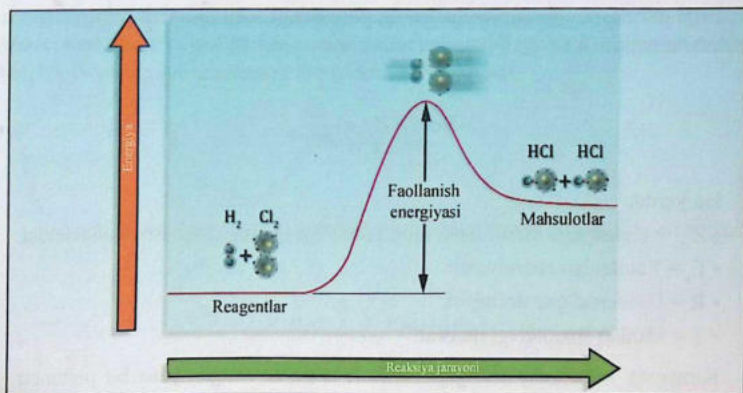
Kimyoviy reaksiyalar tezligiga sezilarli ta'sir ko'rsatgan yana bir parametr – faollanish energiyasi (E_a). Faollanish energiyasi atamasi Arrenius tomonidan berilgan, bu kimyoviy reaksiya jarayonida mahsulot hosil qilish uchun reaksiyaga kirishuvchi moddalar ega bo'lishi kerak bo'lgan minimal energiya miqdori.

Faollanish energiyasi

Faollanish energiyasi – bu reaksiya sodir bo'lishi uchun har qanday muayyan reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi zarralar tomonidan zarur bo'lgan minimal energiya miqdori. Zarrachalar faollanish energiyasini ta'minlash uchun yetarli energiya bilan to'qnashmasa, ular reaksiyaga kirishmaydi. Reaksiya sodir bo'lishidan oldin faollanish energiyasi berilishi kerak.

Kimyoviy reaksiyani boshlash uchun energiya talab qiladigan reaksiyaga kirishuvchi moddalarda kimyoviy bog'lar uzilishi kerak. Reaksiyani boshlash uchun zarur bo'lgan energiya faollanish energiyasi deb ataladi. Ba'zida faollanish energiyasi past bo'ladi, shuning uchun reaksiya xona haroratida qizdirilmasdan boshlanishi mumkin.

⁴⁶ **Faollanish energiyasi** – molekulalarni faol holatga o'tkazish uchun sarflanadigan energiya.



Faollanish energiyasi.

Asosan Arrenius tenglamasiga ko'ra, energiya faollanish energiyasidan katta yoki unga teng bo'lgan barcha molekular mahsulot hosil qilish uchun to'qnashadi. Ammo bu postulat barcha reaksiyalar uchun to'g'ri emas edi. Murakkab molekular ishtirokidagi reaksiyalarda sezilarli darajada og'ish kuzatildi.

Yetarli energiyaga (faollanish energiyasi) ega bo'lgan molekularning ba'zilar mahsulot hosil qilish uchun to'qnashgan emas. Ulardan faqat bir nechitasi samarali to'qnashuvlar hosil bo'lishiga olib keldi. Olimlar molekularning kinetik energiyasi reaksiyani boshqaradigan yagona parametr samarali to'qnashuvlarni hisobga olish emasligini aniqladilar.

Ular to'qnashuv vaqtida to'g'ri yo'naltirilgan va chegaraviy energiyaga ega bo'lgan molekularlarga mahsulot hosil qiladi, degan xulosaga kelishdi. Shunday qilib, olimlar samarali to'qnashuvlarni hisobga olish uchun P ehtimollik omilini kiritdilar.

Endi reaksiya tezligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\text{Rate} = PZ_{pq} e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

To'qnashuv nazariyasi

Xulosa qilib aytganda, faollanish energiyasi va reaksiyaga kirishayotgan molekularning to'g'ri yo'nalishi birgalikda samarali to'qnashuv bo'lgan mahsulotlarning paydo bo'lishiga olib keladigan to'qnashuv shartini aniqlaydi, deyishi-

miz mumkin. Shunday qilib, to'qnashuv nazariyasida reaksiya tezligini faollashtirish energiyasi ham, samarali to'qnashuv ham boshqaradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Housecroft, C.E.; Sharpe, A.G. (2008). Inorganic Chemistry (3rd ed.). Prentice Hall. ISBN 0-13-175553-6. Chapter 6: Acids, Bases and Ions in Aqueous Solution
2. Chemical-kinetics, science: britannica.com, Retrieved 18 April, 2019
3. Skoog, D.A.; West, D.M.; Holler, J.F.; Crouch, S.R. (2004). Fundamentals of Analytical Chemistry (8th ed.). Thomson Brooks/Cole. ISBN 0-03-035523-0. Section 30E, Chromatographic separations
4. Chen, Luonan; Wang, Rnqi; Li, Chunguang; Aihara, Kazuyutl (2010). Modeling Biomolecular Networks in Cells. Doi:10.1007/978-1-84996-214-8. ISBN 978-i-84996-213-1
5. Law-of-mass-action-or-law-of-chemical-equilibriwn, chemistry: byjus.com, Retrieved 11 January, 2019
6. Atkins, Peter; De Paula, Julio (2006). Atkins' Physical Chemistry (8th ed.). W.H. Freeman. Pp. 200-202. ISBN 0-7167-8759-8
7. The-collision-theory-of-chemical-reactions, chemistry: byjus.com, Retrieved 14 July, 2019

Elektrokimyoviy muhandislik

- Elektrokimyoviy reaksiyalar
- Standart elektrod potensial
- Elektrokimyoviy hujayralar

Elektrokimyoviy hodisalar, masalan, elektrokimyoviy tozalash, ajratish va korroziya kabi jarayonlar bilan shug'ullanadigan kimyoviy muhandislik sohasi elektrokimyoviy muhandislik deb ataladi. Ushbu bob elektrokimyoviy muhandislik va elektrokimyoviy hujayralar haqida tushuncha beriladi.

Elektrokimyoviy muhandislik – bu sanoat zavodlarini loyihalashtirish va boshqarish sohasidir. Bunday zavodlar kimyoviy moddalar ishlab chiqarish uchun elektrolit⁴⁷ va elektrolit qurilmalardan foydalanadi. Birinchi holatda, elektr quvvati kimyoviy moddalarni ishlab chiqarishda qo'llanilsa, ikkinchi holatda esa kimyoviy moddalar elektr quvvatini ishlab chiqarishda ishlatiladi. Elektrolizga asoslangan ko'plab jarayonlar, masalan, elektrokimyoviy ishlov berish va elektroforetik⁴⁸ bo'yash, shubhasiz, elektrokimyoviy muhandislik sohasiga kiradi.

Elektrokimyoviy reaksiyalar

Elektrokimyoviy reaksiya elektr tokining elektronlarning ikkita modda o'rtasida o'tishi bilan bog'liq bo'lgan jarayondir. Moddalarning biri quyuq, ikkinchisi suyuqlik shaklda bo'ladi. Normal sharoitda kimyoviy reaksiyaning paydo bo'lishi energiyaning boshqa shakli emas, balki issiqlikning chiqishi yoki yutilishi bilan birga sodir bo'ladi, lekin ko'p kimyoviy reaksiyalar mavjud – ular o'tkazgichlar orqali ajratilgan ikkita elektron o'tkazgich bilan aloqa qilishda davom etsa, elektr energiyasi chiqaradi va elektr toki hosil bo'ladi. Aksincha, elektr tokining energiyasi o'z-o'zidan sodir bo'lmaydigan ko'plab kimyoviy reaksiyalar mavjud. Kimyoviy energiyani to'g'ridan to'g'ri aylantirishni o'z ichiga olgan jarayon elektr hujayrani tashkil qiladi. Elektr energiyasini to'g'ridan to'g'ri aylantiradigan jarayon kimyoviy energiyaga aylanish elektrolizdan biridir, ya'ni elektrolitik jarayon. Birlashtirilgan kimyoviy energiya tufayli elektrolitik jarayonning mahsulotlari bir-biri bilan o'z-o'zidan reaksiyaga kirishish tendensiyasiga ega bo'lib, reak-

⁴⁷ Elektrolit – bu elektr tokini o'tkazuvchi modda.

⁴⁸ Elektroforetik – bu elektr maydonida zaryadlangan qismlarning harakati jarayonini tasvirlaydigan atama.

tiv bo'lgan va elektroliz paytida iste'mol qilingan moddalarni ko'paytiradi. Agar bu teskari reaksiyaga tegishli sharoitlarda ruxsat berilsa, elektrolizda ishlatiladigan elektr energiyasining katta qismi qayta tiklanishi mumkin. Bu imkoniyatdan akkumulatorlar yoki akkumulator batareyalari deb nomlanuvchi to'plamlarda foydalaniladi. Akkumulatorni zaryadlash elektroliz jarayonidir, kimyoviy o'zgarish u orqali o'tadigan elektr toki bilan hosil bo'ladi. Hujayraning zaryadsizlanishida teskari kimyoviy o'zgarish sodir bo'ladi, akkumulator elektr tokini ishlab chiqaradigan hujayra vazifasini bajaradi.

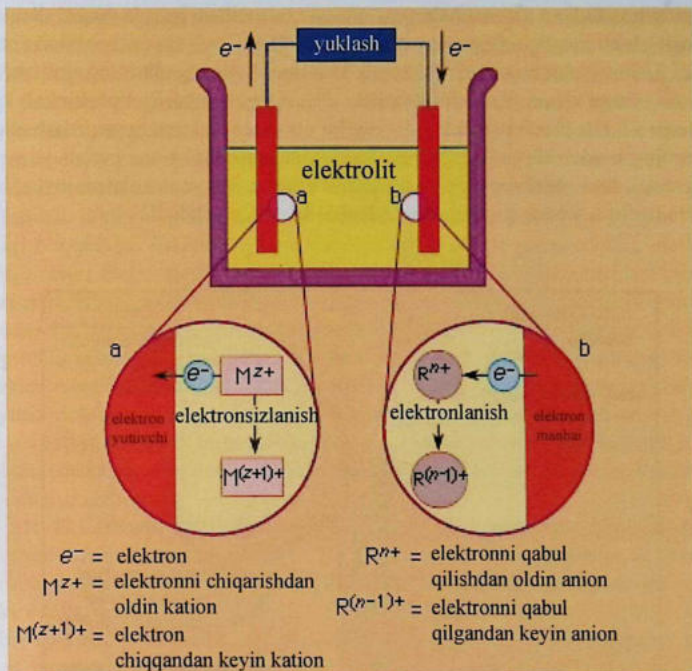
Prinsiplar

Elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi moddalar ikki guruhga bo'linadi: metall yoki elektron o'tkazgichlar va elektrolitik o'tkazgichlar. Metallar va grafit, marganes dioksidi va qo'rg'oshin sulfid kabi ko'plab metall bo'lmagan moddalarning metall o'tkazuvchanlik xususiyati bor, ular orqali elektr tokining o'tishi isitish keltirib chiqaradi, ammo kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'lmaydi. Elektrolitik o'tkazgichlar, ya'ni elektrolitlar erigan holatda, suv yoki boshqa erituvchilardagi eritmada ko'pchilik kislotalar va tuzlarni o'z ichiga oladi. Suyuqlik elektrolitiga botiriladigan mos metall o'tkazgich plitalari elektrodlar oqimini suyuqlik ichiga va tashqarisiga o'tkazish uchun ishlatiladi. Elektrolitlar orqali elektrodlar o'rtasida oqim o'tkazilganda nafaqat issiqlik va magnit ta'sirlanish hosil bo'ladi, balki boshqa kimyoviy o'zgarishlar ham sodir bo'ladi. Katod deb ataladigan manfiy elektrodda metallning cho'kish, vodorodning ajralib chiqishi va asosiy moddaning shakllanishi yoki boshqa kimyoviy tiklanish jarayoni sodir bo'ladi, musbat elektrodda yoki anodda bu anodning o'zini eritishi, metall bo'lmagan moddalarning ajralib chiqishi, kislorod kislotali moddaning ishlab chiqarilishi yoki boshqa kimyoviy oksidlanish jarayoni sodir bo'ladi. Moddani suvda yoki boshqa suyuqlikda eritish yo'li bilan tayyorlangan elektrolitlar o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lib, unda elektr zaryadlangan atomlar yoki o'z-o'zidan bo'linish natijasida hosil bo'lgan atom guruhlari mavjud. Kuchli elektrolitlar deb ataladigan eritmalarda dastlabki moddaning ko'p qismi, ba'zi eritmalarda hammasi zaryadlangan zarra-chalar yoki ionlarga elektrolitik dissotsiatsiyalanish jarayonidan o'tadi. Elektrolitga tushadigan elektrodlar o'rtasida elektr potensial farqi (ya'ni elektrifikatsiya darajasidagi farq) o'rnatilganda, musbat zaryadlangan ionlar katodga, manfiy zaryadli ionlar esa anodga qarab harakatlanadi. Elektr toki ionlarning bu migratsiyasi orqali hosil bo'ladi. Ion qarama-qarshi qutbli elektrodga yetganda, uning elektr zaryadi metallga beriladi yoki metalldan elektr zaryadi olinadi. Shu tariqa, ion oddiy neytral atomga yoki atomlar guruhiga aylanadi. Aynan shu ionlarning zaryadsizlanishi elektrodalarda sodir bo'ladigan kimyoviy o'zgarish turlaridan birini keltirib chiqaradi.

Elektrokimyoviy jarajon

Elektr tokining o'tishi bilan bog'liq moddalarning o'zaro ta'siri manfiy zaryadlangan elektronning xususiyatlariga bog'liq. Elektrning asosiy zarrasi sifatida elektron moddaning musbat zaryadlangan zarralari, protonlar, atomlar, atomlar guruhleri yoki molekulalarga yaqinlik xususiyatiga ega. Bu yaqinlik zarrachalarning o'zaro bir-biri bilan namoyon bo'ladigan kimyoviy yaqinligiga o'xshaydi. Darhaqiqat, barcha kimyoviy reaksiyalar atomlarning elektron tuzilishining siljishi natijasida yuzaga keladi va erkin elektronlar materiya zarralari bilan birlashishi (qaytarilishi) yoki ular tomonidan ajralib chiqishi (oksidlanish) mumkin. Elektr tokining erkin elektronlari va ular reaksiyaga kirishadigan moddaning zarralari o'rtasidagi miqdoriy bog'liqlik Faradey qonunlari bilan aniqlanadi.

Elektronlar ko'p miqdorda nisbatan erkin (harakatlanuvchi) holatda faqat elektron o'tkazgichlar deb ataladigan moddalarda mavjud. Ular orasida metallar eng muhimidir. Shu tariqa, elektron o'tkazgich elektrokimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladigan har qanday tizimning asosiy komponenti hisoblanadi. Bundan tashqari, o'tkazgichda elektronlarning mavjudligi energiya taqsimoti bilan belgilanadi, elektrokimyoviy reaksiyalar faqat elektron o'tkazgichning yuzasiga bevosita yaqin joyda, ya'ni o'tkazgichdan eritma ichiga bir necha angstromlar hosil bo'ladi. Shuning uchun bu reaksiyalar odatda elektrod kabi elektron o'tkazgich va elektrolitik eritma kabi elektr tokining ionli o'tkazgichi o'rtasidagi interfeysida sodir bo'ladi. Lekin, elektrokimyoviy reaksiya elektr toki orqali oqib o'tadi. Bunga erishish uchun tizim elektron shaklda yopiq siklni shakllantirishi zarur.



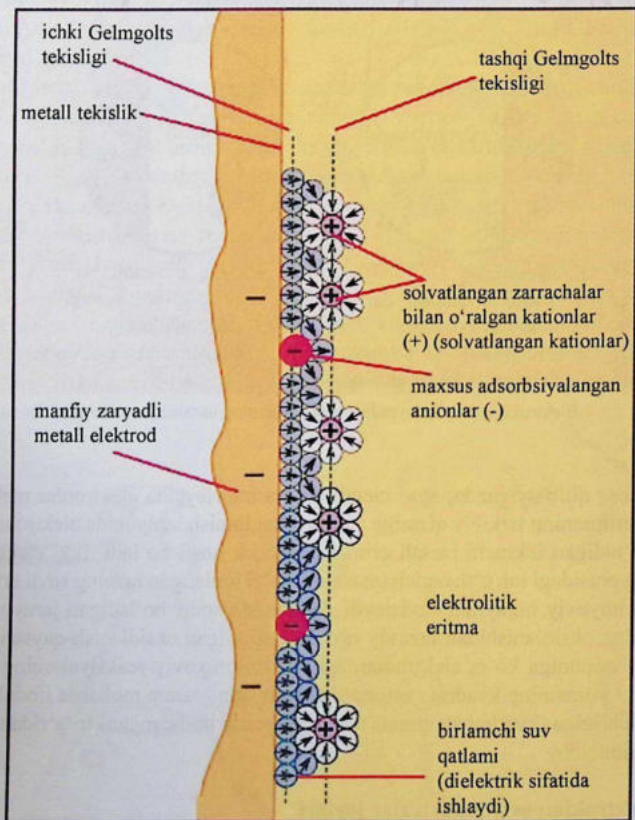
Elektrokimyoviy hujayradagi elektronlarning harakat mexanizmi.

Xulosa qilib aytganda, agar metall eritma interfeysida elektronlar metalldan chiqib, eritmaning tarkibiy qismiga qaytsa, oksidlanish jarayonida elektronlar metallga o'tadigan ikkinchi metall eritma interfeysi hosil bo'ladi. Ikki elektrod va ularning orasidagi ion o'tkazgich (masalan, ba'zi ionlangan tuzning suvli eritmasi) elektrokimyoviy hujayrani ifodalaydi. Hujayrada sodir bo'ladigan jarayon – bu bir turning oksidlanishidan fazoviy ravishda ajratilgan oksidlanish-qaytarilishdir. Faradey qonuniga ko'ra elektrodlardagi elektrokimyoviy reaksiyalarning tezligi (elektrod yuzasining kvadrat santimetriga soniyada gramm mollarda ifodalangan) oqim zichligiga (kvadrat santimetr uchun amperda ifodalangan) to'g'ridan to'g'ri proporsionaldir.

Elektrokimyoviy reaksiyalar joylari

Elektrokimyoviy reaksiyalar elektron o'tkazgich va ionli o'tkazgich uchrashadigan joyda, ya'ni elektrod-elektrolit interfeysida sodir bo'ladi. Ushbu hudud sirt

fazasi deb ataladi va u zarrachalarning o'ziga xos tuzilishi hamda yuqori darajada intensiv elektr maydonining mavjudligi (10,000,000 volt/1 cm gacha) bilan ajralib turadi. Ushbu elektr maydoni ikki asosiy faza orasidagi zaryadlarning ajralishi natijasida yuzaga keladi. Ko'pchilik holatlarda sirt fazasini parallel plastinkali kondensator sifatida tasavvur qilish mumkin: bir plastinka elektrodga yaqinlashadigan ionlarning markazida joylashgan bo'lsa, ikkinchi plastinka esa metall yuzasida joylashadi. Ikki plastinka orasida dielektrik sifatida suv molekullari joylashadi. Ushbu tuzilma "elektr qo'sh qavati" (double layer) deb ataladi.



Qo'sh qavat tuzilishi va elektrod yuzasidan uzoqlashgan sari potensialning o'zgarishi.

Eritmadagi musbat ionlarning issiqlik harakati elektrolit tomonidagi kondensator plastinkasini diffuz holga keltiradi, bu esa ionlarning bulut shaklida taqsimlanishiga olib keladi. Ushbu jarayon metall fazasi va elektrolit fazasi orasidagi potensial o'zgarishni ikki qismga ajratishga imkon beradi. Birinchisi, metall yuzasi va eng yaqin yondashuv masofasidagi birinchi ion qatlami orasidagi o'zgarishdir, bu tashqi gelmgolts tekisligi⁴⁹ deb ataladi. Ushbu tekislikda ionlar odatda erituvchi zarrachalari bilan o'ralgan holda, ya'ni solvatsiyalangan holda joylashadi. Ikkinchi qism esa birinchi ion qatlami va eritmaning asosiy qismi orasidagi o'zgarishni ifodalaydi, bu qo'sh qavatning diffuz qismi sifatida ma'lum. Ushbu tasvir elektr zaryadlari orasidagi tortishish yoki itarilish kuchlari sababli murakkablashadi, chunki elektrod yuzasidagi ionlar maxsus adsorbsiya qilinadi. Bunday ionlar yuzaga yaqinroq masofada joylashgani uchun elektr qo'sh qavatning ichki qismi yana bo'linadi. Shu sababli, maxsus adsorbsiya qilingan ionlar markazi bilan hosil bo'lgan ichki Gelmgolts tekisligi tushunchasi yuzaga kelgan. Neytral molekularlarning yuzaga adsorbsiyasi esa elektr qo'sh qavat xususiyatlarini o'zgartiradi, bu suv molekularining almashtirilishi va natijada adsorblangan dipollar (masalan, suv molekulari) sababli elektr potensialidagi o'zgarishlar natijasida yuzaga keladi.

Metall elektrodning asosiy qismi va elektrolitning asosiy qismi orasidagi elektr potensial farqining mutlaq qiymati ($\Delta\psi$) to'g'ridan to'g'ri o'lchanmaydi. Buning o'rni, o'rganilayotgan maxsus elektrod va arbitr ravishda tanlangan mos yozuv elektrodidan tashkil topgan maxsus hujayra kuchlanishi o'lchanadi. Bu kuchlanish nisbiy elektrod potentsiali E deb ataladi. Qizig'i shundaki, bu elektrodning qo'sh qavat metall tomonida ortiqcha zaryad (ijobiy yoki salbiy) bo'lmagan holatidir. Ushbu holatga erishiladigan nisbiy potensial har bir metall uchun o'ziga xosdir va nol zaryad potentsiali deb ataladi. Ushbu potentsialda qo'sh qavat orqali maydon faqat suv molekulari va yuzadagi boshqa dipollarning yo'nalishi bilan yuzaga keladi.

Metall va elektrolit orasidagi interfeysning batafsil tuzilishi haqidagi ko'pgina ma'lumotlar normal haroratda suyuqlik shaklidagi yagona metall – simob yordamida olinadi. Qo'sh qavat tuzilmasi taranglikka ega bo'lib, uni qattiq metallarda o'lchash qiyin. 1970-yillarga kelib, metall-eritma interfeysida taranglik o'zgarishlarini o'lchash mumkinligi aniqlangan. Shu orqali qattiq jismlarni o'z ichiga oluvchi qo'sh qavat tuzilmasini aniqlash yo'li topilgan. Yarimo'tkazgich moddalar elektrokimyoviy reaksiyalarda elektron tashuvchi sifatida ishlatiladi. Yarimo'tkazgichlar past haroratlarda izolyator, yuqori haroratlarda esa metall o'tkazgich sifatida xizmat qiluvchi moddalar hisoblanadi. Yarimo'tkazgichlarda elektr qo'sh qavat tuzilishi murakkabroqdir, chunki qo'sh qavatning elektrod tomonidagi

⁴⁹ Gelmgolts tekisligi (yoki Gelmgolts sathlari) elektrostatik yoki magnit maydonlar va ularning tekislikdagi taqsimotini tasvirlashda qo'llaniladi.

kondensator plastinkasi ham diffuz holatga ega bo'ladi. Shu tariqa, o'zaro tegib turgan fazalar orasidagi umumiy potensial farq yarimo'tkazgichning asosiy qismi va uning yuzasi orasidagi potensial farqni ham o'z ichiga oladi. Bu jarayonlar yarimo'tkazgichlarning elektr xususiyatlarini va ularning elektrokimyoviy reaksiyalarni tushunishga yordam beradi.

Elektrokimyoviy reaksiyalar turlari

Elektrokimyoviy reaksiyalarning bir necha turlari mavjud.

Oddiy redoks reaksiyalar

Oddiy redoks reaksiyasi – bu zaryad tashuvchining (odatda oddiy yoki murakkab ion) elektr zaryadini o'zgartiruvchi jarayon bo'lib, unda ion elektroddan elektron qabul qiladi (qaytarilish) yoki unga elektron beradi (oksidlanish). Zaryad tashuvchilar eritmada ikki xil zaryad holatida bo'lishi mumkin: yuqoriroq, ijobiyroq zaryadlangan holat oksidlangan holat deb ataladi, pastroq, kamroq ijobiy holat esa qaytarilgan holatdir. Masalan, eritmada temir (Fe^{3+}) va temir (Fe^{2+}) ionlar bir vaqtda mavjud bo'lsa va elektrod bilan elektron almashinuvi tez sodir bo'lsa, elektrod yuzasida redoks muvozanati o'rnatiladi. Ushbu muvozanat aniq belgilangan potensialga ega bo'lib, bu qaytaruvchi redoks potentsiali deb ataladi. Qaytaruvchi redoks potentsiali, o'z navbatida, muayyan sharoitda eritmadagi ionlarning oksidlanish va qaytarilish jarayonlari o'rtasidagi muvozanatni ifodalaydi.

Gazlarni hosil qiluvchi reaksiyalar

Eritmadagi vodorod ionlari (H^+) metall elektrod yuzasidan chiqqan elektronlar bilan reaksiyaga kirishganda, vodorod atomlari hosil bo'ladi. Ushbu atomlar o'zaro yoki boshqa vodorod ionlari va elektronlar bilan birikib, gazsimon vodorod molekullarini (H_2) hosil qiladi. Agar barcha reaksiyalar yetarlicha tez sodir bo'lsa, vodorod ionlari va gazsimon vodorod o'rtasida muvozanat o'rnatiladi. Bunday holatda metall yuzasi qaytaruvchi vodorod elektrod deb ataladi va uning elektr potentsiali nolga teng. Shuning uchun boshqa barcha elektrodlar ushbu elektrod bilan taqqoslanadi, chunki u nisbiy elektrod potentsiallari vodorod shkalasining asosini tashkil etadi.

Shu bilan birga, eritmadagi manfiy gidroksil ionlari (OH^-) metallga elektron berib, ketma-ket reaksiyalar orqali oxir-oqibat gazsimon kislorod (O_2) hosil qiladi. Ushbu jarayonlar natijasida kislorod molekullari hosil bo'ladi. Xlor esa boshqa gazsimon mahsulot bo'lib, neytral va kislotali eritmalarda xlorid ionlarining elektrokimyoviy oksidlanishi natijasida paydo bo'ladi. Bu jarayonlar elektrokimyoviy tizimlarda energiya almashinuvi va redoks reaksiyalarining dinamikasini belgilaydi, shuningdek, turli elektrodlarning xususiyatlarini taqqoslash imkonini beradi.

Metallarning cho'kishi va eritilishi reaksiyalari

Metall ion qaytarilib, neytral atom (yoki boshqa birikma) sifatida zararsizlantirilganda, u elektrodning metall panjarasiga o'rtnashishga intiladi. Shu tarzda metallar elektrod yuzasida cho'ktiriladi. Aksincha, metall elektrodga musbat potensial qo'yilib, undan elektronlar olib tashlansa, hosil bo'lgan metall ionlari elektr zaryadi qo'sh qavatidan o'tib, gidratlanadi (suv bilan birikadi) va eritmaga kiradi. Shu bilan metall elektrod eriydi. Ko'plab metallar eritmada o'z ionlari bilan aloqaga kirishganda elektr potentsiallarni hosil qiladi.

Organik moddalarning oksidlanishi va qaytarilishi

Organik moddalar oksidlanishi va qaytarilishi elektrodlar yordamida amalga oshiriladi. Biroq bunday reaksiyalar asosan qaytarilmas hisoblanadi, ya'ni ular natijasida hosil bo'lgan mahsulotlar qayta asl holatga qaytarilishi qiyin. Istisno tariqasida kislorod va azot saqlovchi ba'zi birikmalar (xinonlar, aminlar va azot birikmalar) qaytariluvchi moddalar hisoblaniladi.

Zaryad o'tkazish mexanizmi

Elektrod reaksiyalarining termodinamik jihatdan qaytarilmas xatti-harakatlarini sababi zaryad o'tkazish bu tabiiy jarayondir. Har qanday kimyoviy reaksiyaga o'xshab, ushbu harakat oksidlangan va qaytarilgan holatlar orasidagi energiya to'sig'i bilan cheklanadi. Ushbu to'siq shuni anglatadiki, reaksiyalar faqat maxsus sharoitlarda sodir bo'ladi: molekula boshqa zarrachalar bilan o'zaro ta'sirlanganda (atomlar, ionlar, molekularlar va boshqalar) normal energiya darajasidan yuqoriroq holatga chiqsa odatdagi kimyoviy reaksiyalarda bu energiya zarrachani o'tish holatiga (transition state) olib chiqishi kerak. Bu o'tish holati energiya to'sig'ining eng yuqori nuqtasini xarakterlaydi, ya'ni reaksiyaning boshlanishidan oldingi holatidir. Ushbu modelni elektrodlar yuzasidagi elektron almashinuvga taqqoslaganda elektron almashish reaksiyalari juda sekin sodir bo'ladi. Shunga qaramay, kvant mexanikasi⁵⁰ qonunlari elektronlarning harakatini boshqaradi. Kvant mexanikasiga ko'ra, elektrod va eritmadagi zarracha (masalan, gidratlangan ion) orasida tez elektron almashinuvi sodir bo'lishi uchun zarracha energiyaning aniq kvantlashgan darajasiga yetishi kerak. Ushbu darajalar erkin elektronlarning metall ichida mavjud energiya darajalariga teng bo'ladi.

Kimyoviy jarayonlarning tezligi yoki bu jarayonlarning tezligini tasavvur qilish mumkin bo'lgan holatda, faqat reaktivlar konsentratsiyasini yoki haroratni o'zgartirish orqali ta'sir qilish mumkin bo'ladi. Elektrokimyoviy jarayonlarning tezligi esa elektrod potensialini o'zgartirish orqali ham boshqariladi. Elektrodni yanada salbiy qilish, metallda ionlarga uzatish uchun tayyor bo'lgan elektronlar

⁵⁰ Kvant mexanikasi – bu tabiatning mikroskopik darajadagi hodisalarini, masalan, atomlar, molekularlar va zarrachalar kabi kichik jismlarning xatti-harakatlarini o'rganadigan bo'limdir.

sonini oshiradi, shu bilan birga, tiklanish jarayonining tezligini oshiradi. Aksincha, potensialni ijobiyroq qilish, bu tezlikni kamaytiradi va elektronlarni berishga tayyor bo'lgan zarralar sonini ko'paytiradi, shu bilan birga oksidlanish jarayonining tezligini oshiradi.

Kimyoviy reaksiya tezligi va reaktiv moddalar konsentratsiyasi o'rtasida to'g'ridan to'g'ri proporsional munosabat mavjudligini va elektrokimyoviy jarayon tezligi va elektrod potentsiali o'rtasida eksponensial proporsional munosabat mavjudligini xulosa qilish mumkin. Har qanday elektrod potentsialida, bir tomondan bir moddadan tiklanish va boshqa tomondan tiklanish mahsulotining oksidlanishi sodir bo'ladi. Har bir reaksiya tezligi konsentratsiya va potentsialning ta'siriga bog'liq. Elektrokimyoviy reaksiya tezligi elektr tok zichligi sifatida tasvirlanadi ya'ni, ma'lum bir hajmdagi elektronlarning miqdori o'lanadi. Tarmoqdan ajralib chiqayotgan elektronlar tezligini kamaytirib boriladi. Va metallga elektronlarni tashiydigan zarrachalar tezligini taqqoslaganda, natijaviy tok (ya'ni reaksiya jarayonining oksidlanish va tiklanish tezliklari orasidagi farq)ni o'z ichiga olgan tenglama yordamida son jihatdan ifodalanadi.

$$E_{\text{rev}} = \frac{RT}{(\alpha_c + \alpha_a)F} \ln \frac{\bar{k}}{\bar{k}} + \frac{RT}{(\alpha_c + \alpha_a)F} \ln \frac{C_{\text{ox}}}{C_{\text{red}}} \\ = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{\text{ox}}}{C_{\text{red}}}.$$

Bu Nernst tenglamasi deb ataladi va u oksidlanish tezligi aynan tiklanish tezligiga teng bo'lgan vaqtda elektrod potentsialining qiymatini beradi.

$$i = \bar{i} - \bar{i} = \bar{k} C_{\text{red}} \exp\left(\frac{\alpha_a F}{RT} E\right) - \bar{k} C_{\text{ox}} \exp\left(\frac{\alpha_c F}{RT} E\right),$$

Ushbu elektrod potentsiali qiymatini ishlatgan holda,

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{\text{red}})_i}{(C_{\text{red}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{\text{ox}})_i}{(C_{\text{ox}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\},$$

Batler-Folmer tenglamasi hosil bo'ladi, bu elektrokimyoning asosiy munosabatlarini ifodalaydi.

Murakkab elektrokimyoviy reaksiyalar

Elektrokimyoviy jarayonlar faqat bitta elektron bilan reaksiyaga kirishadigan zarrachalarning soddalashtirilgan reaksiyalarini o'z ichiga oladi (temirning ikki musbat zaryadga ega temir ionining Fe^{2+} yoki aksincha). Bunday soddalashtirilgan ionik redoks jarayonida, reagent va reaksiya mahsuloti o'rtasidagi yagona

farq atrofda erituvchi molekularining qayta joylashuvi bilan bog'liq bo'ladi. Agar bir yoki bir nechta elektronlar almashinuvi elektrod va eritmadagi biror modda o'rtasida yuzaga kelsa (gidroksid ionlari, OH⁻, kislorod molekulasiga, O₂ va suv molekulasiga, H₂O, oksidlanish jarayonida anodda yoki ijobiy elektrod-da), reaksiya ketma-ket sodir bo'ladi, bu esa reaksiya mexanizmini tashkil etuvchi elementar harakatlar yoki birlik bosqichlari deb ataladi. Bosqichlar orasidagi holatlar ko'pincha reagentlar reaksiya mahsulotlaridan yuqori energiya tarkibiga ega bo'lgan va barqaror bo'lmagan oraliq turlarni o'z ichiga oladi. Murakkab reaksiya mexanizmlari bir nechta elektronlar uzatish bosqichlarini o'z ichiga olishi mumkin, ba'zi kimyoviy bosqichlar esa elektron uzatish bosqichlaridan oldin yoki keyin sodir bo'ladi yoki ular orasida amalga oshiriladi. Ko'pgina organik elektrokimyoviy jarayonlar murakkab bo'lib, ular umumiy reaksiyada katta sonli elektronlarni o'z ichiga oladi. Reaksiya jarayonidagi bitta bosqich eng katta energiya to'sig'iga duch keladi. Ushbu bosqichning yuzaga kelish tezligi umumiy jarayon tezligini cheklaydi (barcha boshqa bosqichlar bir xil umumiy tezlikda sodir bo'lishi kerak, lekin ular umumiy o'zgarishni ancha tezlashtirishi mumkin). Ushbu bosqich "tezlikni belgilovchi bosqich" deb ataladi va amaliy jihatdan barcha oraliq bosqichlar undan oldin va keyin sodir bo'ladi. Bu holatda Batler-Folmer tenglamasi qo'llaniladi.

Eksperimental tadqiqotlar

Elektrokimyoviy reaksiyalar (tok zichligi)ning tezligini o'lchashda elektrod potensialining statsionar holat o'zgarishi muhim ahamiyatga ega. Elektrokimyoda uning funksiyasini tahlil qilish odatiy usul hisoblanadi. Lekin elektrokimyoviy reaksiyalarning nozikligini va ularning aralashmalarga sezuvchanligi fanga ma'lum bo'lmaguncha natijalar olishning imkoni bo'lmagan. Keyinchalik natija olishda yuqori tozalikdagi usullar joriy etildi. Bu usullar sekin elektrod reaksiyalari uchun samarali bo'lishiga qaramay, ba'zi hollarda yetarlicha keng tok zichligi diapazonida Tafel munosabatini⁵¹ aniqlash qiyin bo'ladi. Shu sababli, o'tish usullari ishlab chiqilgan. Ushbu usullarda elektrokimyoviy faktorlarning biri o'zgarib, vaqtga bog'liq bo'lgan o'zgarishlar kuzatiladi: galvanostatik usulda elektrodga doimiy tok impulsi beriladi va eritma orqali o'tayotgan tokning o'zgarishi o'lchanadi. Potensiostatik usulda esa potensial impuls berilib, tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi kuzatiladi. Potensiodinamik yoki potensial o'zgaruvchan usul esa potensialni ma'lum tezlikda o'zgartirib, tokning potensialga bog'liqligi kuzatiladi. O'tish usullari statsionar holat usullariga nisbatan bir qancha afzalliklarga ega. Agar o'lchovlar yetarlicha qisqa vaqt oralig'ida amalga oshirilsa, konsentratsiya o'zgarishlari yuzaga kelishidan oldin jarayonlar qayd etiladi va sof aktivlanish

⁵¹ **Tafel munosabati** (Tafel relationship) kimyoviy reaksiya tezligini va potensial farqini o'zaro bog'lash uchun ishlatiladigan atama.

qiymatlari aniqlanadi. Shu sababli, Tafel bog'liqliklari o'tish usullarda statsionar usullarga nisbatan kengroq tok zichligi diapazonida olinadi. Bundan tashqari, o'tish holatlarining tuzilmasi qo'sh qavat sig'imi va elektrod yuzasining oraliq zarrachalar bilan qoplanganligini aniqlashga yordam beradi. Bir nechta kinetik parametrlar, masalan, tok zichligi va potensialning tanlangan reaksiya moddalari konsentratsiyasi kabi kinetik parametrlar eksperimental o'lchovlardan ba'zi holatlarda chiqarib tashlanadi. Elektrokimyoviy o'lchovlar elektrod yuzasining holatini to'liq ochib berolmaydi. Shuning uchun hozirgi kunda elektrod yuzasini o'rganishning noelektrokimyoviy usullariga katta e'tibor qaratilgan. Optik usullar muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ellipsometriya (qutblangan yorug'likning asosiy xossalari o'zgarishini elektrod yuzasidan aks etishi orqali o'lchash) birinchi usul bo'lib, oksidlarning monomolekulyar qatlamlari va organik molekullar kabi adsorbsiyalangan kislorodni o'rganishga imkon berdi. Bunday usulning o'tish holatida qo'llanilishi metallarning passiv holati bilan yuzadagi o'zgarishlarni bog'lash imkonini beradi. Infraqizil spektroskopiya esa elektrod yuzasida adsorbsiyalangan moddalarning spektrlarini olishga imkon beradi. Myossbauer spektrlari elektrod yuzasidagi yupqa qatlamlarni aniqlashga yordam beradi. Kelajakda elektrokimyoviy jarayonlarni turli spektroskopik va elektrokimyoviy usullarni birlashtirish orqali yanada mukammallashtirish imkoni bor.

Murakkab reaksiyalar turlari

Elektrokataliz

Elektrokimyoviy reaksiyalar tezligini oshirish yoki ma'lum tezlikda amalga oshirish uchun zarur bo'lgan ortiqcha potensialni kamaytirish masalalari elektrokatalizning⁵² asosiy mavzusidir. Ushbu jarayonlarning tezligini oshirish yoki kamaytirish elektrokimyoviy jarayonlar iqtisodiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Elektrokataliz, asosan, elektrokimyoviy reaksiya uchun asos yoki substrat sifatida ishlatiladigan elektrod va uning hajmiy hamda yuzaga xos xossalari reaksiyaning tezligiga ta'sirini o'rganadi. Aksincha, elektrokimyoviy reaksiyalarning asosiy bosqichi – elektron o'tish tezligi metallning elektronlarni chiqarish qulayligiga bog'liq emas. Shuning uchun, faqat elektron o'tish sodir bo'ladigan oddiy elektrod jarayonlarida aktivlanish issiqligi metall substratidan deyarli mustaqil sodir bo'ladi.

Agar elektrod substrati va yuzada hosil bo'lgan radikallardan biri (zaryadlangan zarralar) o'rtasida kimyoviy bog' hosil bo'lsa, ma'lum potensialda reaksiyaning tezligi substratlar uchun bir necha darajada farq qiladi. Bu farq oraliq moddalarning va yuzaning orasida hosil bo'lgan bog'larning kuchi (yoki ener-

⁵² **Elektrokataliz** – bu elektrokimyoviy jarayon bo'lib, unda katalizator (odatda elektrokatalizator deb ataladi) elektr toki yordamida kimyoviy reaksiyalarni tezlashtiradi.

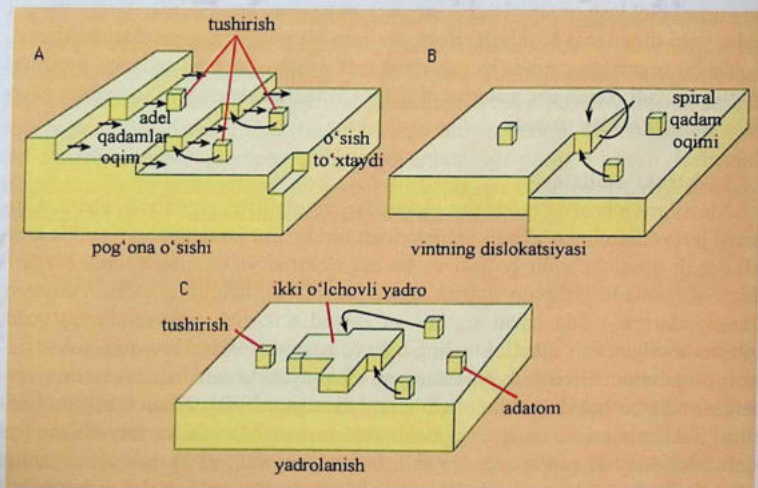
giyasi) funksiyasidir. Agar substratlar o'tish metallari bo'lsa, reaksiyaning tezligi va metallning elektron tuzilish xususiyatlari o'rtasida muntazam bog'liqliklar kuzatiladi. Agar bunday bog'lar juda kuchsiz bo'lsa, substratning katalitik ta'siri kam bo'ladi. Agar ular juda kuchli bo'lsa, oraliq modda keyingi reaksiyalar uchun juda barqaror bo'lib qoladi va metallning yuzasi keyingi reaksiyalar uchun deyarli bloklanadi. Shunday tariqa, optimal bog' kuchi mavjud bo'lib, agar reaksiyaning tezligi metall substratining bog' hosil qilish qobiliyatiga proporsional bo'lmasa, bu bog' kuchini ko'rish mumkin (metallning sublimatsiya issiqligi). Elektrokimyoviy reaksiyalar elektrolit eritmasida mavjud bo'lgan begona moddalardan katalizlanadi. Normal holatda, ionlar ikki qavatli strukturani yoki maxsus adsorbsiyalash ta'siri natijasida reaksiyalar tezligi o'zgaradi. Organik molekularlar esa yuzani bloklash orqali elektrokimyoviy reaksiyani hosil qiladi. Ayrim organik ionlar yoki dipollarda bloklash effekti ma'lum bir potensial qiymatdan boshlanadi. Ushbu qiymatga yetguncha, elektrod reaksiyasi odatiy tok zichligi-potensial bog'liq bo'ladi, keyin esa adsorbsiyaga mos keladigan tokning g'ayritabiiy pasayishi bilan to'satdan uziladi.

Elektrokristallanish

Metallar va boshqa moddalar elektrodga yotqizilishi, shubhasiz, elektrokimyoviy jarayonlarning qiziqarli natijalaridan biridir. Bu jarayonlar davomida kristall tuzish bosqichi sodir bo'ladi va bu esa elektrod yuzasining doimiy o'zgarishiga olib keladi. Ushbu o'zgarishlar, o'z navbatida, tizimning elektrokimyoviy xususiyatlariga – ikki qavat sig'imi va zaryad o'tkazish jarayonlarining tezlik konstantalariga ta'sir qiladi. Shuning uchun, agar biz elektrokimyoviy xususiyatlarni o'rganmoqchi bo'lsak, yuzaning morfologiyasida (tuzilishida) katta o'zgarishlar sodir bo'lishidan oldin o'lchovlarni amalga oshirish uchun o'tish usullarini qo'llashimiz zarur. Ionlarning elektrodga zaryadsizlanishi va zaryadsizlangan ionlarning kristall panjarasiga qo'shilishi jarayoni vaqt va fazoda ajratilganligi sababli, sirt bo'yicha oraliq holat mavjud bo'ladi. Bu oraliq holat nisbatan zaif bog'langan va erkin harakatlanadigan atomlar – adatomlar deb ataladi. Adatomlar, metall massasida qolgan elektronlarga qo'shilishga intilayotganda, elementar musbat zaryaddan kichikroq qisman zaryadga ega bo'lib tuyuladi. Natijada, adatomlar erituvchi molekularlarni o'ziga tortadi va qisman solvatsiyalanadi. Bu jarayon adatomni qisman zaryadsizlanishga uchragan adsorbsiya qilingan ion – adion sifatida ko'rishga imkon beradi. Bunday oraliq holat mavjudligi sababli, ionlarni kristall panjarasiga qo'shilishi jarayonida neytral atom holatiga o'tish shart emas. Haqiqatda, energiya nuqtayi nazaridan bunday kamayish ehtimoldan yiroq. Aksincha, ionlarning kristall tekisliklarida zaryadsizlanishi ma'qulroqdir. Ularning zaryadsizlanish joyidan kristallning biror nuqtasiga harakati sirt diffuziyasi orqali sodir bo'ladi. Agar bunday sirt diffuziyasi to'sqinlikka uchrasa, jarayonning tezligini boshqarishi mumkin. Elektrokristallanishda kristall qurilishining bosqichi bilan

bog'liq muammolar ko'plab jihatdan gaz fazasidan kristall o'sishi bilan bog'liq muammolarga o'xshaydi. Kristall qurilishi har qanday uchta mumkin bo'lgan yo'l orqali amalga oshishi mumkin.

Metall yuzasida tabiiy ravishda mavjud bo'lgan bukilishlar atomni metall massasida uni o'rab turgan atomlarning yarmiga teng miqdorda o'rab tura oladigan yarmidan iborat panjara pozitsiyasini hosil qiladi. Bu yerda adatomlar ketma-ket ushlanadi va shu orqali kristall panjarasi kristall chetiga qarab kengayadi. Ushbu o'sish mexanizmi yuzaning mukammal silliqlanishiga olib keladi, ammo keyingi o'sish to'xtaydi.



Kristall o'sish mexanizmlari

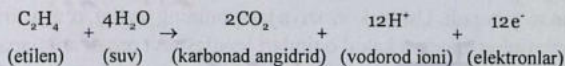
Kristallarning uzluksiz o'sishini ta'minlashda burama dislokatsiyalar va egi-zak qirralar muhim rol o'ynaydi. Burama dislokatsiya mexanizmi kristall pan-jarasidagi atomlar joylashuvining mukammal tartibga nisbatan siljishi natijasida yuzaga keladigan maxsus nuqson orqali amalga oshiriladi. Bu siljish, o'z navba-tida, elektrod yuzasidan yuqoriga chiqib turadigan monoatomik qirrani hosil qi-ladi. Ushbu qirrada yangi atomlar qatlamlanadi, bu esa asosiy atom atrofida buri-lishni keltirib chiqaradi va spiral o'sishni yuzaga chiqaradi. Agar o'sish nuqtalari kam bo'lsa yoki yotqizilishi kerak bo'lgan metallning substrati yot bo'lsa, zaryad o'tkazish jarayoni kristall panjara bilan muvozanatda bo'lishi mumkin bo'lgani-

dan ancha yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan adatomlar to'planishiga olib keladi. Bunday holat "superso'zliq" deb ataladi va bu yerda adatomlar kristall yadrolarini hosil qilish uchun birlashishi ma'qulroqdir. Yuza energiyasi talablariga ko'ra, superso'zliqning har qanday darajasida ma'lum o'lchamdagi yadrolar barqaror bo'lib, keyingi o'sish nuqtalarini hosil qilishi mumkin. Yotqizish jarayoni, agar zaryadsizlanish jarayoni butun yuzada adatomlar uchun yetarli miqdorda material yetkazib bersa yuqoridagi mexanizm bilan boshqariladi. Agar yotqizish tezligi ortib, yuzaning yaqinida ionlarning sezilarli darajada kamayishini keltirib chiqarsa, notekis yotqizilish boshlanadi. Buning sababi, odatda notekis metall yuzasidagi chiqib turgan joylar eritmaning ko'proq boy qatlamlariga yaqinroq bo'lishidir va zaryadsizlanadigan moddalarning tezroq yetkazib berilishiga ega bo'ladi. Bunday vaziyat yuzaga kelganida, u yanada rivojlanishga moyil bo'ladi. Natijada, yotqizish tezligi yuqori bo'lgan holatlarda dastlabki yuzadagi qo'polroq joylarning kuchayishi va dendrit deb ataladigan chiqib turgan tikanlar ko'rinishida cho'kindilar hosil bo'lishi tabiiy oqibatdir.

Teskari jarayon esa sirtning dastlabki notekisliklarini tekislashdir. Bu holat eritmada mavjud bo'lgan va yuzaga adsorbsiya qilinib, zaryadsizlanish jarayonini to'xtatuvchi qo'shimcha modda bo'lganida sodir bo'ladi. Agar bunday molekullar o'sib borayotgan cho'kindi tarkibiga qo'shilsa, ular yuzaning pastroq qismlariga yuqoriroq qismlarga nisbatan sekinroq yetkaziladi. Natijada, yotqizish pastroq qismlarda tezroq sodir bo'ladi va sirtning tekislash yuz beradi.

Organik elektrod reaksiyalari

Organik moddalar ishtirokidagi juda ko'p elektrokimyoviy reaksiyalar ma'lum. Masalan, etilenning oksidlanishi quyidagi tenglama bo'yicha amalga oshadi:



Ko'plab kimyoviy organik reaksiyalarni elektrokimyoviy jarayon sifatida amalga oshirish mumkin, bu jarayonning umumiy afzalligi shundaki, reaksiyaning tezligini potentsialni boshqarish orqali osonlik bilan nazorat qilish mumkin. Potentsialning o'zgarishi reaksiyaning yo'lini o'zgartirishi va shuning uchun ma'lum bir mahsulotni tanlash mumkin. Xususan, elektrodlar ustida polimerizatsiya reaksiyalari rag'batlantirilishi mumkin; bunday usul neylon ishlab chiqarish jarayonining bir bosqichi sifatida ishlatiladi.

Ko'p elektrodli tizimlar

Hozirgacha, bitta elektrod jarayoni amalga oshadigan tizimlar ko'rib chiqildi. Nazariy jihatdan, har qanday elektrod potentsialida tizimdagi barcha moddalar

ikkita toifaga ajraladi: barqaror bo'lganlar va oksidlanish yoki qisqarish jarayonlarini o'tkazadiganlar. Barqaror moddalar – bu berilgan elektrod potensialida elektronlar chiqarish yoki qabul qilish orqali erkin energiyalarini kamaytirmaydigan moddalar. Har qanday potensialda barqaror bo'lmagan barcha moddalar birgalikda chiqarilishi kerak. Shu bilan birga, tizimni ko'p elektrodli tizim sifatida tasavvur qilish mumkin, unda mavjud bo'lgan redoks juftlari soniga teng bo'lgan elektrodlar mavjud. Biroq, turli jarayonlar o'rtasidagi tezlik farqi juda katta bo'lishi mumkin, shuning uchun odatda bitta jarayon asosiy jarayon bo'ladi. Ikkita elektrod jarayoni bir xil tezlikda sodir bo'layotgan tizimlar katta ahamiyatga ega. Agar ikki xil metall ionlari bir vaqtning o'zida chiqarilsa, kristallanish jarayonida qotishma hosil bo'ladi. Qotishmaning xususiyatlari, odatda, eritmaning kompozitsiyasiga qarab belgilangan faza diagrammasi (qaynatish nuqtasi va eritmaning tarkibi bo'yicha chizma)ga asoslanadi. Muvozanatda bo'lmagan metall fazalar hosil bo'lib, qotishma noyob xususiyatlarga ega bo'ladi. Agar metallning parchalanish jarayoni (oksidlanish jarayoni) qanchalik tez amalga ohsa, shuningdek, o'sha metallidagi qisqarish jarayoni bilan solishtirganda, korroziya juftligi tashkil topadi. Shunday qilib, rux kislotali eritmada botirilganda, uning potentsiali yetarlicha ijobiy bo'lishi, shuning uchun metall ionlarini eritmaga chiqarishi mumkin (oksidlanish). Shu bilan birga, bu potensialda suvdagi vodorod ionlarini vodorod gaziga qisqartirish mumkin.

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{\text{red}})_i}{(C_{\text{red}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{\text{ox}})_i}{(C_{\text{ox}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\}.$$

Shunday qilib, bu metallning erishi va vodorodning evolutsiyasi jarayoni o'z-o'zidan ro'y beradi. Ushbu korroziya jarayonining tezligi, o'zgartirilgan elektrod jarayonlarining anod va katod oqimlari tenglashuvi orqali aniqlanadi.

Ikki usul bilan korroziyaning oldini olishi mumkin. Biri – tashqi manbani ishlatish orqali metallning potensialini yetarlicha salbiy qilish, bu esa uni barqaror bo'lgan potensial hududiga olib keladi, bu holat katodik himoya deb ataladi; ikkinchisi esa yuzada metallning erishini sekinlashtiradigan oksidlash yoki organik molekulalar qatlamini shakllantirishdir.

Ilovalar

Elektrokimyoviy jarayonlar ko'plab sohalarida ishlatiladi, chunki ular ifloslantiruvchi kimyoviy jarayonlarni ifloslanmaydigan elektrokimyoviy jarayonlar bilan almashtirish imkonini beradi. Biroq ko'plab sohalarida, ilgari qo'llanilgan jarayonlar foydali bo'lgan. Asosiy turlar quyida keltirilgan.

Metallurgiya

Texnologik jihatdan muhim bo'lgan barcha metallar, temir va po'latdan tashqari, elektrokimyoviy jarayonlar orqali olinadi yoki tozalanadi; masalan, alumi-niy, titan, ishqoriy-yer va ishqoriy metallar eritmalaridan elektrodepozitsiya orqali olinadi, mis esa vodorodli mis sulfat eritmalarida elektroliz orqali tozalanadi.

Elektrogalvanizatsiya

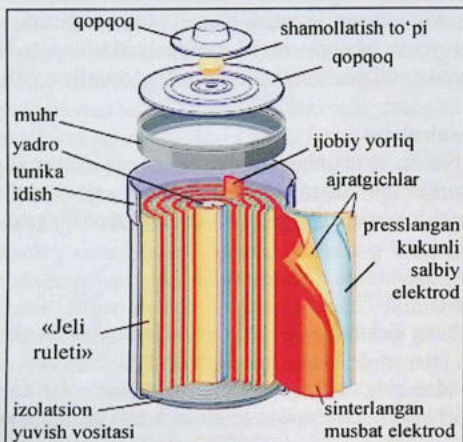
Obyektlarni bezash va ularning korroziyaga qarshi chidamliligini yaxshilash-ning asosiy usullaridan biri ularni elektrogalvanizatsiya⁵³ qilishdir. Barcha asosiy metallni ishlov berish sanoatlari, ayniqsa avtomobil sanoati, katta elektrogalvani-zatsiya zavodlariga ega.

Kimyo sanoati

Natriy xloridning elektroliz qilinib, xlor va kaustik soda olish jarayoni – bu elektrokimyoviy jarayon bo'lib, kimyo sanoatidagi eng yirik hajmdagi ishlab chiqarish jarayonidan biriga aylangan. Zamonaviy jarayonlar, anorganik birikma-larning turli xil ishlab chiqarilishidan to sintetik tolalar, masalan, neylon ishlab chiqarishgacha keng sohani qamrab oladi. Organik elektrokimyo bo'yicha inten-siv izlanishlar, ayniqsa boshqariladigan birlashish jarayonlari rivojlanishi natijasi-da elektr energiyasi xarajatlari sezilarli darajada kamayishi kutilayotganligi sabab-li, dastlabki ilovalarda katta yutuqlarga olib kelishi mumkin.

⁵³ **Elektrogalvanizatsiya** – bu metallni elektrotexnik usulda qoplash jarayonidir, unda elektroliz usuli orqali metallning yuzasiga boshqa bir metalldan qoplama (galvanizatsiya) hosil qilinadi.

Batareyalar



Nikel (gidroksid) – kadmiy hujayrasi "jele ruleti" konstruksiyasi. Bu qayta zaryadlanadigan batareya ko'pincha portativ qurilmalarda ishlatiladi.

Elektr energiyasini saqlash elektrokimyoviy batareyalarda amalga oshiriladi. Bunday qurilmalar elektrokimyoviy hujayralar bo'lib, har bir birlikda ikkita elektrod mavjud. Saqlanishi kerak bo'lgan elektr energiyasi hujayra plitalariga qabul qilinadi, bu esa plitalardagi moddalarni eski moddalardan ko'proq energiya egallovchi yangi moddalariga aylantiradi. Agar energiya qayta ishlatilishi kerak bo'lsa, batareyaning terminallari yukka ulanadi va batareya plitalaridagi moddalar dastlabki holatiga qaytariladi, bu elektrokimyoviy reaksiyalar mahsuloti sifatida elektr energiyasini chiqaradi. Qulf batareyasining barqaror o'sishi asosan ichki yonish dvigatelini ishga tushirish uchun ishlatilishi bilan bog'liq bo'lib, bu ham barqaror o'sishni ko'rsatmoqda. Boshqa elektrokimyoviy tizimlar ham energiya saqlashda ishlatiladi. Nikel-temir (Edison hujayrasi) va nikel-kadmiy batareyalari, ishqoriy elektrolit, odatda qo'rg'oshin-kislota batareyalardan uzoq umr ko'rish talab qiladigan joylarda qo'llaniladi; kumush-rux batareyalar esa samolyot motorlarini ishga tushirish uchun ishlatiladi, chunki uning yuqori og'irlikka nisbatan kuchi bor. Yangi tizimlar boshqa ehtiyojlar uchun izlanmoqda. Elektrokimyogarlar va elektrokimyoviy muhandislar uchun eng katta chaqiriqlardan biri – benzin singari avtomobilni ishlatish uchun batareya ishlab chiqarishdir. Hattoki eng yaxshi faraz qilinadigan avtomobil chiqindilaridan ifloslantiruvchi kimyoviy moddalarni olib tashlash uchun amalga oshirilgan prognozlar amalga oshirilsa ham, ifloslanishni

tozalash yetarli bo'lmaydi, chunki avtomobil haydovchi aholi o'sishi davom etadi, bu esa ifloslantiruvchi moddalar tezligini oshiradi.

Yoqilg'i hujayralari

Kimyoviy reaksiyalar energiyasi yoqilg'i hujayralarida elektr energiyasiga aylantiriladi. Bu hujayralarda yoqilg'i (masalan, vodorod, gidrazin) doimiy ravishda bir elektrodga uzatiladi, havo kislorodi esa boshqa elektrodda reaksiyaga kiradi. Yoqilg'i hujayralarida energiya aylanishining samaradorligi an'anaviy usullarga qaraganda ikki baravar yuqori bo'ladi, masalan, ichki yonish orqali.

Analitik kimyo

Analitik kimyoda zamonaviy avtomatlashtirilgan instrumentlarning aksariyati elektrod jarayonlariga asoslangan. Ionlash konstantasini o'lchash uchun potensiometriya⁵⁴ ishlatiladi.

Biologik tadqiqotlar

Biologiyada ko'plab biologik jarayonlar, qon ivishdan tortib nerv impulslarining uzatishigacha, elektrokimyoviy tabiatga ega ekanligi haqidagi tushuncha tobora keng tarqalmoqda. Oziq-ovqatning kimyoviy energiyasining biologik energiyaga aylanishi shunday samaradorlikda amalga oshiriladiki, uni elektrokimyoviy mexanizmlar bilan tushuntirish qiyin. Bioelektrokimyo sohasida intensiv izlanishlar turli yo'nalishlarda olib borilmoqda.

Hisob-kitoblar

Yuqorida keltirilgan uchta tenglama ushbu bo'limda keltirilgan va boshqa matematik hisob-kitoblar ham kiritilgan. Elektrokimyoviy reaksiyaning tezligi oksidlanish va qisqarish reaksiyalariga, reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyasiga, elektrod potentsiallari va oqim zichligiga qarab, quyidagi tenglama bo'yicha matematik jihatdan bog'lanishi mumkin:

$$i = \bar{i} - \bar{i} = \bar{k}C_{\text{red}} \exp\left(\frac{\alpha_a F}{RT} E\right) - \bar{k}C_{\text{ox}} \exp\left(\frac{\alpha_c F}{RT} E\right)$$

u yerda i sof oqim zichligi, $i \rightarrow$ va $i \leftarrow$ oksidlanish va qisqarishning qisman oqim zichliklari, C_{red} va C_{ox} mos ravishda qisqaruvchi va oksidlanayotgan moddalar konsentratsiyalari, $k \rightarrow$ va $k \leftarrow$ tegishli tezlik doimiylari, α_a va α_c esa transfer koeffitsiyentlari, ya'ni potentsialning eksponensial qaramligiga to'g'ri ta'sir qilish

⁵⁴ **Potensiometriya** – bu elektr toki orqali o'lchash usuli bo'lib, u elektr potentsiali (yoki voltajni) o'lchashga asoslangan. Potensiometriya yordamida ikki nuqta orasidagi potentsial farqini, ya'ni voltajni bevosita o'lchash mumkin. Bu usulda o'lchash to'g'ridan to'g'ri tok kuchi yoki oqimi orqali emas, balki tokni bartaraf qilishga qaratilgan maxsus qurilma, ya'ni potensiometr yordamida amalga oshiriladi.

omilini belgilovchi aniq doimiyliklar. Bir elektronli o'tkazish holatida, bu omillar simmetriya omillari deb ataladi, chunki ular energiya to'siqlari simmetriyasini aks ettiradi. Bu $\alpha_a + \alpha_c = n$ ekanligini isbotlash mumkin, bu esa elektrod reaksiyasining bir harakatida uzatilgan elektronlar sonini anglatadi.

Nernst tenglamasi

Muayyan E qiymati uchun ikkita qisman oqim zichligi teng bo'lishi kerak. Ushbu potensial qiymati qaytariladigan elektrod potentsiali deb ataladi. Yuqoridagi tenglamadan quyidagi tenglama kelib chiqadi:

$$E_{rev} = \frac{RT}{(\alpha_c + \alpha_a)F} \ln \frac{\bar{k}}{k} + \frac{RT}{(\alpha_c + \alpha_a)F} \ln \frac{C_{ox}}{C_{red}}$$

$$= E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{ox}}{C_{red}}.$$

Bu tenglama Nernst tenglamasi deb ataladi; E^0 berilgan redoks juftligi uchun standart elektrod potentsiali ($C_{ox} = C_{red} = 1$).

Standart elektrod potentsiali vodorod o'lchoviga nisbatan elektrod jarayoni-ning termodinamikasiga bog'liq. U vodorod elektrodi jarayonida yuzaga keladigan erkin energiya o'zgarishiga nisbatan elektron va ma'lum oksidlanish-qaytarish guruhi o'rtasidagi oksidlanish-qaytarilish reaksiyasining standart erkin energiya o'zgarishini aks ettiradi.

Batler-Folmer tenglamasi

Qaytariladigan elektrod potentsiali yuqoridagi tenglamaga kiritilishi mumkin:

$i = \bar{i} - \tilde{i} = \bar{k}C_{red} \exp\left(\frac{\alpha_a F}{RT} E\right) - \tilde{k}C_{ox} \exp\left(\frac{\alpha_c F}{RT} E\right)$ va potensial unga nisbatan ifodalangan.

Bunday ifodalangan holda ular ortiqcha potensial deb ataladi va $\eta = E - E_{rev}$ sifatida ifodalanadi, keyin quyidagi tenglamaga o'tadi:

$$i = \bar{i} - \tilde{i} = \bar{k}C_{red} \exp\left(\frac{\alpha_a F}{RT} E\right) - \tilde{k}C_{ox} \exp\left(\frac{\alpha_c F}{RT} E\right)$$

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{red})_i}{(C_{red})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{ox})_i}{(C_{ox})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\} :$$

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{red})_i}{(C_{red})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{ox})_i}{(C_{ox})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\}$$

u yerda i_0 teng bo'lgan elektron chiqarish va elektron qabul qilish qisman oqim zichliklarining qiymatini ifodalaydi, u qaytariladigan potensialda o'zaro almashinuv deb ataladi.

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{\text{red}})_i}{(C_{\text{red}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{\text{ox}})_i}{(C_{\text{ox}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\}$$

Batler-Folmer tenglamasi va bu elektrokimyo sohasidagi eng asosiy munosabatlardan biridir. Agar ortiqcha potensial (ijobiy yoki salbiy) taxminan 5×10^{-2} volt (V) dan katta bo'lsa, u holda reaksiya sur'ati kamayadi va oqibatda o'tkazuvchanliklar kichik bo'ladi.

$$i = i_0 \left\{ \frac{(C_{\text{red}})_i}{(C_{\text{red}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \frac{(C_{\text{ox}})_i}{(C_{\text{ox}})_0} \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right\}$$

Shunday qilib, joriy (ya'ni tezlik) va ortiqcha potensial o'rtasida oddiy eksponensial munosabatlar hosil bo'ladi yoki ortiqcha potensialni joriy zichligiga logarifmik bog'liqlik sifatida qarash mumkin. Ushbu nazariy natija nemis fizik-kimyogar Yulius Tafelning eksperimental natijalari bilan mos keladi va odatdagi ortiqcha potensialni joriy zichligi logarifmi bilan taqqoslashdan olingan chizmalar Tafel chiziqlari deb ataladi. Tafel grafigining ko'rsatkichi elektrod reaksiyasining berilgan yo'nalishi uchun o'tkazish koeffitsiyentining qiymatini ko'rsatadi.

Reaksiya turlarining tashishidagi qiyinchiliklar

Yuqoridagi ortiqcha potensial joriy zichligi munosabati haqidagi xulosalar, elektrod yuzasidagi aralashgan moddalar konsentratsiyalari, joriy zichligi (i), C_i va joriy mavjud bo'lmagan holda C_0 birga bir bo'lsa, amal qiladi. Joriy zichligi oshgan sari, zarur bo'lgan konsentratsiya gradiyenti, aralashgan moddalarning diffuziyasi uchun, sezilarli darajada oshishi kerak. Bu shart faqat agar moddaning elektrod yuzasidagi konsentratsiyasi, umumiy konsentratsiyadan sezilarli darajada farq qila boshlasa, ya'ni $(C_i)_i / (C_i)_0 \neq 1$ bo'lsa mumkin. Elektronlarni o'zlashtiruvchi moddaning elektrod yuzasidagi konsentratsiyasidagi o'zgarish vaqt bilan prinsipial ravishda ikkinchi darajali qisman differensial tenglama (Fik qonuni) yordamida hisoblanishi mumkin, bu esa faqat ba'zi yaxshi aniqlangan chegara shartlari uchun aniq yechimlarga ega. Agar konsentratsiya o'zgarishlari sezilarli darajada bo'lsa, joriy zichligi va potensialning eksponensial bog'lanishi mavjud bo'lmaydi. Buning o'rniga chegarali qiymatga o'tish yuz beradi. Muhim holat, agar yuklamoqchi bo'lgan moddaning konsentratsiyasi elektrod yuzasida nolga

teng bo'lsa. Bunday holatda olingan doimiy joriy zichlik (ya'ni vaqtga bog'liq bo'lmagan) berilgan shartlar uchun eng yuqori mumkin bo'lgan qiymatdir (diffuziya chegarali joriy zichligi). Konsentratsiya gradiyenti bu holatda, aralashgan moddaning umumiy konsentratsiyasiga to'g'ridan to'g'ri va diffuziya qatlamining qalinligiga teskari proporsional. Ushbu qatlam ko'pincha elektrodni o'rab turgan eritmadagi gidrodinamik shartlar bilan aniqlanadi. Diffuziya qatlamining qalinligini ta'riflashda eng ko'p ishlatiladigan tushuncha nemis fizik-kimyogari Valter Xermann Nernst tomonidan taklif qilingan, u bu miqdorni elektrodga yaqin joylashgan va konsentratsiya gradiyenti doimiy bo'lsa, konsentratsiya umumiy qiymatga yetguncha bo'lgan masofaga teng deb belgilagan. Agar chegara joriy zichligidan katta bo'lgan joriy majburiy bo'lsa, elektrod faqat boshlang'ich davrda ionlarning iste'mol qilingan qatlamlari to'liq tugamaganidan so'ng buni saqlab qolishi mumkin. Ionlarning konsentratsiyasi nolga tenglashganda, elektrod potentsiali o'zgaradi va boshqa elektrod jarayoni boshlanadi. Potensialning yangi jarayon tomon keskin o'zgarishi sodir bo'lgan vaqt o'tishi "o'tish vaqti" deb ataladi. O'tish vaqti, joriy zichligi va iste'mol qilinayotgan moddalar konsentratsiyasi o'rtasidagi munosabatni Sandning tenglamasi quyidagicha beradi:

$$\tau^{1/2} = \frac{\tau^{1/2} n F C_0 D^{1/2}}{2i}.$$

O'tish vaqti, iste'mol qilinayotgan moddaning konsentratsiyasi kabi aniq funksiya bo'lib, o'tish vaqtini kuzatish ham analitik asbob sifatida ishlatilishi mumkin (xronopotensimetriya).

Standart elektrod potentsiali

Elektrokimyo sohasida standart elektrod potentsiali, bir xil konsentratsiyada 1 mol/dm³ bo'lgan ionlar bilan bir xil sharoitda turg'un elektrodning individual potentsialini o'lchashda foydalaniladi. Bu jarayon, aslida, elektrokimyoviy hujayraning asosiy elementi bo'lgan galvanik hujayra orqali amalga oshiriladi. Har qanday galvanik hujayra ikkita yarimreaksiya: anodda oksidlanish (ya'ni elektron yo'qotish) va katodda kamayish (ya'ni elektron olish) jarayonidan iborat. Bu jarayonda elektr energiyasi, ikkita elektrod o'rtasidagi elektr potentsiali farqi sababli hosil bo'ladi. Ushbu potentsial farqi esa elektrodlar va elektrolit o'rtasidagi individual potentsial farqlari natijasidir. Turg'un elektrodlar, masalan, galvanikada ishlatiladigan elektrodlar kabi, o'z ishlatilishida yo'qoladi. Har qanday element yoki birikmaning qisqartirish kuchini o'lchash uchun standart elektrod potentsiali muhim ahamiyatga ega. Garchi hujayraning umumiy potentsiali o'lchanishi mumkin bo'lsa-da, har bir elektrod yoki elektrolit potentsialini alohida o'lchashning oson

usuli yo'q. Elektrik potensial esa temperaturaga, konsentratsiyaga va bosimga bog'liq. Yarim-reaksiyaning oksidlanish potentsiali redoks reaksiyasida kamayish potentsialining salbiy qiymatiga teng bo'ladi, shuning uchun faqat bitta potentsialni hisoblash kifoya. Standart vodorod elektrodi (SHE) deb nomlangan referens elektrodga, potentsiali aniq belgilangan qiymat kerak bo'ladi. SHening potentsiali 0.00 V ga o'rnatilgan bo'lib, har qanday noma'lum elektrodni aniqlash uchun uni ushbu standart elektrod bilan juftlash orqali galvanik hujayra hosil qilinadi. Bu jarayon yordamida noma'lum potentsiali bo'lgan har qanday elektrod aniqlanadi.

Potentsiallar odatda kamayish potentsiallari sifatida aniqlanadi, shuning uchun oksidlanayotgan metall elektrodining potentsialining belgisini teskari qilish zarur. Elektrod potentsiallari esa o'tkazilgan elektronlar sonidan mustaqil bo'lib, voltlarda ifodalanadi. Bu esa elektron o'lchovidir va ikkita elektrod potentsiali umumiy hujayra potentsialini olish uchun oddiygina qo'shiladi. Tanlangan elektrod elektrometning ijobiy terminaliga, standart vodorod elektrodi esa salbiy terminalga ulanadi. Ushbu jarayon orqali elektrokimyoviy tadqiqotlar yanada samarali va aniq amalga oshiriladi. Elektrokimyo sohasidagi bu tushunchalar, zamonaviy texnologiyalar va ilm-fan rivojlanishida muhim rol o'ynaydi.

Standart kamayish potentsiali jadvali

Standart kamayish potentsiali – bu elektrokimyo sohasida muhim bir tushuncha bo'lib, u elektronlarni qabul qilish qobiliyatini anglatadi. Ushbu potentsialning qiymati kattalashgani sayin, elementning kamayishi osonlashadi, ya'ni u yaxshiroq oksidlovchi agentga aylanadi: F^{2+} ning standart kamayish potentsiali +2.87 V bo'lib, bu uning osonlik bilan kamayishini anglatadi. Shu sababli, fluor ajoyib oksidlovchi agent hisoblanadi. Aksincha, litiy ionining (Li^+) standart kamayish potentsiali -3.05 V ga teng bo'lib, bu uning oksidlanishini afzal ko'rishini ko'rsatadi va shuning uchun u yaxshi kamaytiruvchi agentdir. Bu jarayonni yanada chuqurroq tushunish uchun, misol sifatida rux ionini (Zn^{2+}) ko'rib chiqamiz. Uning standart kamayish potentsiali -0.76 V ga teng. Bu degani, rux ioni boshqa elektrodlar tomonidan oksidlanishi mumkin, agar ularning standart kamayish potentsiali -0.76 V dan katta bo'lsa. Masalan, vodorod ionlari (H^+) 0 V, mis ionlari (Cu^{2+}) 0.34 V va fluor (F_2) 2.87 V ga ega bo'lib, ularning barchasi ruxni oksidlay oladi. Boshqa tomondan, agar elektrodning standart kamayish potentsiali -0.76 V dan kichik bo'lsa (masalan, vodorod (H_2) -2.23 V, natriy (Na^+) -2.71 V yoki litiy (Li^+) -3.05 V), rux ionini kamaytiradi. Galvanik hujayra – bu o'z-o'zidan redoks reaksiyasini amalga oshiradigan tizim bo'lib, u elektr energiyasini ishlab chiqaradi. Ushbu jarayonning samarali bo'lishi uchun Gibbs erkin energiyasi (ΔG°) manfiy bo'lishi zarur. Bu quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\Delta G^\circ_{\text{cell}} = -nFE^\circ_{\text{cell}}$$

Bu yerda, n elektronlar soni, F esa Faradey doimiysi (~ 96485 C/mol). Demak, galvanik hujayra ishlashi uchun standart hujayra potentsiali (E°) ijobiy bo'ladi.

Agar $E^\circ_{\text{cell}} > 0$ bo'lsa, jarayon spontan (galvanik hujayra)

Agar $E^\circ_{\text{cell}} < 0$ bo'lsa, jarayon nospontan (elektrolitik hujayra)

Shu sababli, spontan reaksiya uchun ($\Delta G^\circ < 0$), E musbat bo'lishi kerak, bu yerda:

$$E^\circ_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{kotod}} - E^\circ_{\text{anod}}$$

Bu yerda E°_{anod} anoddagi standart potentsial E°_{kotod} standart elektrod potentsiali jadvalida keltirilgan katoddagi standart potentsial.

Elektrokimyoviy hujayralar

Elektrokimyoviy hujayra – bu kimyoviy reaksiyalardan elektr energiyasini ishlab chiqarish yoki elektr energiyasini kimyoviy reaksiyalarni yuzaga keltirish uchun ishlatiladigan qurilma. Elektr energiyasini ishlab chiqarishda juda muhim oksidlanish va tiklanish reaksiyalari batareyalarda foydali elektr energiyasini taqdim etish uchun ishlatiladi. Oddiy elektrokimyoviy hujayra mis va rux metallari va ularning sulfat eritmalaridan tayyorlanishi mumkin. Reaksiya jarayonida elektronlar ruxdan misga o'tib, foydali elektr oqimi hosil qiladi. Elektrokimyoviy hujayra metall elektrodnlarni elektrolitga joylashtirish orqali yaratiladi, bu yerda kimyoviy reaksiya sodir bo'ladi yoki elektr oqimini ishlab chiqaradi. Elektr energiyasini ishlab chiqaradigan elektrokimyoviy hujayralar voltaik hujayralar yoki galvanik hujayralar deb ataladi va odatiy batareyalar bitta yoki bir nechta bunday hujayralardan iborat bo'ladi. Boshqa elektrokimyoviy hujayralarda tashqi elektr toki kimyoviy reaksiya yuzaga kelishiga yordam beradi, bu reaksiyalar o'z-o'zidan sodir bo'lmaydi. Bunday hujayralar elektrolitik hujayralar deb ataladi.

Elektrolitik hujayra

Elektrolitik hujayra – bu elektr energiyasini kimyoviy energiyaga aylantiradigan yoki aksincha jarayonlarni amalga oshiradigan muhim qurilma. Ushbu hujayra ikki metall yoki elektron o'tkazgichdan iborat bo'lib, ular bir-biridan ajratilgan va elektrolit bilan to'ldirilgan bo'ladi. Elektrolit – bu odatda eritilgan yoki erigan ionli birikma bo'lib, u jarayonning asosiy faol komponentidir. Hujayraning ishlash mexanizmi juda qiziqarli. Elektr toki manbayi bilan ulangan elektrodlar natijasida, bir elektrod manfiy zaryadga ega bo'ladi (katod), boshqasi esa musbat zaryad oladi (anod). Musbat ionlar elektrolitdan manfiy elektrodga migratsiya qilib, bir yoki bir nechta elektronlar bilan birlashadi. Bu jarayon natijasida zaryadining bir

qismini yo'qotib, pastroq zaryadga ega yangi ionlar yoki neytral atomlar hosil bo'ladi. Shu bilan birga, manfiy ionlar musbat elektrodga qarab harakatlanadi va unga elektronlarni uzatadi, natijada yangi ionlar yoki neytral zarrachalar paydo bo'ladi. Ushbu jarayonlarning umumiy ta'siri – elektronlarning manfiy ionlardan musbat ionlarga o'tishi bo'lib, bu kimyoviy reaksiyani yuzaga keltiradi. Masalan, natriy xloridning elektrolizi jarayonida natriy metall va xlor gazini hosil qilish uchun zarur bo'lgan energiya elektr toki orqali ta'minlanadi. Bu jarayon nafaqat qiziqarli, balki amaliy jihatdan ham katta ahamiyatga ega. Elektrolizning boshqa keng tarqalgan ilovalari metallni tozalash yoki qoplash uchun elektrodepozitsiya⁵⁵ va kaustik sodani o'z ichiga oladi.

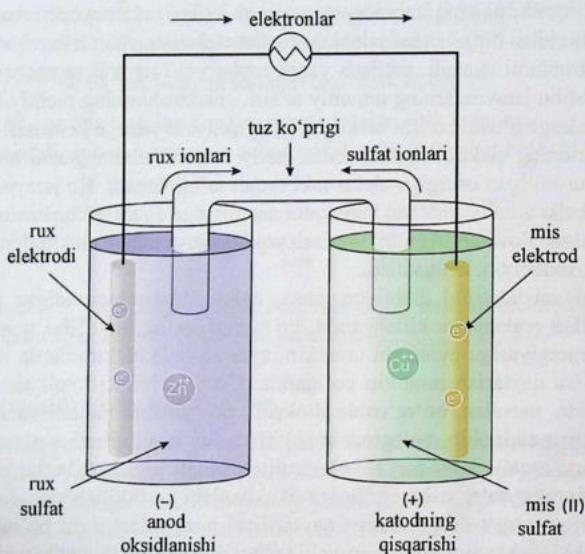
Energiyani iste'mol qiladigan emas, balki ishlab chiqaradigan moddalar bir-biri bilan reaksiyaga kirishganda, bu energiyaning bir qismi yoki barchasi elektr energiyasiga aylanishi mumkin, agar alohida elektrodlarda reaksiyani oksidlash va qaytarish mumkin bo'lganda. Qo'rg'oshin kislotali akkumulator batareyasida, masalan, qo'rg'oshin dioksidi, qo'rg'oshin metalli va sulfat kislotada reaksiyaga kirishib, qo'rg'oshin sulfat va suv hosil qiladi, vodorod ionlari migratsiyasi orqali elektr zaryadi elektrolitlar orqali uzatilganda, bir elektrodga qo'rg'oshinning qo'rg'oshin sulfatiga oksidlanishi va ikkinchisida qo'rg'oshin dioksidining qo'rg'oshin sulfatiga qaytarilishi jarayonlari sodir bo'ladi. Bu jarayonlar ikki elektrodni birlashtiruvchi tashqi doira bo'ylab elektr tokining oqishiga olib keladigan harakatlantiruvchi kuchni (kuchlanish yoki elektr potensiali) yaratadi. Ko'plab boshqa kimyoviy birikmalar hujayralar va batareyalarda qo'llanilgan.

Magnit maydondagi o'tkazgichning harakatidan tashqari elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun boshqa hujayralarga yarimo'tkazgichlar orasidagi elektron oqimi yorug'likning yutilishi natijasida yuzaga keladigan quyosh hujayralari va suyuq yoki gazsimon oksidlovchi moddalar bilan uzluksiz ta'minlanadigan yonilg'i hujayralari kiradi, kislorod sifatida katoddan elektronlarni olib tashlaydi, chunki qaytaruvchi vosita, masalan, vodorod, anodga elektronlarni yetkazib beradi.

Galvanik hujayra

Galvanik hujayra yoki voltaik hujayra, Luiji Galvani yoki Alessandro Volta nomi bilan atalgan, bu elektrokimyoviy hujayra bo'lib, u o'z-o'zidan sodir bo'ladigan redoks reaksiyalari orqali elektr energiyasini ishlab chiqaradi. U odatda ikki xil metallardan tashkil topgan bo'lib, ular elektrolitda joylashgan yoki individual yarimhujayralardan tashkil topgan va ularning metallari va ularning eritmalaridagi ionlari tuz ko'prigi yoki poroziyali membrana orqali bog'langan.

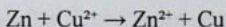
⁵⁵ **Elektrodepozitsiya** – bu elektr toki yordamida biror-bir moddani elektrod (elektr toki o'tkazuvchi material) yuzasiga cho'ktirish jarayonidir.



Zn-Cu galvanik hujayrasining sxematik tasviri.

Volta voltaik to'pni ixtiro qilgan birinchi elektr batareyasini yaratgan shaxsdir. Yarimhujayra – bu eritmada cho'kayotgan qattiq metall (elektrod deb ataladi); eritma elektrod metalining kationlari (+) va anionlari (–)ni o'z ichiga oladi. To'liq hujayra ikki yarimhujayradan iborat bo'lib, ular odatda yarimo'tkazuvchan membrana yoki tuz ko'prigi orqali bog'lanadi, bu ko'proq qimmatbaho metallarni boshqa elektrodda cho'kmaslikdan himoya qiladi. Daniell hujayrasining aniq bir misoli quyidagicha: rux (Zn) yarimhujayrasi ZnSO_4 (rux sulfat) eritmasini va mis (Cu) yarimhujayrasi CuSO_4 (mis sulfat) eritmasini o'z ichiga oladi. Bu yerda tuz ko'prigi elektr zanjirini to'ldirish uchun ishlatiladi.

Agar tashqi elektr uzatgichi mis va rux elektrodlarini bog'lab qo'ysa, rux elektrodidan rux eritmaga Zn^{2+} ionlari sifatida eriydi (oksidlanish) va elektronlar tashqi uzatgichga kiradi. Rux ionlari konsentratsiyasining oshishini kompensatsiya qilish uchun tuz ko'prigi orqali rux ionlari chiqadi va anionlar rux yarimhujayraga kiradi. Mis yarimhujayrasi, mis ionlari mis elektrodiga joylashadi (qaytarilish), tashqi uzatgichdan chiqayotgan elektronlarni qabul qiladi. Cu^{2+} ionlari mis elektrodiga joylashayotganligi sababli, u katod deb ataladi. Shunga mos ravishda rux elektrod anod hisoblanadi. Elektrokimyoviy reaksiyani quyidagicha ifodalash mumkin:



Bundan tashqari, elektronlar tashqi uzatgich orqali oqib o'tadi, bu galvanik hujayraning asosiy qo'llanilishi hisoblanadi. Hujayraning elektromotor kuchi (emf) yarimhujayra potentsiallarining farqi bo'lib, bu ikkita elektrodning elektrolitga erishish osonligini o'lchaydi. Emf ham elektrodlar, ham elektrolitga bog'liq bo'lib, emfning kimyoviy xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Galvanik hujayra reaksiyalarining elektrokimyoviy termodinamikasi

Galvanik hujayradagi elektrokimyoviy jarayonlar, yuqori erkin energiyaga ega bo'lgan reagentlar (Daniell hujayrasida metall Zn va gidratlangan Cu^{2+}) pastroq energiyaga ega mahsulotlarga (metall Cu va gidratlangan Zn^{2+}) aylanganda yuzaga keladi. Elektrod metallari orasidagi panjara bog'lanish energiyalaridagi farq, ayniqsa Daniell hujayrasida, reaksiyani boshqaruvchi energiya omili bo'lishi mumkin. D-orbital bog'lanishlari bilan mustahkamlanmagan metall Zn, Cd, Li va Na kabi metallar, barcha o'tkazuvchan metallardan, shu jumladan Cu, ko'proq bog'lanmagan bo'lib, shuning uchun yuqori energiyali anod metallari sifatida foydalidir.

Metallarni suvda ionlashtirish energiyalari orasidagi farq, galvanik hujayradagi reaksiyani boshqarishda yana bir energiya omili bo'lishi mumkin; bu Daniell hujayrasida ahamiyatga ega emas, chunki gidratlangan Cu^{2+} va Zn^{2+} ionlarining energiyalari o'xshashdir. Atom o'tkazish, masalan, ruxni metall elektrodan eritmaga o'tkazish va elektron o'tkazish, metall atomlardan yoki metall ionlariga, galvanik hujayrada muhim rol o'ynaydi. Hamma elektrodlar va ionlar bir xil metallardan iborat bo'lgan konsentratsiya hujayralari, ion konsentratsiyalari tenglashganda, entropiya ortishi va erkin energiyaning kamayishi orqali ishlaydi, bu esa elektrokimyoviy jarayonlarning asosiy kuchi metallarning elektronegativlik farqi emasligini ko'rsatadi.

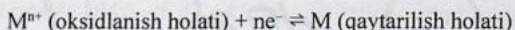
Galvanik hujayralar va batareyalar odatda elektr energiyasi manbai sifatida ishlatiladi. Energiya yuqori bog'lanish energiyasiga ega bo'lgan metallning erishi va pastroq energiyali metallning cho'kish yoki yuqori energiyali metall ionlarining cho'kish jarayonidan kelib chiqadi.

Miqdoriy jihatdan, galvanik hujayra tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi, reagentlar va mahsulotlar o'rtasidagi standart erkin energiya farqiga taxminan teng bo'ladi, $\Delta_r G^\circ$. Daniell hujayrasida energiyaning aksariyati $\Delta_r G^\circ = -213$ kJ/mol, Zn va Cu ning panjara bog'lanish energiyalari o'rtasidagi -207 kJ/mol farqiga bog'liqdir.

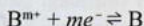
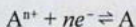
Yarimreaksiyalar va konvensiyalar

Yarimhujayra ikkita oksidlanish darajasiga ega bo'lgan metallni o'z ichiga oladi. Ajratilgan yarimhujayra ichida oksidlanish-reduksiya (redoks) reaksiyasi

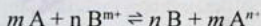
kimyoviy muvozanatda bo'ladi, bu quyidagicha belgilanadi (bu yerda "M" metall kationini anglatadi, bu "n" ta elektron yo'qotganligi sababli zaryad notengligi mavjud bo'lgan atom):



Galvanik hujayra ikkita yarimhujayradan iborat bo'lib, bir yarimhujayradagi elektrod A metalidan, boshqa yarimhujayradagi elektrod esa B metalidan tashkil topadi, shu tarzda ikki alohida yarimhujayra uchun redoks reaksiyalari quyidagicha bo'ladi:



Umumiy muvozanatlangan reaksiya quyidagicha bo'ladi:



Boshqacha qilib aytganda, bir yarimhujayradagi metall atomlari oksidlanadi, ikkinchi yarimhujayradagi metall kationlari esa qaytariladi. Metallardan iborat bo'lgan ikkita yarimhujayrani ajratish orqali, ularning reaksiyasini boshqarish mumkin, bu esa elektronlarni tashqi zanjir orqali o'tkazishni ta'minlaydi, u yerda ular foydali ishlarni bajarishlari mumkin.

Elektrodlar metall sim bilan bog'langan bo'lib, bu elektr o'tkazgichlarida ishtirok etadigan elektronlarni o'tkazadi.

Bir yarimhujayrada, eritmadagi metall-B kationlari, metall-B elektrodining eritma va metall yuzasidagi interfeysidagi mavjud bo'lgan erkin elektronlar bilan birlashadi; bu kationlarni neytrallashtirib, ularni metall-B elektrodiga cho'kib qolishga olib keladi, bu jarayon qoplama deb ataladi.

Ushbu qaytarilish reaksiyasi metall-B elektrodining, simning va metall-A elektrodining butun erkin elektronlarini tortib olib, metall-B elektrodiga kiradi. Natijada, elektronlar ba'zi metall-A elektrod atomlaridan olinadi, go'yo metall-B kationlari ularga bevosita ta'sir qiladi; bu metall-A atomlari kationlarga aylanishi va atrofda eritmaga erishi mumkin.

Reaksiya davom etar ekan, bir yarimhujayra metall-A elektrodidan atrofda eritmaga kationlar eriganligi sababli musbat zaryadga ega bo'ladi, boshqa yarimhujayra esa metall-B kationlari cho'kib chiqqanligi sababli manfiy zaryadga ega bo'ladi (anionlar qoladi); bu zaryadning ortiqcha to'planishi, agar u davom etadigan bo'lsa, reaksiyani to'xtatishi mumkin. Yarimhujayralarning eritmaları tuz ko'prigi yoki poroz plita orqali bog'lanadi, bu esa eritmalar orasidagi zaryadni muvozanatlashga va reaksiyaning davom etishiga imkon beradi.

Anod oksidlanish (elektronlarni yo'qotish) sodir bo'ladigan elektrod bo'lib, galvanik hujayrada bu manfiy elektrod hisoblanadi, chunki oksidlanish jarayonida elektronlar elektrodda qoladi. Ushbu elektronlar tashqi zanjir orqali katodga (musbat elektrodga) oqib ketadi (elektrolizda esa, elektr toki elektronlarning qarama-qarshi yo'nalishdagi oqishini boshqaradi va anod musbat elektrod bo'ladi).

Katod, kamayish (elektronlarni qabul qilish) sodir bo'ladigan elektrod bo'lib, galvanik hujayrada bu musbat elektrod hisoblanadi, chunki ionlar elektronlarni qabul qilib, cho'kib chiqadi (elektrolizda esa katod manfiy terminal bo'lib, musbat ionlarni o'ziga tortadi). Har ikkala holatda ham "katod kationlarni tortadi" degan ifoda to'g'ri.

Galvanik hujayralar o'z tabiatiga ko'ra, to'g'ri toki ishlab chiqaradi. Veston hujayrasida anod kadmiy-merkuriy aralashmasidan, katod esa sof simobdan iborat. Elektrolit esa kadmiy sulfatning (to'yingan) eritmasidan tashkil topadi. Depolarizator esa simobli sulfat pastasidan iborat. Agar elektrolit eritmasi to'yinsiz bo'lsa, hujayraning kuchlanishi batareya – bu bir nechta galvanik hujayralar birashtirilgan va bitta volt manbayi sifatida ishlatiladigan qurilma. Shuning uchun, 1911-yilda u xalqaro standart sifatida voltmi belgilash uchun qabul qilingan.

Masalan, 12V lik batareya oltita galvanik hujayradan iborat bo'lib, ular seriyali ulangan, anodlari qo'rg'oshin, katodlari esa qo'rg'oshin dioksiddan iborat, ular oltingugurt kislotasiga botirilgan. Katta batareya xonalari, masalan, telefon almashinuvi xonalarida, foydalanuvchilar telefonlariga quvvat ta'minlash uchun, ko'pincha hujayralar bir vaqtning o'zida seriyali va parallel ravishda ulanadi.

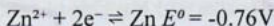
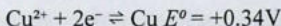
Hujayra kuchlanishi

Galvanik hujayra tomonidan ishlab chiqarilgan kuchlanish (elektromotiv kuch E°)ni, elektrokimyoviy reaksiyaning standart Gibbs erkin energiya o'zgarishidan quyidagicha baholash mumkin:

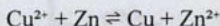
$$E^\circ_{\text{cell}} = - \Delta_r G^\circ / (v_e F)$$

Bu yerda, v_e – balanslangan yarimreaksiyalarda o'tkazilgan elektronlar soni, F esa Faradey doimiysi. Ammo, bu ko'proq qulay ravishda, ikki yarimhujayra uchun standart potensial jadvali yordamida aniqlanishi mumkin. Birinchi qadam, hujayradagi ikki metallni va ularning ionlarini aniqlashdir. Keyin har bir yarimreaksiya uchun voltlarda standart elektrod potentsiali E° ni izlab topasiz. Hujayraning standart potentsiali ko'proq musbat E° qiymati minus ko'proq manfiy E° qiymatiga tengdir.

Misol uchun, eritmalar CuSO_4 va ZnSO_4 bo'lib, har bir eritmada mos metall plastinka mavjud va ikki eritma o'rtasida ionlar, masalan, SO_4^{2-} ionlarining erkin oqib o'tishiga imkon beruvchi tuz ko'prigi yoki g'ovak disk bor. Standart potentsialni hisoblash uchun, mis va ruxning yarimreaksiyalarini qidirsangiz quyidagi natijalarni topishingiz mumkin:



Umumiy reaksiya quyidagicha bo'ladi:



Reaksiyaning standart potentsiali keyin $+0.34\text{ V} - (-0.76\text{ V}) = 1.10\text{ V}$ bo'ladi. Hujayraning polarligi quyidagicha aniqlanadi. Rux metali mis metalidan kuchliroq kamaytiruvchidir, chunki ruxning standart (qaytarilish) potentsiali misnikiga qaraganda yanada manfiyroq. Shunday qilib, rux metali mis ionlariga elektronlarni yo'qotadi va musbat elektr zaryadiga ega bo'ladi. Hujayra uchun K tenglamasi quyidagicha:

$$\ln K = \frac{\nu_e F E_{\text{cell}}^0}{RT}$$

Bu yerda, F Faradey doimiysi, R gaz doimiysi va T esa temperaturadir (Kelvinlarda). Daniell hujayrasi uchun K taxminan 1.5×10^{37} ga teng. Shunday qilib, tenglik holatida bir nechta elektronlar uzatiladi, bu esa elektrodnlarni zaryadlash uchun yetarli bo'ladi.

Haqiqiy yarimhujayra potentsiallari Nernst tenglamasidan foydalanib hisoblanishi kerak, chunki eritmalar ularning standart holatlarida bo'lmaydi:

$$E_{\text{half-cell}} = E^0 - \frac{RT}{\nu_e F} \ln_e Q$$

Bu yerda Q reaksiya nisbati. Ionsiz reaksiyaning zaryadlari teng bo'lsa, bu quyidagicha soddalashadi:

$$E_{\text{half-cell}} = E^0 - 2.303 \frac{RT}{\nu_e F} \log_{10} \{M^{n+}\}$$

Bu yerda $\{M^{n+}\}$ metall ionining eritmadagi faolligini anglatadi. Amalda mol/L da konsentratsiya faollik o'rnida ishlatiladi. Metall elektrod uning standart holatida bo'lib, shu sababli uning faolligi bir birlikka teng. Hujayraning umumiy potentsiali ikkala yarimhujayra potentsiallari orasidagi farq sifatida olinadi, shuning uchun u eritmadagi metall ionlarining konsentratsiyalariga bog'liq bo'ladi. Agar konsentratsiyalar bir xil bo'lsa, Nernst tenglamasini ishlatish shart emas.

$2.303R/F$ qiymati $1.9845 \times 10^{-4}\text{ V/K}$ ga teng, shuning uchun 25°C (298.15 K) da metall ionining konsentratsiyasi 10 marta oshirilsa yoki kamaytirilsa, yarimhujayra potentsiali faqat $0.05918\text{ V}/\nu_e$ o'zgaradi.

$$E_{\text{half-cell}} = E^{\circ} - \frac{0.05918 \text{ V}}{\nu_e} \log_{10} [M^{n+}]$$

Bu hisoblashlar barcha kimyoviy reaksiyalar tenglik holatida ekanligini taxmin qilib amalga oshiriladi. Elektr toki zanjirda oqib o'tayotganida, tenglik holatiga erishilmaydi va hujayra voltaji odatda turli mexanizmlar, masalan, ortiqcha potentsiallar tufayli kamayadi. Bundan tashqari, hujayra energiya ishlab chiqarishda kimyoviy reaksiyalar yuz berishi sababli elektrolit konsentratsiyalari o'zgaradi va hujayra voltaji kamayadi. Standart potentsiallarning haroratga bog'liqligi natijasida galvanik hujayraning voltaji ham haroratga bog'liq bo'ladi.

Galvanik korroziya

Galvanik korroziya – bu metallarning elektrokimyoviy ravishda degradatsiyaga uchrashi jarayonidir. Bu korroziya ikki turli metall bir-biriga tegib, elektrolitda, masalan, tuzli suvda galvanik hujayra hosil qilganda sodir bo'ladi, natijada ko'proq noyob metallda H_2 gazining hosil bo'lishi yuz beradi. Natijada elektrokimyoviy potensial rivojlanib, elektr toki oqishi orqali kamroq noyob material elektrolitik yo'l bilan eriydi. Agar bir xil metall ikki turli konsentratsiyali elektrolitga ta'sir qilsa, konsentratsiya hujayrasi hosil bo'lishi mumkin.

Hujayra turlari

- Konsentratsiya hujayrasi
- Elektrotexnik hujayra
- Elektrokimyoviy hujayra
- Limon batareyasi
- Termogalvanik hujayra

Birlamchi hujayra

Birlamchi hujayra – bu bir marta ishlatiladigan va keyin tashlanadigan, qayta zaryadlanmaydigan batareyadir. Umuman olganda, hujayradagi elektrokimyoviy reaksiyalar qaytarilmaydigan tarzda sodir bo'ladi, bu esa uni qayta zaryadlashga imkon bermaydi. Birlamchi hujayra ishlatilgan sayin, batareyadagi kimyoviy reaksiyalar energiya ishlab chiqaradigan kimyoviy moddalarni sarflaydi, ular tugagach, batareya elektr energiyasi ishlab chiqarmaydi va foydasiz bo'ladi. Bunga qarshi, ikkilamchi hujayrada reaksiyalar reversiv bo'lib, hujayra qayta zaryadlanadi. Bu, batareyaga tok yuborish orqali tayanib, batareyani qayta zaryad qilish va kimyoviy reaksiyalarni tiklash orqali qaytarilishi mumkin. Birlamchi batareyalar kichik uy jihozlarini, masalan, tonarlar va portativ radiolarni quvvatlantirish uchun standart o'lchamlarda ishlab chiqariladi.

Birlamchi batareyalar \$50 milliardlik batareya bozorining taxminan 90 foizini tashkil etadi, ammo ikkilamchi batareyalar bozor ulushini oshirmoqda. Har yili

dunyo bo'ylab taxminan 15 milliard birlamchi batareyalar tashlanadi, ularning deyarli barchasi qoldiqlarga tushadi. Ular tarkibida zaharli og'ir metallar va kuchli kislotalar bo'lganligi sababli, batareyalar xavfli chiqindilar hisoblanadi. Ko'pgina shahar hokimiyatlari ularni bunday deb hisoblaydi va alohida utilitatsiya qilishni talab qiladi. Batareyani ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan energiya uning tarkibidagi energiyadan taxminan 50 baravar ko'proq. Ularning yuqori ifloslantiruvchi moddalar tarkibi va kichik energiya tarkibiga nisbatan, birlamchi batareya isrofli, atrof-muhitga zararli texnologiya hisoblanadi. Asosan simsiz qurilmalar va simsiz asboblarni sotuvlarining ortishi, ular birlamchi batareyalar bilan iqtisodiy jihatdan quvvatlanolmaydi va integral qayta zaryadlanadigan batareyalar bilan keladi, ikkilamchi batareya sanoati yuqori o'sishni ko'rsatmoqda va asta-sekin yuqori darajadagi mahsulotlarda birlamchi batareyani almashtirib bormoqda.

XXI asrning boshlarida birlamchi hujayralar ikkilamchi hujayralarga bozor ulushini yo'qotdi, chunki ikkilamchi hujayralar uchun narxlar nisbatan pasaydi. Chiroq quvvati talablarini lampalarni nurlovchi diodlarga (LED) o'tish bilan kamaytirildi.

Qolgan bozor, xususiy yoki nomlanmagan versiyalar tomonidan kuchaygan raqobatni boshdan kechirdi. 2012-yilda ikki asosiy AQSH ishlab chiqaruvchisi, "Energizer" va "Duracell" kompaniyalarining bozor ulushi 37% ga tushdi. "Rayovac" bilan birga, bu uchta kompaniya iste'molchilarni rux-karbon batareyalaridan ko'proq qimmat, uzoq muddatli va xavfsiz bo'lgan alkalik batareyalarga o'tkazishga harakat qilmoqda.

G'arbiy batareya ishlab chiqaruvchilari ishlab chiqarishni chet elga ko'chirishdi va endi AQSHda rux-karbon batareyalarini ishlab chiqarmaydilar.

Xitoy eng yirik batareya bozoriga aylandi, talabning boshqa joylardan tezroq o'sishi kutilyapti va alkalik hujayralarga ham o'tdi. Boshqa rivojlanayotgan mamlakatlarda foydalaniladigan batareyalar arzon qo'l bilan ishlaydigan, shamol bilan ishlaydigan va qayta zaryadlanadigan qurilmalar bilan raqobatlashishi kerak.

Birlamchi va ikkilamchi hujayralar o'rtasidagi taqqoslash

Ikkilamchi hujayralar, ya'ni qayta zaryadlanadigan batareyalar, birlamchi hujayralarga nisbatan iqtisodiy jihatdan ancha samarali hisoblanadi. Ularning boshlang'ich narxi va zaryadlash tizimining xarajatlari ko'p sonli foydalanuvchi sikllariga, ya'ni 100 dan 1000 siklgacha tarqatilishi mumkin.

Misol uchun, qo'lda ishlatiladigan quvvat asboblari birlamchi batareyalar to'plamini har bir bir necha soatlik ishlashda almashtirish juda qimmatga tushadi. Shu sababli, ikkilamchi hujayralar bu borada ancha foydalidir. Birlamchi hujayralar ishlab chiqarish jarayoni ularni qayta zaryadlash imkoniyatidan mahrum etadi. Shu sababli, ularning o'z-o'zidan zaryad chiqarish darajasi juda past bo'lishi kerak. Lekin, zamonaviy ikkilamchi hujayralar, masalan, past o'z-o'zidan zaryad chiqarishga ega NiMH (nikel metall gidrid) hujayralari, bu afzallikni yo'qotmaydi. Ular uzoq vaqt davomida zaryadni saqlab turishi mumkin va hatto oldindan zaryadlangan holatda sotiladi.

Ikkilamchi hujayralarning yana bir katta afzalligi – ularning juda past ichki qarshiligi. Bu xususiyat, ularni alkalini, rux-karbon va rux xlorid batareyalari bilan solishtirganda yuqori tok tortish bilan katta quvvat yo‘qotishidan himoya qiladi. Natijada, ikkilamchi hujayralar yuqori samaradorlikka ega bo‘ladi.

Zaxira batareyalari esa o‘z navbatida juda uzun saqlash vaqtini (10 yil yoki undan ko‘proq) ta‘minlaydi. Bunday batareyalar komponentlari fizik jihatdan ajratilgan bo‘lib, faqat foydalanish vaqtida birlashtiriladi. Garchi bunday konstruksiyalar qimmatroq bo‘lsa-da, ular o‘q-dorilar kabi ilovalarda keng qo‘llaniladi va yillar davomida saqlanadi.

Birlamchi hujayralarni qayta zaryadlash

Birlamchi hujayralarning umrini uzaytirish uchun ishqor batareyalarni qayta zaryadlash kabi urinishlar turlicha natijalar ko‘rsatgan. Uchlamchi qurilmalar ishlab chiqariladi va birlamchi hujayralarni qayta zaryadlash mumkinligini taqdim etadi. Birlamchi hujayraning ichki kimyoviy reaksiyalari tashqi tok bilan oson qaytarilmaydi, shuning uchun reaksiyalar to‘liq boshlang‘ich holatiga qaytmaydi. Qayta zaryadlangan birlamchi hujayralar ikkilamchi hujayralar bilan solishtirganda hayot va ishlashni yo‘qotadi. Birlamchi hujayralar ishlab chiqaruvchilari odatda qayta zaryadlashni ogohlantiradi.

Polarizatsiya

Birlamchi hujayralarning umrini qisqartirishning asosiy omillaridan biri bu ular ishlash jarayonida polarizatsiyaga uchraydi. Bu degani, vodorod katodda yig‘ilib, batareyaning samaradorligini pasaytiradi. Tijorat batareyalarida polarizatsiya ta‘sirini kamaytirish va ularning umrini uzaytirish uchun kimyoviy depolizatsiya ishlatiladi, ya‘ni oksidlovchi agent batareyaga qo‘shiladi va vodorodni suvga oksidlaydi. Marganets dioksidi Leclanche va rux-karbon batareyalarida, nitrat kislota esa Bunsen va Grove hujayralarida ishlatiladi.

Oddiy hujayralar o‘zini depolizatsiya qilishga urinishlar qilingan, masalan, mis plita yuzasini qiyshaytirish orqali vodorod pufakchalarining ajralishini osonlashtirish uchun, ammo bu juda muvaffaqiyatli bo‘lmadi. Elektrokimyoviy depolizatsiya vodorodni metall bilan almashtiradi, masalan, mis (masalan, Daniell hujayrasi) yoki kumush (masalan, kumush-oksidi hujayrasi) kabi.

Anod va katod

Batareya terminali (elektrod) haqidagi tushunchalar, aslida, batareya ichidagi jarayonlar va tashqi doiradagi elektr toki yo‘nalishiga qarab farqlanadi. Quruq hujayrada, masalan, karbon elektrod musbat voltajni rivojlantiradigan terminal (katod) sifatida ishlaydi, rux esa manfiy polarizatsiyaga ega bo‘lgan elektrod (anod) sifatida xizmat qiladi. Bu atamalar elektrolitik hujayra yoki termion vakuumli trubka ishlatiladigan terminologiyadan farq qiladi. Chunki elektrodning anod

va katod sifatida nomlanishi, aslida, ular orqali o'tgan elektr toki yo'nalishiga qarab belgilanadi, voltajga qarab emas.

Batareya – bu tashqi doirada elektr toki oqishini ta'minlaydigan kuch manbai. Uning ichida anodda kimyoviy oksidlanish jarayoni sodir bo'ladi, ya'ni elektronlar yo'qoladi va tashqi doiraga oqib o'tadi. Katod esa tashqi doiradan elektronlarni qabul qilib, kimyoviy kamayish jarayonini amalga oshiradi. Tashqi doirada esa, batareyadagi zaryadlarni uzatish jarayonlari boshqacha nomlanadi. Anod elektronlarni tashqi doiraga yuboradi, shuning uchun manfiy zaryad oladi va “-” belgisi bilan ko'rsatiladi. Katod esa elektronlarni qabul qilib, musbat zaryadga ega bo'ladi va “+” belgisi bilan ifodalanadi.

Ba'zi eski darsliklarda esa boshqa terminologiya qo'llanilgan, bu esa o'z navbatida zamonaviy o'quvchilarda chalkashliklarni keltirib chiqarishi mumkin. Misol uchun, 1911-yilda Ayrton va Mazer tomonidan yozilgan darslikda elektrodlar “musbat plita” va “manfiy plita” deb atalgan.

Yoqilg'i hujayrasi

Yoqilg'i hujayrasi – bu yoqilg'ining kimyoviy energiyasini (ko'pincha vodorod) va oksidlovchi agentni (odatda kislorod) elektr energiyasiga aylantiradigan elektrokimyoviy hujayra. Yoqilg'i hujayralari, aksariyat batareyalardan farqli o'laroq, kimyoviy reaksiyani davom ettirish uchun doimiy yoqilg'i va kislorod manbasini talab qiladi, batareyada esa kimyoviy energiya, odatda, batareyada allaqachon mavjud bo'lgan metallar va ularning ionlari yoki oksidlaridan kelib chiqadi, bu faqat oqim batareyalarida bo'ladi. Yoqilg'i hujayralari yoqilg'i va kislorod uzatilganicha doimiy ravishda elektr ishlab chiqarishi mumkin.

Birinchi yoqilg'i hujayralari ser Uilyam Grov tomonidan 1838-yilda ixtiro qilingan. Yoqilg'i hujayralarining birinchi tijorat maqsadidagi qo'llanilishi bir asrdan ortiq vaqt o'tib, 1932-yilda Frensis Tomas Bekon tomonidan vodorod-kislorod yoqilg'i hujayrasi ixtiro qilinganidan keyin amalga oshirildi. Ishqor yoqilg'i hujayrasi, shuningdek, Bekon yoqilg'i hujayrasi deb ataladi, 1960-yillardan boshlab NASA kosmik dasturlarida sun'iy yo'ldoshlar va kosmik kapsulalarga quvvat olish uchun ishlatilgan. Shundan so'ng, yoqilg'i hujayralari boshqa ko'plab ilovalarda qo'llanila boshlandi. Yoqilg'i hujayralari tijorat, sanoat va turarjoy binolari uchun asosiy va zaxira quvvat manbai sifatida, shuningdek, uzoq yoki qiyin erishiladigan hududlarda ishlatiladi. Ular, shuningdek, yoqilg'i hujayrasi transport vositalarini, shu jumladan, forkliftlar, avtomobillar, avtobuslar, kemalar, mototsikllar va suvosti kemalarini quvvatlantirish uchun ishlatiladi.

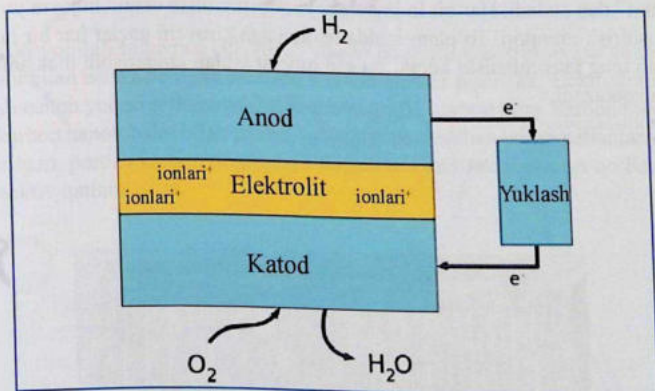
Yoqilg'i hujayralari ishlatiladigan elektrolit turiga va ishga tushirish vaqti farqiga ko'ra tasniflanadi, boshlang'ich vaqt 1 soniya bo'lgan proton almashish membranasi yoqilg'i hujayralaridan (PEM yoqilg'i hujayralari yoki PEMFC) 10 daqiqa bo'lgan qattiq oksid yoqilg'i hujayralariga (SOFC). Shuningdek, oqim batareyalari bilan bog'liq texnologiya mavjud bo'lib, unda yoqilg'ini qayta zaryad-

lash orqali tiklash mumkin. Yoqilg'i hujayralari bir-biridan nisbatan kichik elektr potentsiallarini ishlab chiqaradi (taxminan 0,7 volt), shuning uchun ular "to'plan-gan" yoki seriyalangan bo'lib, bir ilovaning talablariga javob beradigan yetarli kuchlanishni yaratadi. Yoqilg'i hujayralari elektr toki, suv, issiqlik va yoqilg'i manbaiga qarab, juda kichik miqdordagi azot oksidi va boshqa chiqindilarni ishlab chiqaradi. Yoqilg'i hujayrasining energiya samaradorligi odatda 40–60% atrofida bo'ladi, ammo, agar chiqindilar issiqlikni kogeneratsiya sxemasida ushlab turil-sa, samaradorlik 85% gacha bo'lishi mumkin. Yoqilg'i hujayralari bozori o'sib bormoqda va 2013-yilda "Pike Research" kompaniyasi 2020-yilda statik yoqilg'i hujayralari bozorining 50 GV ga yetishini baholadi.

Yoqilg'i hujayralarining turlari

Yoqilg'i hujayralarining ko'plab turlari mavjud, ammo ularning barchasi umumiy tarzda ishlaydi. Ular uchta qo'shni segmentdan iborat: anod, elektrolit va katod. Uchta turli segmentning interfeyslarida ikki kimyoviy reaksiya sodir bo'ladi. Ikkala reaksiyaning umumiy natijasi shundaki, yoqilg'i sarflanadi, suv yoki uglerod dioksidi yaratiladi va elektr toki hosil bo'ladi, bu esa elektr qurilmalarini quvvatlantirish uchun ishlatiladi.

Anodda katalizator yoqilg'ini oksidlaydi, uni musbat zaryadli ion va manfiy zaryadli elektronlarga aylantiradi. Elektrolit – bu ionlarning o'tishiga imkon beradigan, ammo elektronlar o'tmaydigan modda. Erkin elektronlar sim orqali oqib, elektr toki yaratadi. Ionlar elektrolit orqali katodga o'tadi. Katodga yetib borganida, ionlar, elektronlar va kislorod birlashib, suv va ehtimol boshqa mahsulotlarni hosil qiladi.



Yoqilg'i hujayrasi blok diagrammasi

Yoqilg'i hujayrasining konstruktiv xususiyatlariga quyidagilar kiradi:

- Elektrolit moddasi, odatda yoqilg'i hujayrasining turini belgilaydi va u ko'plab moddalardan, masalan, kaliy gidroksidi, tuz karbonatlari va fosfor kislotalaridan tayyorlanishi mumkin.

- Ishlatiladigan yoqilg'i. Eng keng tarqalgan yoqilg'i vodoroddir.

- Anod katalizatori, odatda nozik platina kukuni, yoqilg'ini elektronlar va ionlarga ajratadi.

- Katod katalizatori, ko'pincha nikel, ionlarni chiqindi moddalarga aylantiradi, eng keng tarqalgan chiqindi esa suvdur.

- Oksidlashga qarshi turish uchun mo'ljallangan gaz tarqatish qatlamlari.

Odatdagi yoqilg'i hujayrasi to'liq yuklanish holatida 0.6 V dan 0.7 V gacha bo'lgan kuchlanishni ishlab chiqaradi. Kuchlanish, bir nechta omillar tufayli tok oshgani sari kamayadi:

- Aktivatsiya yo'qotilishi.

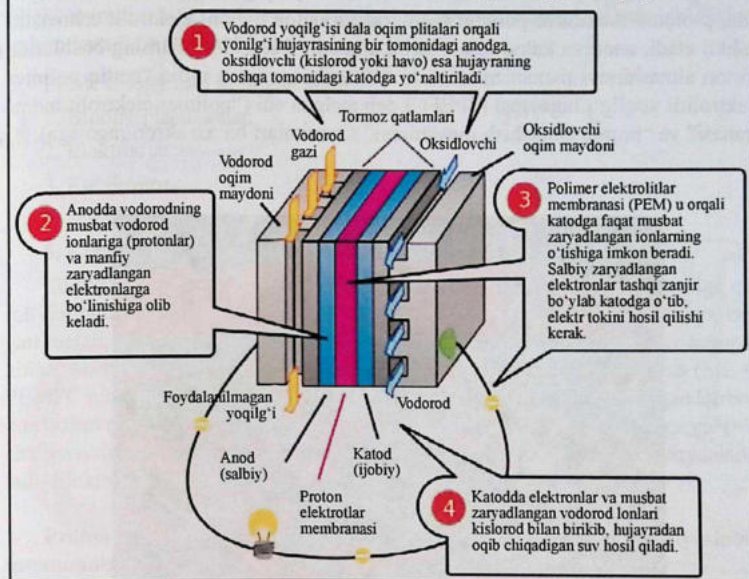
- Omik yo'qotish (hujayra komponentlari va ulanishlarining qarshiligi sababli kuchlanish tushishi).

- Massani transport yo'qotish (katalizator maydonlarida reaksiyalashuvchi moddalar kamayishi, yuqori yuklar ostida kuchlanishning tez yo'qolishi).

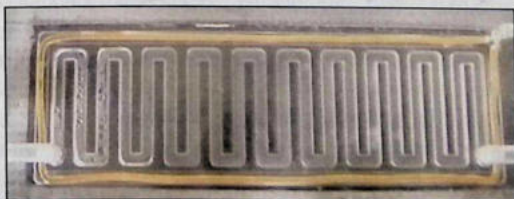
Kerakli miqdordagi energiyani yetkazib berish uchun yoqilg'i hujayralari ketma-ket ulanishi mumkin, bu orqali yuqori kuchlanish olinadi va parallel ulanish orqali yuqori tok yetkazib berish mumkin. Bunday dizayn "yoqilg' hujayra to'plami" deb ataladi. Har bir hujayradan yuqori tok olish uchun hujayra yuzasini ham oshirish mumkin. To'plam ichida reaksiyaga kiruvchi gazlar har bir hujayra bo'ylab teng taqsimlanishi kerak, bu esa quvvat ishlab chiqarishni maksimal darajaga yetkazadi.

Proton almashinuvi membrana yoqilg'i hujayralari (PEMFC)

Proton almashinuvi membranasini yonilg'i hujayrasi

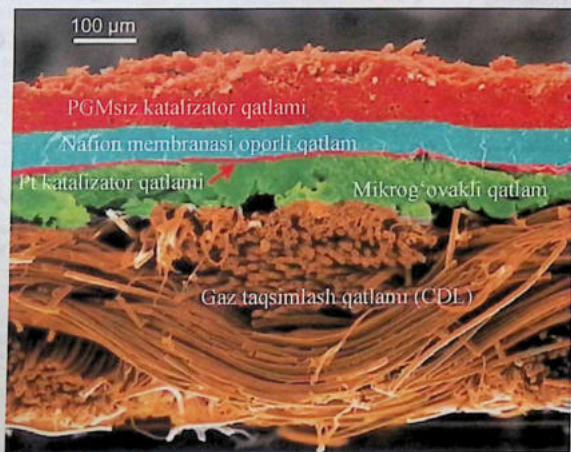


PEM yoqilg'i hujayrasi (PEMFC) yuqori haroratli konstruksiyasi: gaz kanali tuzilishi bilan ishlov berilgan elektrod sifatida bipolar plastinka, elektrodni ishlab chiqish uchun yuqori o'tkazuvchanlik uchun grafit, karbon qora, karbon tolasi va/ yoki karbon nanotubalar bilan kuchaytirilgan o'tkazuvchan kompozitlardan ishlab chiqarilgan, poroza karbon qog'ozlari, odatda polimer membranaga qo'llaniladigan reaktiv qatlam.



PEMFCda hosil bo'lgan suvning kondensatsiyasi havo kanali devorida yuz beradi. Zargarlik simi hujayra atrofida elektr toki yig'ilishini ta'minlaydi.

Vodorod-oksido proton almashish membranasi yoqilg'i hujayrasi konstruksiyasida, proton o'tkazuvchi polimer membrana (odatda nafion) elektrolit eritmasini tashkil etadi, anod va katod tomonlarini ajratadi. Bu, 1970-yillarning boshlarida proton almashinuvi mexanizmi yaxshi tushunilmaganidan oldin "qattiq polimer elektrolitli yoqilg'i hujayrasi (SPEFC) deb atalgan edi ("polimer elektrolit membranasi" va "proton almashish mexanizmi" sinonimlari bir xil akronimga ega).



Aslmas metall katalizator katodi va Pt/C anodi bilan PEMFC MEA kesma ko'rinishining SEM mikrografi. Aniqlik uchun soxta ranglar qo'llanilgan.

Anod tomonida, vodorod anod katalizatoriga diffuziya qiladi va u keyinchalik protonlar va elektronlarga ajraladi. Ushbu protonlar ko'pincha oksidantlar bilan reaksiyaga kirishib, ularni ko'pincha ko'p funksiyali proton membranalarida deb ataladigan narsalarga aylantiradi. Protonlar membrana orqali katodga o'tadi, ammo elektronlar tashqi zanjirda sayohat qilishga majbur bo'ladi (quvvat ta'minlash), chunki membrana elektr izolatsiya qilingan hisoblanadi. Katod katalizatorida, kislorod molekullari elektronlar (tashqi zanjir orqali sayohat qilgan) va protonlar bilan reaksiyaga kirishib, suv hosil qiladi.

Ushbu toza vodorod turiga qo'shimcha ravishda, yoqilg'i hujayralari uchun metanol, kimyoviy gidridlar va dizel kabi uglevodorod yoqilg'ilar mavjud. Ushbu turdagi yoqilg'ilarning chiqindilari karbon dioksidi va suvdur. Vodorod-

dan foydalanganda, vodorod ishlab chiqarish uchun bug' metan reformatsiyasi deb ataladigan jarayonda tabiiy gazdagi metan oqim bilan aralashtirilganda CO₂ chiqariladi. Bu yoqilg'i hujayrasidan farqli o'laroq boshqa joyda amalga oshirilishi mumkin, bu esa vodorodli yoqilg'i hujayrasini yopiq joylarda ishlatishga imkon beradi, masalan, forkliftlarda.

PEMFC ning turli komponentlari:

1. Bipolar plastinkalar.
2. Elektrodlar.
3. Katalizator.
4. Membrana.
5. Kerakli apparatura, masalan, tok yig'uvchilar va yostiqchalar.

Yoqilg'i hujayralarining turli qismlari foydalaniladigan materiallar turiga qarab farqlanadi. Bipolar plastinkalar turli materiallardan, masalan, metall, qoplangan metall, grafit, moslashuvchan grafit, C-C kompozit, karbon-polimer kompozitlari va boshqalardan tayyorlanishi mumkin. Membrana elektrod yig'ish (MEA) PEMFC ning yuragi deb ataladi va odatda ikki katalizator bilan qoplangan karbon qog'ozlari orasida proton almashish membranasidan tayyorlanadi. Platina va/yoki shunga o'xshash metallardan odatda PEMFC uchun katalizator sifatida foydalaniladi. Elektrolit polimer membrana bo'lishi mumkin.

Proton almashish membranasini yoqilg'i hujayrasi konstruksiyasining muammolari

- Narx: 2013-yilda Energetika departamenti 80 kW avtomobil yoqilg'i hujayrasi tizimlarining har bir kilovatiga 67 dollarni olish mumkinligini taxmin qildi, agar yillik 100,000 avtomobil hajmida ishlab chiqarish amalga oshirilsa va yillik 500,000 birlik ishlab chiqarishda har bir kilovatt uchun 55 dollarni olish mumkinligini aytdi. Ko'plab kompaniyalar xarajatlarni kamaytirish usullarini ishlab chiqishga harakat qilmoqda, jumladan, har bir alohida hujayrada platina-ni miqdorini kamaytirish. Ballard Power Systems karbon ipak bilan kuchaytirilgan katalizator bilan tajriba o'tkazdi, bu platinum foydalanishni 30% (1 mg/cm² dan 0.7 mg/cm² gacha) kamaytirish imkonini beradi, lekin samaradorlikni kamaytirmaydi. Monash universiteti, Melburn PEDOTni katod sifatida ishlattirdi. 2011-yilda e'lon qilingan tadqiqot (doi:10.1021/ja1112904) birinchi marta nisbatan arzon legirlangan karbon nanotubalar yordamida metallsiz elektrokatalizatorni hujjatlashtirdi, bu platina narxining 1% dan kam va teng yoki yuqori samaradorlikka ega.

- Suv va havo boshqaruvi (PEMFClarda): Bu turdagi yoqilg'i hujayrasida membrana gidratlangan bo'lishi kerak, bu suvning ishlab chiqarilganida aniq bir vaqtda bug'lanishi kerakligini anglatadi. Agar suv juda tez bug'lansa, membrana

quriydi, unga qarshi qarshilik ortadi va nihoyat u yoriladi, bu gaz "qisqa tutashuvi"ga olib keladi, bu yerda vodorod va kislorod to'g'ridan to'g'ri birlashib, qizib ketish hosil qiladi va yoqilg'i hujayrasiga zarar yetkazadi. Agar suv juda sekin bug'lansa, elektrodlar to'lib ketadi, bu esa reagentlarning katalizatorga yetib borishini oldini oladi va reaksiyani to'xtatadi. Hujayralarda suvni boshqarish usullari ishlab chiqilmoqda, masalan, oqim nazorati bo'yicha elektroosmotik nasoslar. Yoqilg'i hujayrasining samarali ishlashini ta'minlash uchun, aynan yoqilg'i va kislorod o'rtasida doimiy nisbati zarur.

- Haroratni boshqarish: Hujayrada barcha joylarda bir xil haroratni saqlash kerak, bu hujayrani termal yuk orqali yo'q qilishdan saqlanish uchun juda muhimdir. Bu ayniqsa, $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ reaksiyasi juda ekzotermik bo'lib, yoqilg'i hujayrasida katta miqdorda issiqlik hosil bo'lgani uchun murakkabdir.

- Chidamlilik, xizmat muddati va ba'zi turdagi hujayralar uchun maxsus talablar: Statsionar yoqilg'i hujayrasi dasturlarida odatda 40,000 soatdan ortiq ishonchli ishlash talab qilinadi va bu $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha ($-31\text{ }^{\circ}\text{F}$ dan $104\text{ }^{\circ}\text{F}$ gacha) bo'lgan haroratda bo'ladi, avtomobil yoqilg'i hujayralari esa 5,000 soatlik xizmat muddatiga (240,000 km (150,000 mil) ga teng) ega bo'lishi kerak. Joriy xizmat muddati 2,500 soat (taxminan 75,000 mil). Avtomobil dvigatellari, shuningdek, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-22\text{ }^{\circ}\text{F}$) da ishonchli ishga tushishi va yuqori quvvatni hajmga nisbatan yuqori nisbatga (odatda 2.5 kV litrga) ega bo'lishi kerak.

- Ba'zi (PEDOT bo'lmagan) katodlarning cheklangan karbon monoksidga chidamliligi.

Fosfor kislota yoqilg'i hujayrasi (PAFC)

Fosfor kislotali yoqilg'i hujayralari (PAFC) birinchi marta 1961-yilda J.V. Elmor va H.A. Tanner tomonidan ishlab chiqilgan. Bu hujayralarda fosfor kislotali elektrolit sifatida ishlaydi va bu elektrolit orqali musbat vodorod ionlarini anoddan katodga o'tkazadi. Ushbu hujayralar odatda 150 dan 200 daraja Selsiygacha bo'lgan haroratda ishlaydi. Agar issiqlik to'g'ri olib tashlanmasa va ishlatilmasa ushbu yuqori harorat issiqlik va energiya yo'qotishiga olib kelishi mumkin. Bu issiqlik, masalan, havo konditsioner tizimlari yoki boshqa issiqlikni talab qiladigan tizimlar uchun bug' ishlab chiqarish uchun ishlatilishi mumkin. Bunday issiqlikni qo'shimcha ishlab chiqarishda, fosfor kislotali yoqilg'i hujayralarining samaradorligini 40–50% dan 80% gacha oshirishi mumkin. PAFClarda ishlatiladigan elektrolit fosfor kislota, bu kislota vodorod ionlarining ishlab chiqarish tezligini oshirish uchun platinadan katalizator sifatida foydalaniladi. Ushbu hujayralarning asosiy kamchiligi – kislotali elektrolitdan foydalanish, bu esa fosfor kislota bilan ta'sirga tushadigan komponentlarning korroziyasi yoki oksidlanishini oshiradi.

Qattiq kislotali yoqilg'i hujayrasi (SAFC)

Qattiq kislotali yoqilg'i hujayralari (SAFCs) elektrolit sifatida qattiq kislotali materialdan foydalanish bilan tavsiflanadi. Past haroratlarda qattiq kislotalar, ko'pgina tuzlar kabi, tartibli molekulyar tuzilishga ega. Iliq haroratlarda (CsHSO_4 uchun 140 dan 150 daraja selsiygacha) ba'zi qattiq kislotalar faza o'tishi orqali juda tartibsiz "superprotonik" tuzilmalarga aylanishi mumkin, bu esa o'tkazuvchanlikni bir necha o'lchovlarga oshiradi. Birinchi SAFClarning isbotlangan prototiplari 2000-yilda seziiy vodorod sulfatini (CsHSO_4) ishlatib ishlab chiqilgan. Hozirgi SAFC tizimlarida seziiy digidrogen fosfat (CsH_2PO_4) ishlatilmoqda va ular minglab soatlar davomida xizmat qilishni namoyish etgan.

Ishqor yoqilg'i hujayrasi (AFC)

Ishqor yoqilg'i hujayrasi yoki vodorod-oksid yoqilg'i hujayrasi birinchi marta 1959-yilda Frensis Tomas Bekon tomonidan ishlab chiqilgan va jamoatchilikka taqdim etilgan. Bu hujayra Apollo kosmik dasturida asosiy elektr energiyasi manbai sifatida ishlatilgan. Hujayra ikki poroza karbon elektrodidan iborat bo'lib, ular Pt, Ag, CoO va boshqalar kabi mos katalizatorlar bilan to'ldirilgan. Elektrodlar orasidagi bo'shliq, elektrolit sifatida KOH yoki NaOH ning konsentrlangan eritmasi bilan to'ldirilgan. Shunday qilib, umumiy reaksiya vodorod gazining oksigen gaziga birlashib, suv hosil qilishini o'z ichiga oladi. Hujayra, reaktivlar ta'minoti tugaguncha uzluksiz ishlaydi. Ushbu turdagi hujayra 343 K dan 413 K gacha bo'lgan harorat oralig'ida samarali ishlaydi va taxminan 0,9 V potensial taqdim etadi. AAEMFC – bu AFC ning bir turi bo'lib, u suyuq kaliy gidroksid (KOH) o'rniga qattiq polimer elektrolitdan foydalanadi va suyuq AFCga nisbatan ustun hisoblanadi.

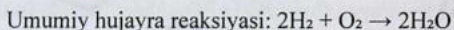
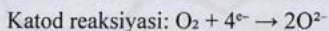
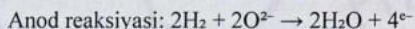
Yuqori haroratli yoqilg'i hujayralari.

Qattiq oksid yoqilg'i hujayrasi

Qattiq oksid yoqilg'i hujayralari (SOFC) elektrolit sifatida eng ko'p ishlatiladigan keramika materiali, sirkoniy (YSZ) ishlatadi. SOFClar faqat qattiq materiallardan tayyorlanganligi sababli, ular boshqa yoqilg'i hujayralarining tekis konfiguratsiyasiga cheklavlarsiz ishlab chiqarilishi mumkin va ko'pincha aylana shaklida dizaynlanadi. Ular yuqori ishlash haroratlariga (800–1000 °C) muhtoj va tabiiy gaz kabi turli xil yoqilg'ilar bilan ishlashi mumkin.

SOFClar o'ziga xosdir, chunki bu hujayralarda manfiy zaryadlangan kislorod ionlari katoddan (yoqilg'i hujayrasining musbat tomonidan) anodga (yoqilg'i hujayrasining manfiy tomoniga) o'tadi, boshqalarida esa, har doim protonlar anoddan katodga o'tadi. Kislorod gazi katodga beriladi, bu yerda u elektronlarni so'rib olib, kislorod ionlarini hosil qiladi. Kislorod ionlari so'ngra elektrolit orqali o'tib,

anodda vodorod gazi bilan reaksiyaga kirishadi. Anodda hosil bo'lgan reaksiya elektr energiyasi va suvni hosil qiladi. Karbon dioksid ham yon mahsulot bo'lishi mumkin, ammo SOFC tizimlaridan karbon chiqarish hosil yoqilg'ilarini yoqish zavodlariga qaraganda ancha kamroq. SOFC tizimining kimyoviy reaksiyalari quyidagicha ifodalanishi mumkin:



SOFC tizimlari faqat toza vodorod gazidan boshqa yoqilg'ilar bilan ishlay olishadi. Ammo yuqorida keltirilgan reaksiyalar uchun vodorod zarur bo'lgani sababli, tanlangan yoqilg'i vodorod atomlarini o'z ichiga olishi kerak. Yonilg'i hujayrasi ishlashini ta'minlash uchun yoqilg'i toza vodorod gaziga aylantirilishi kerak. SOFClar metan (tabiiy gaz), propan va butan kabi yengil uglevodorodlarni ichki reformatsiya qilish orqali ishlashga qodir. Ushbu yoqilg'i hujayralari hali rivojlanishning dastlabki bosqichlarida turibdi.

SOFC tizimlarida yuqori ish haroratlari tufayli qiyinchiliklar mavjud. Bunday qiyinchiliklardan biri, anodda karbon kukunining to'planish ehtimoli bo'lib, bu ichki reformatsiya jarayonini sekinlashtiradi. Pensilvaniya universitetidagi tadqiqotlar, misga asoslangan metallokeramika (keramika va metallning issiqlikka chidamli materiallari)dan foydalanish karbon koksrlash va ishlashning pasayishini kamaytirishga yordam berishi mumkinligini ko'rsatdi. SOFC tizimlarining yana bir kamchiligi, ularning sekin ishga tushish vaqtidir, bu esa mobil ilovalar uchun SOFClarni foydasiz qiladi. Ushbu kamchiliklarga qaramay, yuqori ish harorati platina kabi qimmatbaho metallarni katalizator sifatida ishlatish zaruratini bartaraf etadi, bu esa narxni kamaytiradi. Bundan tashqari, SOFC tizimlarining chiqindilaridan olinadigan issiqlikni qayta ishlash mumkin, bu esa nazariy jihatdan umumiy samaradorlikni 80%–85% ga oshirishga imkon beradi.

Yuqoridagi haroratni talab qilishning asosiy sababi YSZ elektrolitining jismoniy xususiyatlaridir. Harorat pasaygan sari YSZning ion o'tkazuvchanligi ham kamayadi. Shu sababli, yoqilg'i hujayrasining optimal ishlashini ta'minlash uchun yuqori ish harorati talab qilinadi. Ularning veb-saytiga ko'ra, Buyuk Britaniyaning Ceres Power kompaniyasi, SOFC tizimining ish haroratini 500–600 darajaga pasaytirish usulini ishlab chiqqan. Ular odatda ishlatiladigan YSZ elektrolitini CGO (seriy-gadolinii oksidi) elektrolitiga almashtirdilar. Pastroq ish harorati, ular uchun keramika o'rniga zanglamaydigan po'latdan yasalgan substratni ishlatishga imkon beradi, bu esa tizimning narxini va ishga tushirish vaqtini kamaytiradi.

MCFC

Eritilgan karbonat yoqilg'i hujayralari (MCFClar) SOFClarga o'xshash tarzda yuqori ish haroratiga, ya'ni 650 °C (1,200 °F) ga ega. MCFClar litiy kaliy karbonat tuzini elektrolit sifatida ishlatadi va bu tuz yuqori haroratlarda suyuqlanadi, bu esa hujayra ichida zaryadning harakatlanishiga imkon beradi – bu holda, manfiy karbonat ionlari.

SOFClarga o'xshab, MCFClar ham anodda yoqilg'ini vodorodga boy gazga aylantirish orqali ishlashga qodir, bu esa vodorodni tashqi manbadan ishlab chiqarishni yo'q qiladi. Reformatsiya jarayoni CO₂ chiqindilarini hosil qiladi. MCFC bilan mos keladigan yoqilg'ilar tabiiy gaz, biogaz va ko'mirdan olingan gazni o'z ichiga oladi. Gazdagi vodorod, elektrolitdan karbonat ionlari bilan reaksiyaga kirishib, suv, karbonat angidrid, elektronlar va boshqa kichik moddalar hosil qiladi. Elektronlar tashqi zanjir orqali o'tib, elektr energiyasi hosil qiladi va katodga qaytadi. U yerda havodagi kislorod va anoddan qayta ishlangan karbonat angidrid elektronlar bilan reaksiyaga kirishib, elektrolitni yangilovchi karbonat ionlarini hosil qiladi.

MCFC tizimining kimyoviy reaksiyalari quyidagicha ifodalanishi mumkin:

Anod reaksiyasi: $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$

Katod reaksiyasi: $\text{CO}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$

Umumiy hujayra reaksiyasi: $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

SOFClar kabi, MCFClar ham yuqori ish harorati tufayli sekin ishga tushish vaqtiga ega. Bu ularni mobil ilovalar uchun nomuvofiq qiladi va bu texnologiya asosan statsionar yoqilg'i hujayrasi ilovalari uchun ishlatiladi. MCFC texnologiyasining asosiy muammosi – hujayraning qisqa umr ko'rishidir. Yuqori harorat va karbonat elektrolit anod va katodning korroziyasiga olib keladi. Bu omillar MCFC komponentlarining eskirishini tezlashtiradi, bu esa uzoq umr ko'rish va hujayra ishlashini kamaytiradi. Tadqiqotchilar ushbu muammoni hal qilish maqsadida komponentlar uchun korroziyaga qarshi materiallar va hujayra ishlashini kamaytirmasdan hujayra umrini uzaytirish imkonini beruvchi dizaynlarni o'rganmoqdalar.

MCFClar boshqa yoqilg'i hujayra texnologiyalariga nisbatan bir nechta afzalliklarga ega, jumladan, aralashmalarga chidamliligi bilan. Ular "karbon kokslash"ga moyil emas, bu anodda karbon to'planishi va ichki yoqilg'ining reformat-siya jarayonini sekinlashtirishi bilan bog'liq. Shuning uchun, ko'mirdan olingan gazlar kabi karbonga boy yoqilg'ilar tizim bilan mos keladi. Energetika departamenti kelajakda ko'mirning o'zi ham yoqilg'i variantlaridan biri bo'lishi mumkin, agar tizim ko'mirni vodorodga aylantirishda hosil bo'ladigan ifloslantiruvchi moddalar, masalan, sulfidlar va zarrachalarga qarshi chidamli bo'lsa, degan fikrni ilgari surgan. MCFClar, shuningdek, nisbatan yuqori samaradorlikka ega. Ular

yoqilg'idan elektr energiyasigacha 50% samaradorlikka erishishlari mumkin, bu esa fosfor kislotasi yoqilg'i hujayrasi zavodi samaradorligidan (37–42%) ancha yuqori. Samaradorliklar, agar yoqilg'i hujayrasi turbin bilan birlashtirilsa, 65% gacha oshishi mumkin va agar issiqlik qaytarilsa hamda issiqlik va elektr energiyasi birlashtirilgan (CHP) tizimida ishlatilsa, 85% gacha yetishi mumkin.

Konnektikutda joylashgan yoqilg'i hujayrasi ishlab chiqaruvchisi, Fuel-Cell Energy, MCFC yoqilg'i hujayralarini ishlab chiqadi va sotadi. Kompaniya ularning MCFC mahsulotlari 300 kW dan 2.8 MV gacha bo'lgan tizimlarni o'z ichiga olishini va 47% elektr samaradorligiga erishishini ta'kidlaydi, shuningdek, yuqori umumiy samaradorlikka erishish uchun CHP texnologiyasidan foydalanishni ta'minlaydi. Bir mahsulot, DFC–ERG, gaz turbinasi bilan birlashtirilgan bo'lib, kompaniyaning ma'lumotlariga ko'ra, u elektr samaradorligini 65% ga erishadi.

Elektr saqlash yoqilg'i hujayrasi

Bu oddiy batareya bo'lib, elektr energiyasi kirish orqali zaryadlanadi, an'anaviy elektro-kimyoviy ta'sirni ishlatadi. Biroq, batareya yana vodorod (va kislorod) kiritishlarni o'z ichiga oladi, bu esa batareyani kimyoviy jihatdan zaryadlash imkonini beradi.

Yoqimli yonilg'i hujayralari turlarining samaradorligi

Nazariy maksimal samaradorlik

Biror tizim yoki qurilmaning energiya samaradorligi, tizimning foydali energiyasini ("chiqish energiyasi") jami sarflangan energiyaga ("kirish energiyasi") nisbati bilan o'lchanadi (yoki foydali chiqish energiyasini jami kirish energiyasining foizi sifatida). Yonilg'i hujayralari uchun foydali chiqish energiyasi tizim tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiyasidir. Kirish energiyasi esa yonilg'ida saqlangan energiyadir. AQSH Energiya departamenti ma'lumotlariga ko'ra, yonilg'i hujayralari odatda 40–60% energiya samaradorligiga ega. Bu boshqa energiya ishlab chiqarish tizimlaridan yuqoridir. Masalan, avtomobilning ichki yonish dvigatelining samaradorligi taxminan 25% atrofida. Kombinatsiyalangan issiqlik va quvvat (CHP) tizimlarida, yonilg'i hujayralari tomonidan ishlab chiqarilgan issiqlik ushlab qolib, tizim samaradorligini 85–90% gacha oshirishi mumkin.

Har qanday energiya ishlab chiqarish tizimining nazariy maksimal samaradorligiga amalda hech qachon erishilmaydi va u energiya ishlab chiqarishning boshqa bosqichlarini, masalan, yonilg'ining ishlab chiqarilishi, transportirovkasi va saqlanishi hamda elektr energiyasining mexanik energiyaga aylanishini hisobga olmaydi. Biroq, bu hisob-kitob turli energiya ishlab chiqarish turlarini taqqoslash imkonini beradi. Yonilg'i hujayrasining maksimal nazariy samaradorligi 83% ni tashkil qiladi, bu past quvvat zichligida xom vodorod va kislorod reaksiyalari

ishlatilgan holda (issiqlikni qayta tiklashni hisobga olmaganda). Jahon energiya kengashi ma'lumotlariga ko'ra, bu ichki yonish dvigatelining maksimal nazariy samaradorligi 58% bilan taqqoslanadi.

Amalda

Yonilg'i hujayrali transport vositasida, tankdan g'ildirakka bo'lgan samaradorlik past yuklamalarda 45% dan yuqori va NEDC (Yangi yevropa haydash sikli) kabi haydash sikli ishlatilganida taxminan 36% ni tashkil etadi. Dizel avtomobillar uchun NEDC qiymati 22% ni tashkil qiladi. 2008-yilda Honda o'zining "Honda FCX Clarity" modelini taqdim etdi, bu avtomobilda yonilg'i hujayra stakidan foydalanib, 60% tankdan g'ildirakka samaradorlikka erishilganini iddao qilgan edi.

Vodorod energetikasi va uning ishlatilishi haqida gapirganda, yonilg'ini ishlab chiqarish, transportirovka qilish va saqlash jarayonlaridan kelib chiqadigan yo'qotishlarni hisobga olish juda muhim. Siqilgan vodoroddan foydalanuvchi yonilg'i hujayrali transport vositalarida, agar vodorod yuqori bosimli gaz sifatida saqlansa, quvvat zavodidan g'ildirakka bo'lgan samaradorlik 22% atrofida bo'ladi. Agar vodorod suyuq holatda saqlansa, bu ko'rsatkich 17% ga tushadi. Bu shuni anglatadiki, vodorod energetikasi ham samaradorlik nuqtayi nazaridan ba'zi cheklovlarga ega. Shuningdek, yonilg'i hujayralari batareyalar kabi energiya saqlash vositalari emas, ular faqat vodorod shaklida energiya saqlashadi. Ammo ba'zi holatlarda, masalan, quyosh yoki shamol energiyasiga asoslangan uzilishli energiya manbalarida, ular elektrolizatorlar va saqlash tizimlari bilan birgalikda ishlatilishi mumkin.

Vodorodning eng keng tarqalgan qo'llanilishi neftni qayta ishlash, kimyo sanoati va o'g'it ishlab chiqarishda bo'lib, bu jarayonlar karbon dioksid chiqarilishiga olib kelishi mumkin. Vodorodning ishlab chiqarilish samaradorligi 35% dan 50% gacha o'zgarib turadi. Vodorodni elektroliz orqali ishlab chiqarish esa ko'plab ilovalar uchun uzoq muddatli energiya saqlash imkoniyatini yaratadi.

Qattiq oksidli yonilg'i hujayralari esa o'ziga xos xususiyatlarga ega. Ular oksidlanish va vodorodning qayta birikishi orqali issiqlik ishlab chiqaradi. Ushbu issiqlik yuqori samaradorlik bilan ishlatilishi mumkin, ayniqsa, mikro kombinatsiyalangan issiqlik va quvvat (m-CHP) tizimlarida. Bunday tizimlarda, issiqlik saqlanib qolishi mumkin va umumiy samaradorlik 80–90% ga yetishi mumkin. Ammo, albatta, bu ishlab chiqarish va taqsimlashdagi yo'qotishlarni hisobga olmaydi.

Jeremi P. Meyersning so'zlariga ko'ra, yonilg'i hujayralari yoqilg'i yondirish dvigatellariga qaraganda samaraliroq bo'lsa-da, ular batareyalar kabi energiya saqlash tizimlariga qaraganda samaraliroq emas. Ular eng ko'p tarmoqdan uzilgan holatlarda yoki doimiy ravishda yoqilg'i ta'minlanadigan joylarda ishlash uchun qulaydir. Tez-tez va tez boshlanishlarni talab qiladigan dasturlar uchun, masalan, yopiq joylardagi omborlar kabi, vodorodli energiya tizimlari jozibali bo'lishi

mumkin. 2013-yildan boshlab, harbiy tashkilotlar vodorodli yonilg'i hujayralarini baholashni boshladilar, chunki ular askarlarning olib yuradigan batareyalarining og'irligini sezilarli darajada kamaytirishi mumkinligini aniqlashga harakat qilmoqdalar.

Ilovalar



Germaniya floti tomonidan ishlatiladigan 212-tur suzuvchi kemasi, yoqilg'i hujayralari bilan ishga tushirilgan.

Quvvat

Statsionar yoqilg'i hujayralari bugungi kunda tijorat, sanoat va uy-joy quvvatini birlamchi va zaxira manbasi sifatida keng qo'llanilmoqda. Ular uzoq hududlarda, kosmik kemalardan tortib, ob-havo stansiyalari, aloqa markazlari va qishloq hududlarida quvvat manbasi sifatida juda samarali ishlaydi. Vodorod bilan ishlaydigan yoqilg'i hujayra tizimlari ixcham va yengil bo'lib, harakatlanuvchi qismlarsiz ishlab, juda yuqori ishonchlilikka ega. Bunday tizimlar ideal sharoitlarda 99,9999% ishonchli bo'lishi mumkin, bu esa ularni uzoq muddatli, ishonchli energiya manbasi sifatida ajratib turadi.

Yoqilg'i hujayra elektrolizator tizimlari o'zlarida yoqilg'i saqlamaganligi sababli, ular tashqi saqlash birliklariga tayanib, yirik energiya saqlash tizimlarida samarali ishlashi mumkin. Bunga misol sifatida, qishloq hududlaridagi energiya ta'minoti tizimlari ko'rsatilishi mumkin. Yoqilg'i hujayralarining samaradorligi turlicha bo'lsa-da, ular ko'pincha 40–60% energiya samaradorligiga ega, lekin chiqindi issiqlikni binolarni isitish uchun ishlatish orqali samaradorlikni 85% gacha oshirish mumkin. Bu esa, an'anaviy ko'mirli issiqlik energiyasi ishlab chiqarish stansiyalariga nisbatan sezilarli darajada samaraliroqdir, chunki ularning faqat taxminan uchdan bir qismi samarali ishlaydi.

Yoqilg'i hujayralari an'anaviy energiya ishlab chiqarishdan ancha toza va ekologik jihatdan xavfsiz. Masalan, vodorod manbai sifatida tabiiy gazdan foydalanadigan yoqilg'i hujayra zavodi har 1 000 kW-soat ishlab chiqarishda atigi 25 funt ifloslanish (CO_2 dan boshqa) chiqadi, bu esa an'anaviy yonish tizimlariga qaraganda ancha past. Bundan tashqari, yoqilg'i hujayralari 97% kam azot oksidi emissiyalarini ishlab chiqaradi, bu esa ularni ekologik jihatdan toza texnologiya sifatida ajratib turadi.

Bundan tashqari, real hayotdagi misollar ham mavjud. Masalan, Vashington shtatidagi Styuart orolida yaratilgan Stuart Island Energy Initiative to'liq yopiq tizimga ega bo'lib, quyosh panellari elektrolizatorni quvvatlaydi, u vodorod hosil qiladi va vodorod tankda saqlanadi. Bu energiya tizimi tarmoqdan tashqari uyga to'liq zaxira elektr ta'minoti beradi. Yana bir misol sifatida, 2011-yilda Hempstedda taqdim etilgan yopiq tizimda chiqindi gazlarni qo'llash orqali qishloq joylarida energiya ishlab chiqarish va metan emissiyalarini kamaytirish imkoniyati mavjud.

Kaliforniyada joylashgan 2,8 MV quvvatga ega yoqilg'i hujayra zavodi esa bu turdagi eng yirik zavod sifatida e'tirof etiladi.

Kogeneratsiya

Birlashtirilgan issiqlik va quvvat (CHP) tizimlari, xususan, Mikro CHP tizimlari (MicroCHP) uylar, ofislar va fabrikalar uchun energiya ishlab chiqarishda yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Ushbu tizimlar, energiya ishlab chiqarishning barqaror va samarali usulini taqdim etadi: ular elektr energiyasini ishlab chiqaradi va shu bilan birga chiqindi issiqlikdan issiq suv va havo hosil qiladi. Bu esa, o'z navbatida, energiya tejamkorligini oshirib, birlamchi energiya resurslarini samarali ishlatishga imkon beradi.

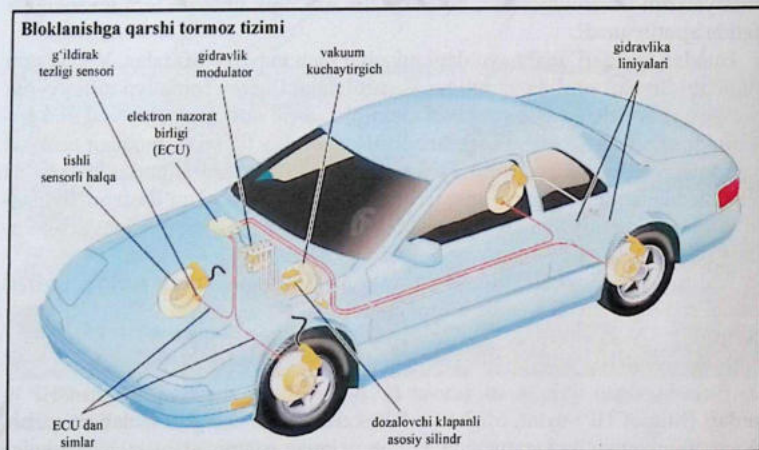
CHP tizimlari foydalangan chiqindi issiqlikni o'z ichiga olgan holda, issiqlikni qayta ishlashning an'anaviy tizimlaridan tashqari, ko'pincha issiqlikni sovitish uchun maxsus qurilmalarga (yutilish sovutgichlari) ulanadi.

Yoqilg'i hujayralari tizimlarida chiqindi issiqlik, yozda to'g'ridan to'g'ri yerga, qishda esa binoga uzatilishi mumkin. Bu texnologiyalar energiya samaradorligini yuqori darajaga olib chiqadi, ba'zida 85% gacha (40–60% elektr energiyasi va qolgan qismini issiqlik sifatida). Fosforik kislotali yoqilg'i hujayralari (PAFC) bugungi kunda CHP tizimlarining asosiy segmentini tashkil etadi va yuqori samaradorlikka ega, (90% gacha). Qotib qolgan karbonatli (MCFC) va qattiq oksidli yoqilg'i hujayralari (SOFC) esa taxminan 60% elektr energiyasini samarali ishlab chiqaradi.

Biroq, CHP tizimlarining ayrim kamchiliklari ham mavjud: ular sekin o'zgarish tezliklariga, yuqori xarajatlarga va qisqa umrga ega. Bundan tashqari, uy joylarida issiq suv saqlash tanklariga bo'lgan ehtiyoj tizimning o'rnatilishini qiyinlashtiradi. Yaponiyaning ENE FARM loyihasi 2014-yilda 100 000 ta mikro CHP tizimini o'rnatgan va bu tizimlar global bozorga muvaffaqiyatli kirib borganini

ko'rsatdi. 2012-yilda yoqilg'i hujayrasi mikro CHP tizimlarining sotuvlari an'ana-
viy tizimlarni ortda qoldirib, global bozorda 64% ulushni egalladi.

Yoqilg'i hujayra elektr transport vositalari (FCEV)



Yoqilg'i hujayrali avtomobillarining konfiguratsiyasi



Toyota Mirai

Avtomobillar

2017-yilga kelib, dunyo bo'ylab 6500 ta FCEV ijaraga berilgan yoki sotilgan. Uchta yoqilg'i hujayrali elektr transport vositasi tijorat uchun ijaraga yoki sotuvga chiqarilgan: Honda Clarity, Toyota Mirai va Hyundai ix35 FCEV. Qo'shimcha tajriba modellari orasida Honda FCX Clarity va Mercedes-Benz F-Cell mavjud. 2011-yil iyun holatiga ko'ra, tajriba FCEVlar 4,800,000 km (3,000,000 milya) dan ortiq masofa bosib o'tgan va 27,000 dan ortiq yoqilg'i to'ldirishlar amalga oshirilgan. Yoqilg'i hujayrali elektr avtomobillari har bir to'ldirishda o'rtacha 314 mil masofa bosib o'tish imkonini beradi. Ular 5 daqiqadan kamroq vaqt ichida to'ldirilishi mumkin. AQSH Energiya departamentining Yoqilg'i hujayra texnologiyalari dasturi 2011-yil holatiga ko'ra, yoqilg'i hujayralari to'rtinchi kuchlanishda 53–59% samaradorlikka erishgan, to'liq kuchlanishda esa 42–53% transport vositasi samaradorligiga va 120,000 km (75,000 milya) dan ortiq xizmat ko'rsatish muddatiga ega bo'lib, 10% dan kam degradatsiya ko'rsatmoqda. “Yo'lga qarshi” tahlilida General Motors va uning hamkorlari hisoblashicha, tabiiy gazdan olingan siqilgan gazli vodorod bilan ishlaydigan yoqilg'i hujayrali elektr transport vositasi har bir sayohat uchun ichki yonish dvigateli bilan ishlaydigan transport vositasiga nisbatan taxminan 40% kam energiya ishlatadi va 45% kam issiqxona gazlarini chiqaradi. 2011-yilda Energiya departamenti mutaxassisi, yoqilg'i hujayra avtomobillari joriy batareyali avtomobillardan ancha kam cheklovlarga ega bo'lgan to'liq funksional transport vositalari ekanligini ta'kidlagan. Misol uchun, agar siz katta o'lchamdagi SUV haydovchisi bo'lsangiz va tog'larga qayiq olib chiqsangiz, buni ushbu texnologiya bilan amalga oshirishingiz mumkin, hozirgi batareyali transport vositalarida esa shahar haydovchiligiga mo'ljallangan cheklovlar mavjud.

2015-yilda Toyota o'zining birinchi yoqilg'i hujayrali avtomobili Miraini 57,000 dollarga taqdim etdi. Hyundai cheklangan ishlab chiqarishda Hyundai ix35 FCEVni ijaraga berdi. 2016-yilda Honda Clarity Fuel Cellni ijaraga berishni boshladi.

Avtobuslar



Toyota FCHV-BUS Expoda

2011-yil avgustiga kelib, butun dunyo bo'ylab taxminan 100 ta yonilg'i hujayrali avtobuslar ishlayotgan edi, jumladan Kanadadagi Uistler, AQSHdagi San-Fransisko, Germaniyadagi Gamburg, Xitoydagi Shanxay, Angliyadagi London va Braziliyadagi San-Pauluda. Ularning aksariyati UTC Power, Toyota, Ballard, Hydrogenics va Proton Motor tomonidan ishlab chiqarilgan. UTC avtobuslari 2011-yilga kelib 970,000 km (600,000 milya)dan ortiq masofa bosgan. Yonilg'i hujayrali avtobuslar dizel avtobuslar va tabiiy gaz avtobuslariga nisbatan 39% dan 141% gacha yuqori yonilg'i samaradorligiga ega.

2019-yil holatiga ko'ra, NREL AQSHdagi bir nechta joriy va rejalashtirilgan yonilg'i hujayrali avtobuslar loyihalarini baholamoqda.

Forkliftlar

Yonilg'i hujayrali forklift (yoki yonilg'i hujayrali lift-trak) – materiallarni ko'tarish va tashish uchun yonilg'i hujayrasi bilan ishlaydigan sanoat forkliftidir. 2013-yilda AQSHda 4000 dan ortiq yonilg'i hujayrali forkliftlar ishlatilgan, shulardan faqat 500 tasi DOE tomonidan moliyalashtirilgan. Global bozor har yili 1 million forkliftlarni tashkil etadi. Yonilg'i hujayrali flotalar Sysco Foods, FedEx Freight, GENCO (Vegmans, Coca-Cola, Kimberly Clark va Whole Foodsda), H-E-B Grocers kabi turli kompaniyalar tomonidan ishlatilmoqda. Yevropa 30 ta yonilg'i hujayrali forkliftni Hylift bilan sinovdan o'tkazdi va HyLIFT-

EUROPE loyihasini 200 taga kengaytirdi, shuningdek Fransiya va Avstriyada boshqa loyihalar mavjud. Pike Research 2011-yilda yonilg'i hujayrali forkliftlar 2020-yilga kelib vodorod yonilg'isiga talabni eng katta oshiruvchi omil bo'lishini taxmin qildi.

Yevropa va AQSHdagi aksariyat kompaniyalar neft asosidagi forkliftlardan foydalanmaydi, chunki bu transport vositalari yopiq joylarda ishlatiladi va bu joylarda chiqindi gazlarni nazorat qilish zarur, shuning uchun ularni o'rniga elektr forkliftlari ishlatiladi. Yonilg'i hujayrali forkliftlar batareyali forkliftlarga qaraganda ko'plab afzalliklarga ega, chunki ular bir marta vodorod bilan to'ldirilganida butun 8 soatlik smena davomida ishlay olishadi va 3 daqiqada yoqilg'i quyish mumkin. Yonilg'i hujayrali forkliftlar sovuq omborlarda ishlatilishi mumkin, chunki ularning ishlash jarayoni past haroratlardan ta'sirlanmaydi. FC qismlari ko'pincha o'rnatish oson bo'lgan almashtirgichlar sifatida loyihalashtiriladi.

Mototsikllar va velosipedlar

2005-yilda Britaniyaning vodorod bilan ishlaydigan yonilg'i hujayralari ishlab chiqaruvchisi Intelligent Energy (IE) birinchi ishlaydigan vodorodli mototsiklni ishlab chiqardi, u ENV (Emission Neutral Vehicle) deb nomlanadi. Ushbu mototsikl yetarlicha yonilg'iga ega bo'lib, to'rt soat davomida ishlaydi va shahar hududida 160 km (100 milya) masofani bosib o'tishga qodir, maksimal tezligi 80 km/soat (50 mph). 2004-yilda Honda yonilg'i hujayrasi bilan ishlaydigan mototsikl ishlab chiqqan, u Honda FC Stack tizimidan foydalanadi.

Vodorodli yonilg'i hujayralarini ishlatadigan boshqa mototsikllar va velosipedlar orasida Tayvanning APFCT kompaniyasining Acta SpAdan yonilg'i tizimi bilan ishlaydigan skuteri va Suzuki Burgman skuteri bor, u 2011-yilda Yevropa Ittifoqining Butun avtomobil turi sertifikatiga ega bo'ldi. Suzuki Motor Corp. va IE nol emissiya transport vositalarini tijoratlashtirishni tezlashtirish uchun qo'shma korxona tashkil etgan.

Samolyotlar

2003-yilda butunlay yonilg'i hujayrasi bilan ishlaydigan birinchi propellerli samolyot uchirilgan. Yonilg'i hujayrasi ustun dizayni samolyotning aerodinamik yuzalariga integratsiya qilish imkonini berdi. Yonilg'i hujayrasi bilan ishlaydigan uchuvchi bo'lmagan havo vositalari (UAV) orasida 2007-yilda Horizon yonilg'i hujayrasi UAVsi kichik UAV uchun eng uzoq masofani uchib o'tgan. 2008-yil fevralida Boeing tadqiqotchilari va Yevropadagi sanoat hamkorlari yonilg'i hujayrasi va yengil batareyalar bilan ishlaydigan uchuvchi samolyotning eksperimental uchish sinovlarini o'tkazdilar. Bu samolyotda proton almashinuv membranasi (PEM) yonilg'i hujayrasi va litiy-ion batareya gibrid tizimi ishlatilgan, bu tizim elektr motorini quvvatlantirib, odatdagi propellerga ulanadi.

2009-yilda Harbiy-dengiz laboratoriyasining (NRL) Ion Tiger'i vodorodli yonilg'i hujayrasi bilan uchib, 23 soat 17 daqiqa davomida uchgan. Yonilg'i hujayralari, shuningdek, samolyotlarda yordamchi quvvat manbayi sifatida sinovdan o'tkazilmoqda, bu esa ilgari dvigatellarni ishga tushirish va bordagi elektr ehtiyojlarini ta'minlash uchun ishlatilgan fosil yoqilg'i generatorlarini almashtiradi va karbon chiqindilarini kamaytiradi.

2016-yilda Raptor Ei droni yonilg'i hujayrasi bilan muvaffaqiyatli uchish sinovini o'tkazdi, bu uning litiy-ion batareyasini almashtirgan va uchish 10 daqiqa davom etdi, 80 metr (260 fut) balandlikka ko'tarildi, ammo yonilg'i hujayrasining yoqilg'isi ikki soatlik uchish uchun yetarli edi. Yonilg'i hujayrasi 100 dona mustahkam 1 kvadrat santimetr (0.16 kvadrat dyuym) pelletlardan tashkil topgan va past bosimli kartrijda joylashgan.

Kemalar



Dunyoning birinchi sertifikatlangan yonilg'i hujayrali kemasi (HYDRA).

Dunyoning birinchi yonilg'i hujayrali kemasi HYDRA AFC tizimi bilan ishlaydi va 6.5 kV chiquvchi quvvatga ega. Islandiya 2015-yilga kelib o'zining katta baliqchi flotini yonilg'i hujayralari bilan ishlashga tayyorlashni va nihoyat kemalarida asosiy quvvat manbayi sifatida ishlatishni rejalashtirgan edi. Amsterdam yaqinda o'zining birinchi shahar kanallari atrofidagi odamlarni tashiydigan yonilg'i hujayrali kemasini ishga tushirdi.

Suvosti kemalari

Germaniya va Italiya dengiz flotlari zamonaviy harbiy texnologiyalarni o'z ichiga olgan suvosti kemalarini ishlab chiqish va qo'llashda muhim qadam qo'ydi.

Masalan, Germaniyaning U212A suvosti kemalari, "Howaldts-werke Deutsche werft" tomonidan ishlab chiqilgan, yadrodan foydalanmaydigan tizimlari bilan

e'tiborni tortmoqda. Ushbu kema o'zining innovatsion yonilg'i hujayralari bilan ajralib turadi, bu esa unga haftalar davomida yuzaga chiqmasdan suzishga imkon beradi. U212A kema tizimida 9 ta PEM (proton almashinuvi membranasi) yonilg'i hujayrasi mavjud bo'lib, har biri 30 kV dan 50 kV gacha quvvat ishlab chiqaradi. Bu yuqori energiya zichligi va samaradorlik bilan birga, kemaning jim ishlashini ta'minlaydi. Jimlik, albatta, suvosti kemalarining eng katta afzalliklaridan biridir, chunki bu boshqa suvosti kemalarini aniqlashda ustunlik beradi.

Portativ quvvat tizimlari

Portativ yonilg'i hujayralari tizimlari o'zining yengil va yuqori energiya zichligi bilan ajralib turadi, bu esa ularni mobil qurilmalar uchun jozibador variantga aylantiradi. Aksariyat tizimlar 10 kg dan kam og'irlikka ega bo'lib, 5 kVdan kam quvvat ishlab chiqaradi. Ushbu bozorda katta o'sish potentsiali mavjud bo'lib, yiliga 40% gacha o'sish sur'ati va 10 milliard dollarlik bozor hajmi kutilmoqda. Bozor ikki asosiy segmentga bo'linadi: mikro-yonilg'i hujayralar bozorining birinchi guruhi 1–50 V diapazonidagi tizimlar uchun, ikkinchisi esa katta quvvat (1–5 kV) talab qiladigan generatorlar uchun.

Mikro-yonilg'i hujayralari asosan telefonlar va noutbuklar uchun energiya manbai sifatida xizmat qiladi. Ularning energiya zichligi, lity-ion batareyalari bilan solishtirganda, sezilarli afzalliklarga ega. Batareya tizimida zaryadlovchi va batareya o'z ichiga olinadi, yonilg'i hujayrasi tizimida esa hujayra, kerakli yoqilg'i va periferik qurilmalar mavjud. To'liq tizimning energiya zichligi 530 Vh/kg ni tashkil etadi, bu esa lity-ion batareyalarining 44 Vh/kg ko'rsatkichidan ancha yuqori. Ammo hozirgi kunda yonilg'i hujayralari tizimlari qimmatroq bo'lib, bu ularning keng tarqalishiga to'sqinlik qilmoqda.

Telefonlar va noutbuklar uchun quvvat talabining ortishi yonilg'i hujayralarini yanada jozibador variantlarga aylantirishi mumkin. Yoqilg'i hujayralari uzoqroq ishlash vaqti talab qiladigan mobil qurilmalarda muhim o'rin tutishi kutilmoqda. Narxlarining pasayishi va texnologiyalarni takomillashtirish bilan, yonilg'i hujayralarining bozordagi ulushi oshishi mumkin. Masalan, uglerod nanotubalaridan foydalanish mikro-yonilg'i hujayralarining samaradorligini oshirishga yordam beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, nanoquvuzlar elektrod yuzalarini yaxshilab, kislorodning kamayish tezligini oshiradi va yuzaning maydonini sezilarli darajada kengaytiradi.

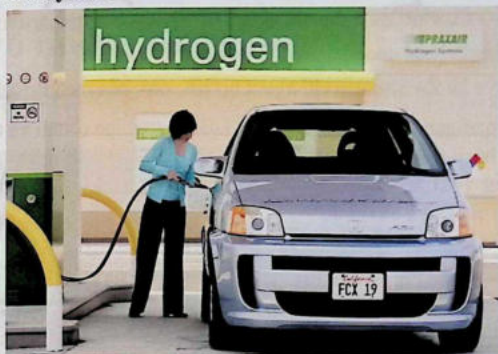
Katta miqyosdagi energiya tizimlari ham o'zining afzalliklarini namoyish etmoqda. Yoqilg'i hujayralari portativ energiya manbalari sifatida dam olish sohasida (karavanlar, kabinalar, dengizchilik), sanoat sohasida (uzoq hududlarda energiya ta'minoti, neft va gaz qazish joylari, aloqa minoralari, xavfsizlik) va harbiy sohalarda keng qo'llanilishi mumkin. SFC Energy kompaniyasi turli xil portativ energiya tizimlari uchun to'g'ridan to'g'ri metanol yonilg'i hujayralarini ishlab chiqaradi. "Ensol Systems Inc" esa ushbu tizimni integratsiya qilib, yuqori sa-

marali energiya yechimlarini taqdim etadi. Bu bozorda yonilg'i hujayralarining asosiy afzalligi – ularning og'irlikka nisbatan yuqori energiya ishlab chiqarish quvvati. Masalan, 72 soatlik sayohat uchun, yonilg'i hujayrasi tizimi faqat 15 funt og'irlikka ega bo'lsa, shunga teng energiya uchun batareyalar 29 funtni tashkil etadi.

Boshqa qo'llanilishlar:

- Baza stansiyalari yoki uyali aloqa stansiyalarini ta'minlash.
- Taqsimlangan energiya ishlab chiqarish.
- Favqulodda energiya tizimlari, ularning tarkibiga yoritish, generatorlar va boshqa jihozlar kiradi, ular favqulodda vaziyatlarda yoki tizimlar ishlamay qolganda zaxira energiya manbai sifatida xizmat qiladi. Bu tizimlar turli xil muhitlarda, jumladan, uylar, kasalxonalar, ilmiy laboratoriyalar, ma'lumot markazlarida qo'llaniladi.
- Telekommunikatsiya uskunalari va zamonaviy harbiy kemalar.
- Beqaror energiya ta'minoti tizimi (UPS), favqulodda energiya ta'minlashni ta'minlaydi va topologiyaga qarab, u tizimga ulangan uskunalarga chiziqli boshqaruvni ta'minlashi mumkin, bu, o'z navbatida, tizimning vaqtincha ishdan chiqishidan himoya qiladi.
- Baza yuklarini ta'minlash uchun energiya stansiyalari.
- Quyosh vodorodi bilan ishlaydigan yoqilg'i hujayrasi bilan suv isitish.
- Gibrid transport vositalari, yoqilg'i hujayrasini ichki yonish dvigateli yoki batareya bilan birlashtirish.
- Portativ kompyuterlar, agar AC quvvat manbai mavjud bo'lmasa, ular uchun ishlatiladi.
- Kichik elektronika uchun portativ quvvat stansiyalari (telefon yoki PDA uchun kamarga o'rnatilgan quvvat manbai).
- Smartfonlar, noutbuklar va planshetlar.
- Kichik isitish qurilmalari.
- Ovqatni saqlash, masalan, yangi baliqni saqlash uchun kislorodni chiqarish va avtomatik ravishda kislorodning kamayishini ta'minlash orqali.
- Nafas olish tahlillari, bu yerda yoqilg'i hujayrasi tomonidan ishlab chiqarilgan voltaj miqdori namunadagi yoqilg'ining (spirt) konsentratsiyasini aniqlash uchun ishlatiladi.
- Uglerod monoksid detektori, elektrokimyoviy sensor.
- Lockheed Martin Skunk Works Stalker kabi UAV (uchishdan yengil bo'ladigan samolyot), an'anaviy batareyalar bilan solishtirganda 8 soatgacha chidamlilikka ega bo'lgan qattiq oksidli yoqilg'i hujayrasi bilan quvvatlanadi.

Yoqilg'i stansiyalari



Vodorod yoqilg'i stansiyasi

2013-yilda "New York Times" nashri butun Qo'shma Shtatlarda faqat 10 ta vodorod stansiyasi mavjudligini xabar qilgan edi: biri Kolumbiya, Janubiy Karolina, sakkizta janubiy Kaliforniyada va biri Emerivildagi. 2016-yil dekabr holatiga ko'ra, AQSHda 31 ta jamoat vodorodni quvvatlash stansiyalari mavjud bo'lib, ulardan 28 tasi Kaliforniyada joylashgan edi.

Islandiyada 2003-yildan 2007-yilgacha jamoat vodorod quvvatlash stansiyasi faoliyat yuritgan. U Reykyavikning jamoat transport tarmog'ida uchta avtobusga xizmat ko'rsatgan. Stansiya o'z vodorodini elektroliz birliklari orqali ishlab chiqaradi. Germaniyada 14 ta stansiya mavjud bo'lib, 2015-yilga qadar ularni 50 taga kengaytirish rejalashtirilgan edi.

2017-yil may oyiga kelib, Yaponiya hududida 91 ta vodorod quvvatlash stansiyalari mavjud edi. 2016-yilda Norvegiya 2017-yildan boshlab, asosiy shaharlar o'rtasida vodorod stansiyalari tarmog'ini qurishni rejalashtirgan edi.

Yarimhujayra

Yarimhujayra elektrokimyoviy hujayraning ikki elektrodidan biridir. Elektrokimyoviy hujayra ikki yarimhujayradan tashkil topgan bo'lib, har bir yarimhujayrada elektrod va elektrolit mavjud. Ikkala yarimhujayralarni birlashtirish uchun tuz ko'prigi yoki bevosita aloqa kerak bo'ladi. Agar ikki yarimhujayra o'rtasida aloqa bo'lmasa, hech qanday reaksiya yuz bermaydi.

Zn-Cu batareyasida ikki yarimhujayra ulanadigan bo'lsa, quyidagi reaksiya yuzaga keladi:

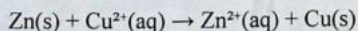
Kislotalanish reaksiyasi katodda amalga oshadi:

$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$ Cu^{2+} oksidlovchi agent bo'lib, Cu esa qisqaruvchi agentdir.

Oksidlash reaksiyasi anodda amalga oshadi:

$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$ Zn qisqaruvchi agent bo'lib, Zn^{2+} esa oksidlovchi agentdir.

Zn dan chiqadigan elektronlar anoddan katod yuzasiga o'tadi va Cu^{2+} ionlarini qisqartirib Cu hosil qiladi. Oksidlash-reduksiya reaksiyasi shunday amalga oshadiki, elektronlar yoki zaryadlar muvozanati umumiy reaksiyada o'rnatiladi. Shu tariqa, umumiy reaksiya quyidagicha bo'ladi:



Anodda oksidlash reaksiyasi va katodda reduksiya reaksiyasi amalga oshadi, shuning uchun Zn/ Zn^{2+} yarimhujayra anod bo'ladi, Cu^{2+} /Cu yarim hujayra esa katod bo'ladi. Umumiy hujayra reaksiyasi tomonidan ishlab chiqarilgan elektrod potentsiali anod va katodda ishlab chiqarilgan potentsiallarni qo'shish orqali hisoblanishi mumkin. Yarimhujayra potentsiali materialning korroziya darajasini o'lchashda muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Electrochemical-reaction, science: britannica.com, Retrieved 29 June, 2019.
2. Danaher, kevin; biggs, shannon; mark, jason (2016). Building the green economy: success stories from the grassroots. Routledge. P. 199. Isbn 978-1317262923.
3. Electrolytic-cell, technology: britannica.com, Retrieved 30 April, 2019.
4. Schmidt-rohr, k. (2018). "howbatteries store and release energy: explaining basic electrochemis try" "j.Chem. Educ." 9S: 1801–1810 , Retrieved 29 March, 2019.
5. Electrochem, chemical: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, Retrieved 2 March, 2019.
6. Hill, marquita k. (2004). Understanding environmental pollution: a primer. Cambridge university press. P. 274. Isbn 0521527260.
7. Schmidt-rohr, k.(2015). "why combustions are always exothermic, yielding about 418 kJper mole of O_2 ", j. Chem. Educ. 92: 2094-2099. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00333>.

Kimyo muhandisligining turli jihatlar

- Kimyoviy reaktor
- Kimyo zavodi
- Transport hodisalar
- Kimyoviy jarayon
- Birlik operatsiyasi
- Loyihalash jarayoni
- Ajratish jarayoni

Kimyo muhandisligining asosiy jihatlaridan ba'zilar ajratish jarayonlari, birlik operatsiyalari, kimyoviy kinetika, jarayonni loyihalash va boshqalardir. Ushbu bo'limda yoritilgan mavzular quyidagi jarayonlar haqida yaxshiroq tushuncha hosil qilishga yordam beradi.

Kimyoviy reaktor

Sanoatda kimyoviy moddalar ishlab chiqariladigan reaktorlar hajmi bir necha cm^3 dan ulkan tuzilmalargacha farq qilishi mumkin. Masalan, ohaktoshdan ohak ishlab chiqaradigan pechlarning balandligi 25 metrdan oshishi va har qanday vaqtda 400 tonnadan ortiq materialni o'z ichiga olishi mumkin.

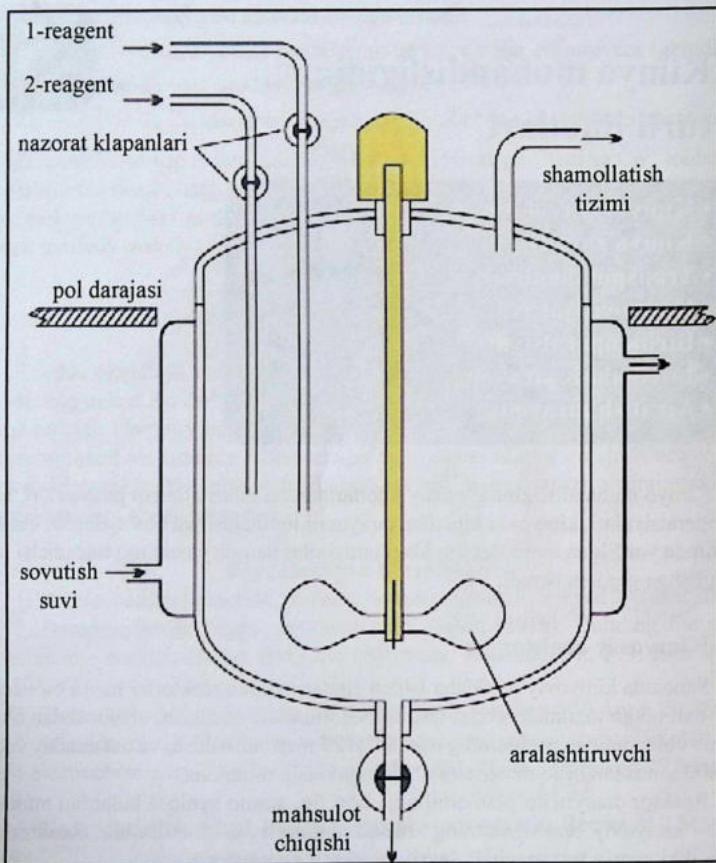
Reaktor dizayni ko'plab omillarga bog'liq, ammo ayniqsa bulardan muhimlari – kimyoviy reaksiyalarning termodinamikasi va kinetikasidir. Reaktorlarning ikki asosiy turi mavjud: davriy harakatli va uzluksiz.

Davriy harakat reaktorlari

Davriy harakat reaktorlari laboratoriyada o'tkaziladigan ko'plab reaksiyalar uchun ishlatiladi. Reagentlar⁵⁶ probirka, kolba yoki stakanga joylashtiriladi. Ular aralashtiriladi, ko'pincha reaksiya sodir bo'lishi uchun qizdiriladi, so'ngra sovutiladi. Mahsulotlar chiqariladi va kerak bo'lsa, tozalanadi.

Ushbu jarayon sanoatda ham amalga oshiriladi, asosiy farq reaktor hajmi va reagentlar miqdoridadir.

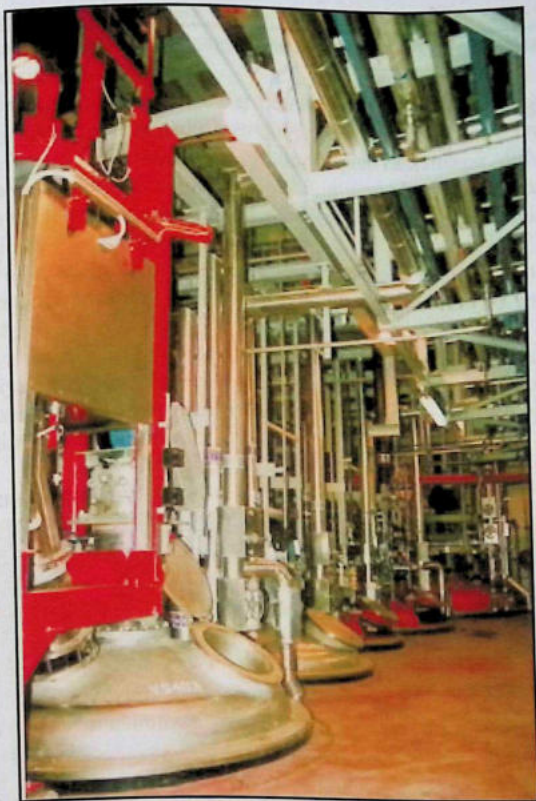
⁵⁶ Reagent kimyoviy reaksiya jarayonida foydalaniladigan moddani bildiradi.



Davriy harakat reaktorini tasvirlash

Reaksiya tugagandan so'ng reaktor tozalanadi va yangi reagentlar partiyasini qo'shishga tayyorlanadi. Davriy harakat reaktorlari odatda kompaniya turli reagentlar va reaktor sharoitlarini talab qiladigan mahsulotlar qatorini ishlab chiqarishni xohlaganida ishlatiladi. Ular ushbu reaksiyalar uchun bir xil uskunadan foydalanishlari mumkin.

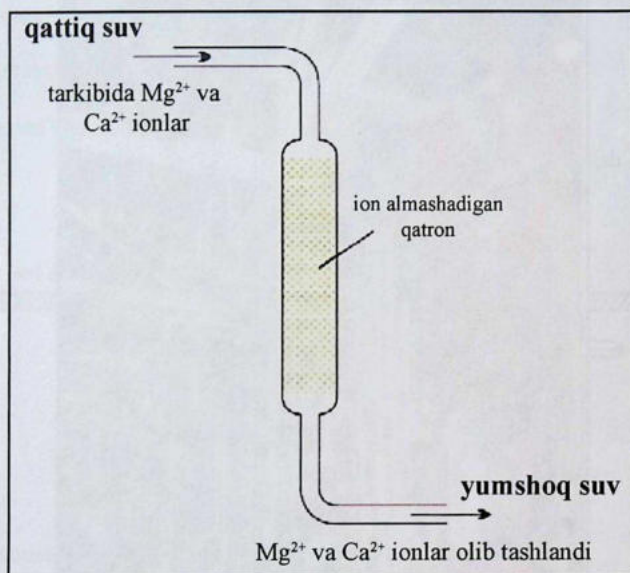
Davriy harakat reaktorlaridan foydalanadigan jarayonlarga bo'yoqlar va margarin ishlab chiqarishni misol qilib keltirish mumkin.



Davriy harakat reaktorida bo'yoqlar ishlab chiqarish. Reaktorning yuqori qismi pol sathida joylashgan bo'lib, reaktorning qolgan qismi uning ostiga osilgan holda turadi.

Uzluksiz reaktorlar

Davriy harakat jarayoniga muqobil sifatida reagentlarni reaktorning bir nuqtasiga doimiy ravishda kiritish, reaksiyaga imkon berish va mahsulotlarni boshqa nuqtadan chiqarib olish usuli mavjud. Reagentlar va mahsulotlarning oqim tezligi teng bo'lishi kerak. Garchi uzluksiz reaktorlar laboratoriyada kam ishlatilsa-da, suv yumshatgichni uzluksiz jarayonning misoli sifatida ko'rish mumkin. Magistraldan qattiq suv ion almashinish qatroni saqlanadigan trubka orqali o'tadi. Reaksiya trubka bo'ylab sodir bo'lib chiqishda yumshoq suv hosil bo'ladi.



Uzlüksiz reaktorni tasvirlash.

Uzlüksiz reaktorlar odatda katta miqdordagi kimyoviy moddalar ishlab chiqarilganda oʻrnatiladi. Reaktor bir necha oy davomida uzluksiz ishlay olishi muhimdir.

Reaktorda boʻlish vaqti reagentlarning reaktorga kiritilish tezligi bilan boshqariladi. Masalan, agar reaktorning hajmi 20 m^3 boʻlsa va reagentlarning kiritilish tezligi $40 \text{ m}^3/\text{soat}$ boʻlsa, boʻlish vaqti $20 \text{ m}^3/40 \text{ m}^3/\text{soat} = 0,5$ soat boʻladi. Reagentlarning oqim tezligini aniq boshqarish oson. Hajm oʻzgarmas boʻlgani uchun reaktordagi boʻlish vaqti ham yaxshi nazorat qilinadi. Uzlüksiz reaktor mahsulot sifati birxilligi bilan ajralib turadi, chunki reaksiya parametrlarini (masalan, boʻlish vaqti, harorat va bosim) partiyali jarayonga qaraganda yaxshiroq nazorat qilish mumkin. Bu reaktorlar, shuningdek, kamroq chiqindi ishlab chiqaradi va xomashyo hamda mahsulotlarni saqlashga kamroq ehtiyoj tugʻdiradi, bu esa samaradorlikni oshiradi. Har bir tonna mahsulot uchun kapital xarajatlar shu sababli kam boʻladi. Biroq, ularning asosiy kamchiligi moslashuvchanlikning yoʻqligi boʻlib, reaktor qurilgandan keyin boshqa kimyoviy reaksiyalarni bajarish uchun foydalanish juda kam uchraydi.

Uzluksiz reaktorlar turlari

Sanoatda uzluksiz reaktorlarning bir necha xilidan foydalaniladi.

(a) Quvursimon reaktorlar:

Quvursimon reaktorda suyuqliklar (gazlar yoki suyuqliklar) yuqori tezlikda oqadi. Reagentlar, masalan, qizdirilgan quvur bo'ylab oqayotganida mahsulotlarga aylanadi. Yuqori tezlik tufayli mahsulotlar orqaga tarqalishga (diffuziyaga) ulgurmaydi va orqaga aralashish juda kam yoki umuman bo'lmaydi. Bunday sharoitlar tiqin oqimi deb ataladi. Bu yon reaksiyalarni kamaytiradi va kerakli mahsulot hosilini oshiradi.

Doimiy oqim tezligi bilan quvur bo'ylab istalgan nuqtadagi sharoit vaqt o'tishi bilan o'zgarmas bo'lib qoladi va reaksiya davomiyligi quvurning uzunligi bo'ylab o'zgartiriladi.

Reaksiya tezligi quvurning kirish qismida yuqori bo'ladi, chunki reagentlar konsentratsiyasi eng yuqori bo'ladi, ammo quvur bo'ylab oqish jarayonida reagentlar konsentratsiyasi kamaygani sababli reaksiya tezligi ham pasayadi.

Quvursimon reaktorga misol:

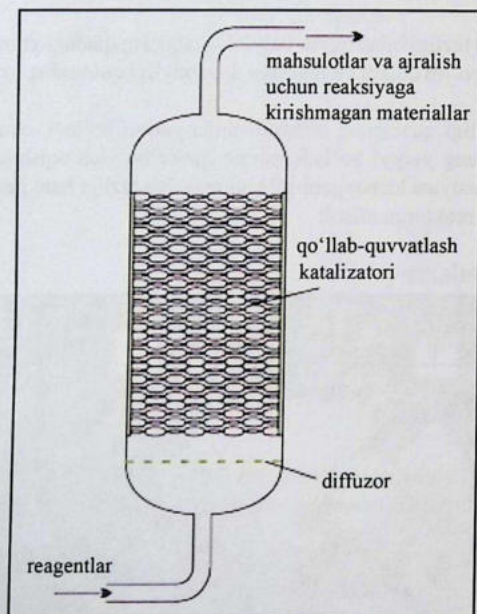


Metil 2-metilpropenoat ishlab chiqarishda ishlatiladigan trubkali reaktor. Reaktor yuqori bosimli bug' yordamida 470 K haroratda qizdiriladi, bu bug' reaktorga 1-nuqta orqali kiritilib, 2-nuqta orqali chiqariladi. Reagentlar quvurlar bo'ylab oqadi.

Quvursimon reaktorlar, masalan, etan, propan, butan va naftani bug' yorilishi-da alkenlarni hosil qilish uchun ishlatiladi.

(b) Qattiq qatlamli reaktorlar:

Sanoatda gazlar ko'pincha qattiq katalizator orqali o'tkaziladi, bu katalizator ko'pincha kichik granularlar shaklida bo'lib, yuzani kattalashtirish uchun ishlatiladi. Bunday tizim qattiq katalizator qatlamiga ega deb tasvirlanadi.



Qattiq qatlamli reaktorni tasvirlash.

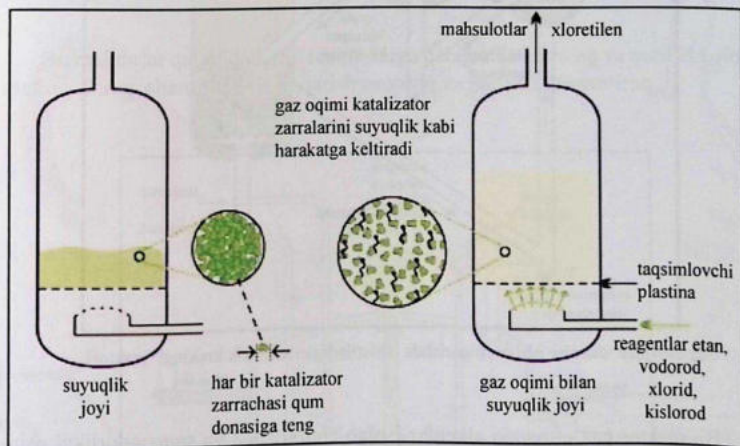
Qattiq qatlamli reaktorlar katalizatorli reaksiyalarda tez-tez qo'llaniladi va samaradorlikni oshirish uchun keng ishlatiladi. Ularning qo'llanilishiga misollar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin: sulfat kislotasini ishlab chiqarish (kontakt jarayoni⁵⁷, katalizator sifatida vanadiy (V) oksidi bilan), azot kislotasini ishlab chiqarish va ammiakni ishlab chiqarish (Haber jarayoni, katalizator sifatida temir bilan).

⁵⁷ Kontakt jarayoni sulfat kislota ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Qattiq qatlamli reaktorga yana bir misol – naftani katalitik qayta ishlash bo‘lib, bunda platina yoki aluminiy oksidi asosidagi platina-reniy qotishmasi yordamida tarmoqlangan zanjirli alkanlar, sikloalkanlar va aromatik uglevodorodlar ishlab chiqariladi.

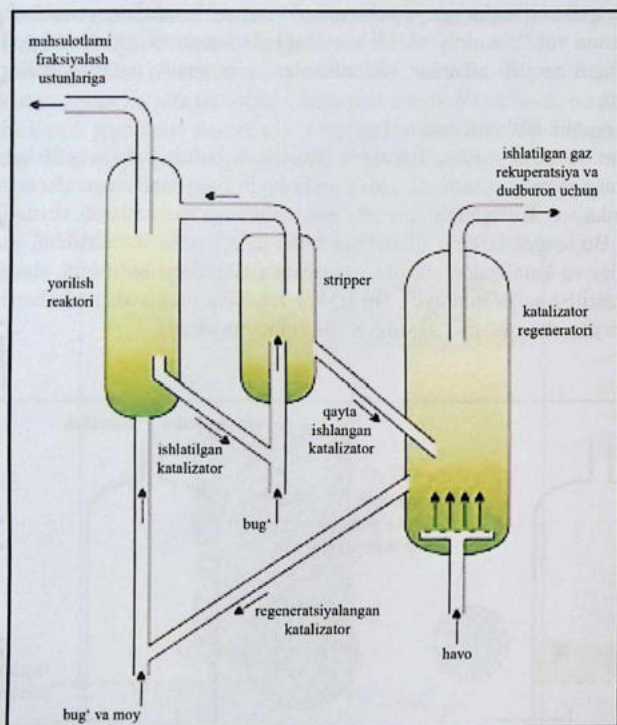
(c) Suyuqlik qatlamli reaktorlar:

Ba‘zan suyuqlik qatlamli reaktor ishlatiladi, bunda juda mayda katalizator zarralari taqsimlovchi plastinka ustida joylashadi. Gazsimon reagentlar taqsimlovchi plastinka orqali o‘tganida, zarralar gaz bilan birga harakatlanib, suyuqlikni hosil qiladi. Bu reagentlarning katalizator bilan juda yaxshi aralashishini, gazsimon molekular va katalizator orasida yuqori darajada aloqa bo‘lishini, shuningdek, issiqlik uzatilishini ta‘minlaydi. Bu tezkor reaksiya va bir xil aralashmani hosil qiladi, jarayon sharoitlari o‘zgaruvchanligini kamaytiradi.



Suyuqlik qatlamli reaktor tasviri. Chap tomonda zarralar tinch holatda, o‘ng tomonda esa gazsimon reagentlar qattiq qatlamdan o‘tganida zarralar suyuqlik sifatida harakatlanayotgani ko‘rsatilgan.

Suyuqlik qatlamli reaktorlarning qo‘llanilishiga bir misol – etilenni oksixlorlash orqali xlorli etilen (vinilxlorid) ishlab chiqarishdir. Bu polimer poli (xlorli etilen) (PVX) ishlab chiqarish uchun asosiy xomashyo hisoblanadi. Katalizator sifatida aluminiy oksidi yuzasiga joylashtirilgan mis(II) xlorid va kaliy xlorid ishlatiladi. Ushbu tayanch juda mayda bo‘lgani uchun gazlar orqali o‘tganda suyuqlik sifatida harakat qiladi.



Gaz moyidan alkenlar ishlab chiqarishda ishlatiladigan katalitik kreking⁵⁸ reaktori.

Bu reaktor gaz moyidan alkenlar ishlab chiqarishda va samaradorlikni oshirishga yordam beradi.

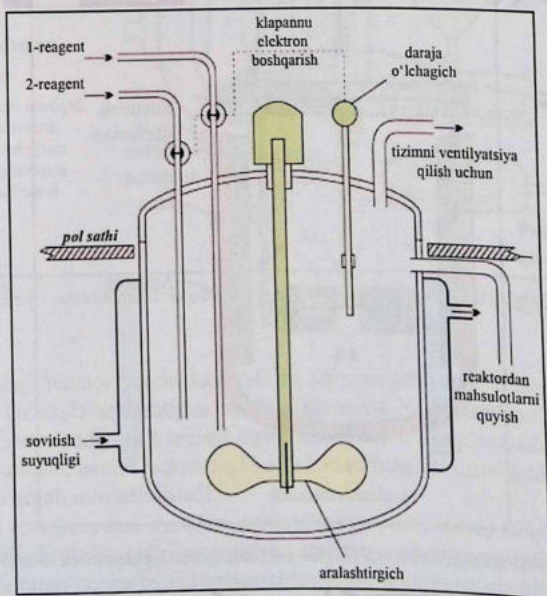
Gaz moyini katalitik kreking qilish orqali alkenlar (etilen va propilen) va yuqori oktanli benzinni ishlab chiqarishning yana bir misoli mavjud. Bu jarayonda kremniy-aluminiy katalizatori qo'llaniladi, lekin katalizator yuzasida tezda uglerod zarralari yig'iladi va katalizator tezda o'z ta'sirini yo'qotadi. Katalizator, suyuqlik shaklida bo'lib, ikkinchi idishga o'tadi, u yerda kuchli qizdirilib (ba'zan qo'shimcha kislorod bilan) uglerod yoqib yuboriladi, so'ngra reaksiya zonasiga qaytariladi va gaz moyi bilan aralashtiriladi.

⁵⁸ **Kreking** (ing. cracking – parchalanish) – neft yoki uning fraksiyasini destruktiv (strukturasini buzib) qayta ishlash jarayoni.



Folidagi katalitik krakerning bir qismi: 1. Butanlarni ajratish va qayta tiklash uchun fraksiyalash ustuni. 2. Katalizatorni regeneratsiya qiluvchi qurilma. 3. Etanni ajratish va qayta tiklash uchun fraksiyalash ustuni.

Bu reaktorlar qattiq qatlamli reaktorlarga qaraganda kattaroq va qurilishi qimmatroq. Biroq, sharoitlarni boshqarish osonroq va jarayon samaraliroq.

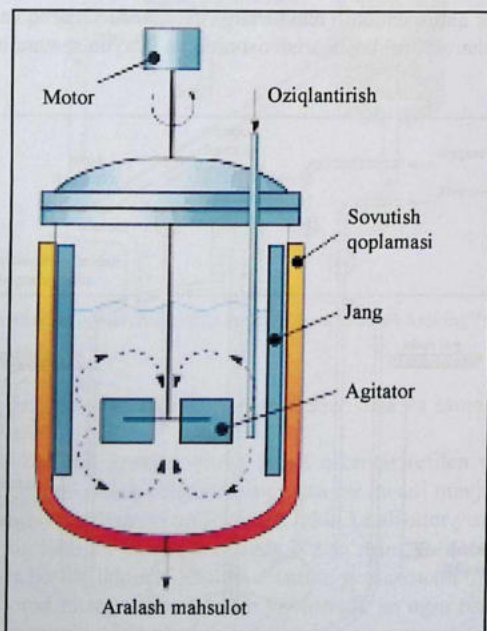


Doimiy aralashtiriluvchi tankli reaktorning chiziqli diagrammada tasviri.

(d) Uzlüksiz aralashtirma tankli reaktorlar:

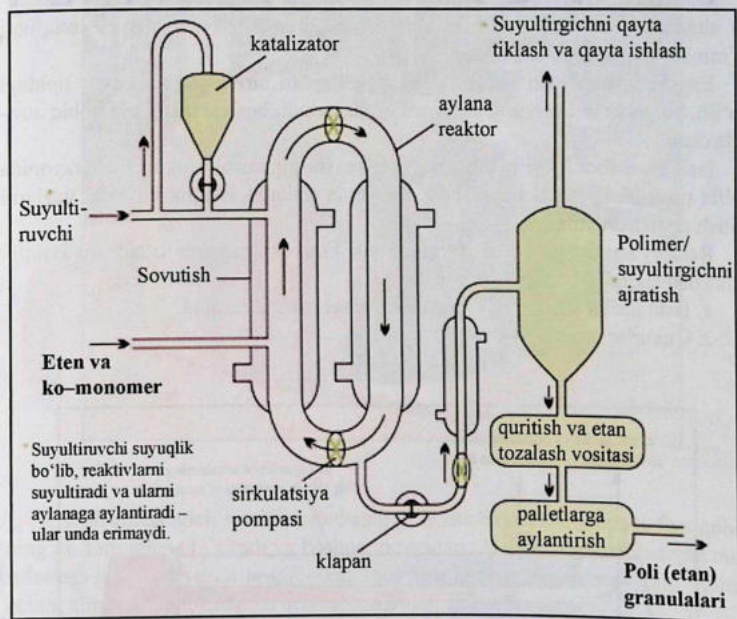
Uzlüksiz aralashtirma tankli reaktorida eritma yoki suspenziya holatidagi bir yoki bir nechta reagentlar aralashtirgich bilan jihozlangan reaktorga kiritiladi va mahsulotlar uzluksiz chiqariladi.

Aralashtirgich reagentlarni yaxshilab aralashtirib, butun hajmda bir xil tarkibni ta'minlaydi. Chiqishdagi tarkib reaktordagi hajmning asosiy tarkibi bilan bir xil bo'ladi. Bu sharoitlar quvurli reaktordagi sharoitlarning teskarisi bo'lib, quvurli reaktorda reagentlar va mahsulotlar deyarli aralashmaydi. Reaktor doimiy holatda ishlashi kerak, ya'ni reaktorga kiruvchi oqim tezligi chiqish oqim tezligiga teng bo'lishi lozim. Aks holda tank bo'shab yoki to'lib ketadi. Bo'lish vaqti tank hajmini o'rtacha hajmiy oqim tezligiga bo'lish orqali hisoblanadi. Masalan, agar reagentlar oqimi $10 \text{ m}^3/\text{soat}$ va tank hajmi 1 m^3 bo'lsa, bo'lish vaqti $1/10$ soat yoki 6 daqiqani tashkil etadi.



Uzlüksiz aralashtirma tankli reaktor, poli(etilen) ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Uzluksiz aralashtirma tankli reaktoridan, masalan, metil 2-metilpropenoat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan amid oraliq birikmasini ishlab chiqarishda foydalaniladi. Sulfat kislotasi va 2-gidroksi-2-metilpropanonitril 400 K haroratda tankka kiritiladi. Reaksiya natijasida hosil bo'lgan issiqlik spiral orqali o'tuvchi sovituvchi suv yordamida chiqariladi. Bo'lish vaqti taxminan 15 daqiqa.



Poli(etilen) ishlab chiqarishda ishlatiladigan loop reaktorning chiziqli diagrammasi.

Bu turdagi reaktor yuqori samarali va barqaror jarayonni ta'minlash uchun ishlatiladi. Uzluksiz aralashtirma tankli reaktorning bir varianti bo'lgan aylana reaktor nisbatan oddiy va qurilishi arzon hisoblanadi. Diagrammada faqat bitta halqa ko'rsatilgan, ammo reaktordagi bo'lish vaqti halqalar uzunligini yoki sonini o'zgartirish orqali moslashtiriladi.

Aylana reaktorlardan, masalan, poli(etilen) va poli(propen) ishlab chiqarishda foydalaniladi. Etilen (yoki propen) va katalizator, odatda uglevodorod bo'lgan suyultirgich bilan bosim ostida aralashtiriladi. Bu aralashma qizdirilib, halqalar bo'ylab aylantiriladi. Polimer zarralari halqalardan birining pastki qismida to'pla-

nib, biroz uglevodorod suyultirgich bilan birga tizimdan doimiy ravishda chiqariladi. Suyultirgich bug'lanadi, qattiq polimer qoladi va keyin sovutilib, suyuqlikka aylanadi va yana halqa tizimiga qayta kiritilib, uglevodorodning aylanishini ta'minlaydi.

Issiqlik almashgichlar

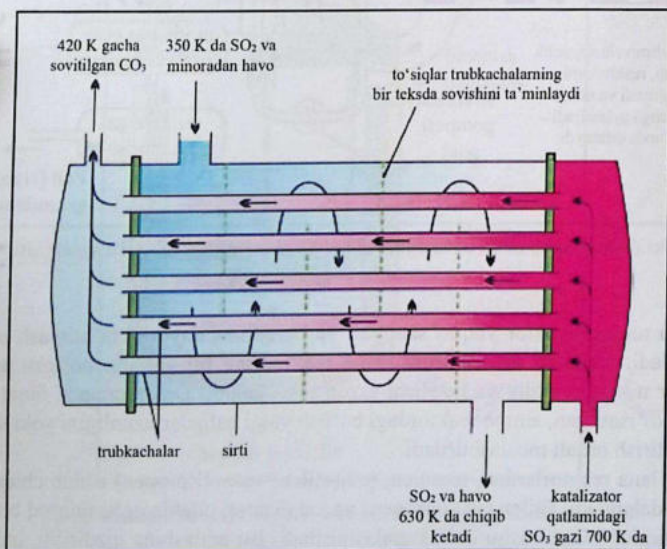
Ko'pgina kimyoviy reaksiyalar yuqori haroratda tezroq sodir bo'ladi va issiqlik almashgichlar odatda reaksiyaning haroratini oshirish uchun zarur issiqlikni ta'minlash maqsadida ishlatiladi.

Eng keng tarqalgan issiqlik almashgichlardan biri qobiq va quvur tipidagi bo'lib, bu yerda jarayonning bir qismi quvur orqali, boshqa qismi esa qobiq atrofida oqadi.

Issiqlik almashinuvi muhim bo'lgan yaxshi bir misol bu kontakt jarayonida sulfat trioksidni ishlab chiqarishdir. Bu yerda ortiqcha issiqlik kiruvchi gazlarni isitish uchun ishlatiladi.

Reaksiya issiqligi quvur devori orqali kiruvchi gazlarga o'tadi va issiqlik o'tkazish tezligi quyidagilarga bog'liq:

1. Issiq gazlar va kiruvchi gazlar orasidagi harorat farqiga.
2. Quvurlar umumiy yuzasiga.



Kontakt jarayonida sulfat trioksid ishlab chiqarishda ishlatiladigan issiqlik almashgich tasviri.

Shunday qilib, zarur issiqlik almashinuvi tezligi almashgich hajmini belgilaydi. Agar kimyoviy reaksiya almashgich ichida sodir bo'lsa (masalan, quvurli reaktorlarda), materiallarning (gaz yoki suyuqlik) issiqlik almashgichdagi bo'lish vaqti hisobga olinishi muhim.

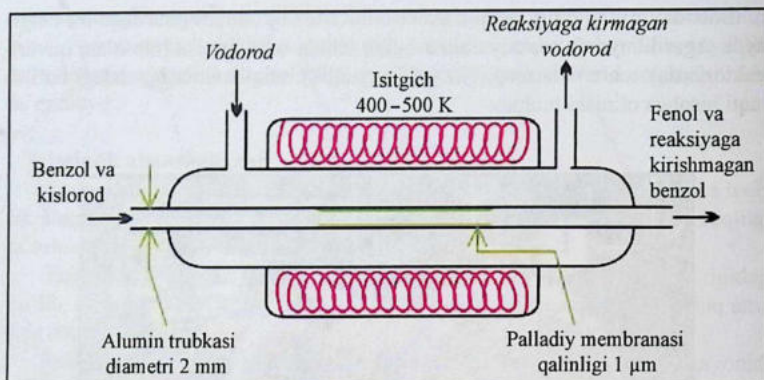


Ushbu almashgich suv bilan mahsulotni sovitish uchun ishlatiladi. Suv qobiqning bir tomoniga (1) kiradi va boshqa tomondan (2) chiqadi. Sovitiladigan mahsulot esa kichik quvurlar orqali oqadi. Sovitish jarayoni samaradorligini oshirish uchun almashgich tozalanish uchun xizmatdan chiqarilgan.

Issiqlik almashgichga yana bir misol distillatsiya ustuni tepasidagi kondensator hisoblanadi. Bu yerda ustun tepasidan chiqayotgan bug'ning issiqligi, masalan, sovituvchi suv yordamida chiqariladi. Bug' sovib kondensatlanadi va suvning harorati oshadi.

Kimyoviy reaktorlarni rivojlantirish

Kelajakda ko'pgina kimyoviy moddalar o'lchami katta ish stoliga teng bo'lgan, mikroreaktor deb nomlangan reaktorlarda ishlab chiqarilishi mumkin. Kichik o'lcham kapital xarajatlarni va har qanday vaqtda ishlatiladigan kimyoviy moddalarning miqdorini kamaytirib, xavfsizroq jarayonni ta'minlaydi.



Benzoldan fenol ishlab chiqarishda ishlatiladigan mikroreaktor.

Mikroreaktor yordamida haroratni doimiy ushlab turish osonroq bo'ladi (chunki ma'lum bir hajmga nisbatan yuzasi ancha katta). Bu, hatto portlash ehtimoli yuqori bo'lgan xushbo'y uglevodorodlarning nitratlanishi kabi juda ekzotermik reaksiyalar uchun ham, issiqlikning atrofga samarali o'tishini ta'minlaydi.

Ko'plab tadqiqotlar mikroreaktorlarni ishlab chiqishga qaratilgan. Bunga misol sifatida benzinni fenolga to'g'ridan to'g'ri aylantirish imkoniyati keltiriladi. Benzin va kislorod aralashmasi alumin quvuri orqali palladiy bilan to'ldirilgan, 350–400 K atrofida ishlaydi va ustidan vodorod gazi o'tkaziladi.

Vodorod alumin quvuridan o'tib, palladiy katalizatori tomonidan atomik vodorodga aylantiriladi. Vodorod atomlari kislorod bilan reaksiyaga kirishib, gidroksil radikallari kabi reaktiv kislorod turlari hosil qiladi, bu radikallar esa benzinga ta'sir qilib, fenol hosil qiladi.

Yana bir rivojlanish tebranish oqimini aralashtirish deb nomlanadi. Kimyo muhandislari reaktorlarni loyihalashtirmoqda, bunda reagentlar reaktor ichida 0,5 dan 15 Hz gacha bo'lgan chastotalarda va 1 dan 100 mm gacha amplitudada aralashtiriladi. Bu reagentlarning juda samarali aralashishini ta'minlaydi, shuningdek, issiqlikni atrof-muhitga uzatish imkonini beradi. Bu kichik miqdordagi materiallar bilan erishish qiyin bo'lgan tiqin oqimidagi sharoitlarga o'xshash sharoitlarni beradi.

Kimyo zavodi

Kimyo zavodi – bu sanoat jarayonlari amalga oshiriladigan korxona bo'lib, odatda yirik miqyosda kimyoviy moddalarni ishlab chiqaradi yoki qayta ishlaydi. Kimyo zavodining asosiy maqsadi materiallarni kimyoviy yoki biologik o'zgartirish va ajratish orqali yangi moddiy boylik yaratishdir.

Kimyo zavodlari ishlab chiqarish jarayonida maxsus uskunalar, texnologiyalar va birliklardan foydalanadi. Polimer, farmatsevtika, oziq-ovqat va ichimlik ishlab chiqarish korxonalari, shuningdek elektr stansiyalari, neftni qayta ishlash zavodlari, tabiiy gazni qayta ishlash, suv va oqova suvni tozalash kabi korxonalar ham kimyo zavodi texnologiyalari bilan o'xshashlikka ega bo'lgan texnologiyalardan foydalanadi.

Neft-kimyo zavodlari odatda transport xarajatlarini kamaytirish uchun neftni qayta ishlash zavodlari yaqinida joylashgan. Maxsus kimyo va nozik kimyo zavodlari esa kichikroq hajmda va joylashuvga nisbatan kamroq sezgir bo'ladi.

Kimyoviy jarayonlar

Kimyo zavodlari o'z faoliyatida kimyoviy jarayonlardan foydalanadi, ya'ni bu xomashyo kimyoviy moddalarini mahsulotlarga aylantiruvchi sanoat usullaridir. Kimyoviy jarayon bir necha zavodda qo'llanilishi mumkin, lekin har bir zavod turli miqyosdagi ishlab chiqarish quvvatiga ega bo'ladi. Zavodlar bir joyda bir nechta kimyoviy jarayonlarni qo'llab, bir necha turdagi mahsulotlar ishlab chiqarishi mumkin.

Kimyo zavodlarida odatda katta hajmdagi idishlar bo'lib, ular quvurlar va boshqa materiallarni tashuvchi uskunalar bilan o'zaro bog'langan. Ushbu oqimlar gaz, suyuqlik yoki qattiq moddalar aralashmasi bo'lishi mumkin.

Kimyoviy jarayonlar ikki xil usulda amalga oshiriladi

1. Batareyali usul:

Bu usulda ishlab chiqarish alohida bosqichlarda amalga oshiriladi. Dastlab xomashyo jarayonga kiritiladi, kimyoviy jarayon o'tkaziladi va so'ng mahsulot olinadi. Bu usul farmatsevtika yoki maxsus kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishda ko'proq qo'llaniladi.

Uzluksiz usul:

Bu usulda jarayonning barcha bosqichlari bir vaqtda davom etadi. Xomashyo va mahsulot oqimlari uzluksiz harakatda bo'lib, jarayon uzluksiz davom etadi. Uzluksiz usul odatda yirik kimyoviy va neft-kimyo zavodlarida qo'llaniladi.

Barqaror holat va uzluksiz ishlash

Barqaror holat yoki yaqin barqaror holat kimyoviy jarayon davomida vaqt o'tishi bilan jarayon bilan bog'liq miqdorlarning o'zgarmasligini anglatadi. Bu o'zgarmas miqdorlarga oqim tezligi, isitish yoki sovitish tezligi, haroratlar, bo-

simlar va ma'lum nuqtalardagi kimyoviy tarkiblar kiradi. Uzluksiz ish jarayoni ko'pincha yirik miqyosdagi operatsiyalarda, masalan, neftni qayta ishlash zavodlarida samaraliroq hisoblanadi. Kimyoviy zavodda ayrim bo'limlar uzluksiz ishlashi, boshqalari esa batareya usulida ishlashi mumkin.

Kimyoviy zavod yoki biror birlikning ma'lum vaqt ichida qancha asosiy xomashyo yoki mahsulotni qayta ishlashi mumkinligi uning sig'imi deb ataladi. Masalan, neftni qayta ishlash zavodining sig'imi kuniga qayta ishlanadigan xom neft barrelida ko'rsatilishi yoki kimyo zavodining sig'imi kuniga ishlab chiqariladigan mahsulot tonnalari bilan ifodalanishi mumkin. Zavodning kundalik ish jarayonida u odatda to'liq sig'imning foizida ishlaydi. Muhandislar odatda suyuqliklar bilan ishlaydigan zavodlar uchun 90% ishlash vaqtini, qattiq moddalar bilan ishlaydigan zavodlar uchun esa 80% ishlash vaqtini hisobga oladilar.

Qurilmalar va suyuqlik tizimlari

Ma'lum bir birlashmalar maxsus birliklarda amalga oshiriladi. Ba'zi birliklar atrof-muhit harorati yoki bosimida ishlashi mumkin bo'lsa-da, ko'plab birliklar yuqori yoki past haroratlar yoxud bosimlarda ishlaydi. Kimyoviy zavodlardagi idishlar ko'pincha silindrsimon bo'lib, ularning uchlari yumaloq shaklda bo'ladi, bu shakl yuqori bosim yoki vakuumni ushlab turish uchun mos bo'lishi mumkin. Kimyoviy reaksiyalar kimyoviy reaktorlar yordamida ba'zi birikmalarni boshqa birikmalarga aylantirishi mumkin. Kimyoviy reaktorlar to'ldirilgan yotqizmalar bo'lishi, ular orqali suyuqlik oqishi jarayonida reaktor ichida qotib qolgan geterogen katalizatorlar mavjud bo'lishi yoki oddiy stirlangan idishlarda reaksiyalar sodir bo'lishi mumkin. Qattiq geterogen katalizatorlarning yuzasi ba'zan "zaharlanishi" mumkin, masalan, koks kabi cho'kindi moddalar tufayli, shuning uchun katalizatorlarni tiklash kerak bo'lishi mumkin. Ba'zi holatlarda yaxshi aralashishni ta'minlash uchun suyuqlashtirilgan yotqizmalar ham ishlatilishi mumkin. Boshqa birliklar (yoki kichik birliklar) aralashtirish (shu jumladan, eritish), ajratish, isitish, sovitish yoki ularning ba'zi kombinatsiyasi uchun mavjud bo'lishi mumkin. Masalan, kimyoviy reaktorlar ko'pincha aralashtirish uchun aralashtirish va haroratni saqlash uchun isitish yoki sovitish tizimiga ega bo'ladi. Katta miqyosdagi zavodlarni loyihalashda kimyoviy reaksiyalar tomonidan ishlab chiqarilgan yoki yutilgan issiqlikni hisobga olish kerak. Ba'zi zavodlar biokimyoviy jarayonlar, masalan, fermentatsiya⁵⁹ yoki ferment ishlab chiqarish uchun organizm ishlovlari-ga ega bo'lishi mumkin.

⁵⁹ **Fermentatsiya** – tegishli mikroorganizm turlari ishlab chiqaradigan fermentlar ta'sirida xomashyo moddalar (uzum shirasi, choy, tamaki barglari)ni qayta ishlashdagi biokimyoviy jarayon; achish, bijg'ish, achitish.

Ajratish jarayonlariga filtratsiya, cho'kish (sedimentatsiya), ekstraksiya yoki yuvish, distillatsiya, qayta kristallanish yoki quyqalanish (keyin filtratsiya yoki cho'kish), teskari osmos⁶⁰, quritish va shimib olish kiradi. Issiqlik almashuvchilar ko'pincha isitish yoki sovitish uchun, shu jumladan qaynatish yoki kondensatsiya, ko'pincha distillatsiya⁶¹ minoralari kabi boshqa birliklar bilan birgalikda ishlatiladi. Xomashyo, oraliq yoki yakuniy mahsulotlar yoki chiqindilarni saqlash uchun saqlash tanklari bo'lishi mumkin. Saqlash tanklarida odatda ularning to'liq darajasini ko'rsatadigan daraja ko'rsatkichlari mavjud. Ba'zan saqlash tanklari ko'plab bo'lgan o'sha bir qismlarga zavod yoki inshoot hududi tanklar fermasi deb ataladi, ayniqsa neft omborida.



Distillatsiya qurilmasi va suyuqlik tizimlari.

⁶⁰ **Osmos** (yun. *osmos* – turki, bosim) – erituvchining eritma bilan erituvchi orasiga yoki konsentratsiyasi turlicha bo'lgan ikkita eritma orasiga qo'yilgan yarimo'tkazgichli parda orqali o'tishi hodisasi.

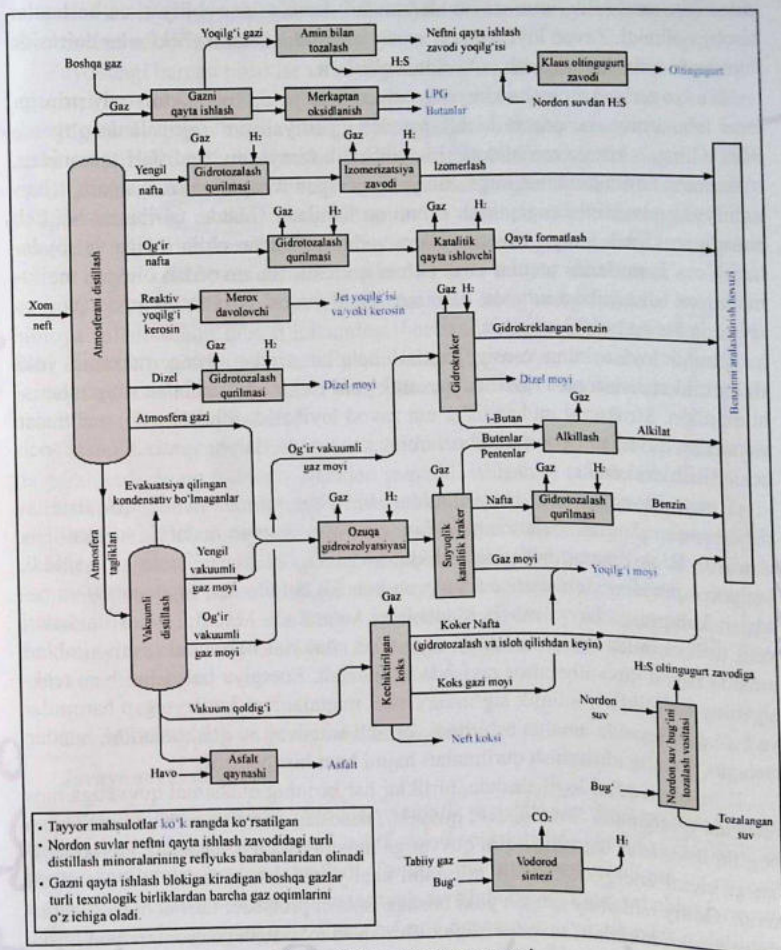
⁶¹ **Distillatsiya** – suyuqliklarni, suyuq aralashmalarni bug'ga aylantirib, sof tarkibiy qismlarga ajratish, tozalash.

Suyuqlik va gazlarni tashish uchun ishlatiladigan tizimlar turli diametrdagi quvurlar va trubkalarni, oqimni boshqarish yoki to'xtatish uchun turli turdagi klapanlarni, suyuqlikni harakatlantirish yoki bosim hosil qilish uchun nasoslarni hamda gazlarni bosim ostida saqlash yoki harakatlantirish uchun kompressorlarni o'z ichiga oladi. Yuqori yoki juda past haroratda ishlaydigan idishlar, quvurlar, trubkalar va boshqa uskunalar odatda xodimlarning xavfsizligini ta'minlash va ichkaridagi haroratni ushlab turish uchun izolatsiya bilan qoplangan bo'ladi.

Suyuqlik tizimlari va qurilmalarda odatda o'simlikning muayyan joylarida o'rnatilgan harorat va bosim datchiklari, oqimni o'lchash qurilmalari kabi instrumentlar bo'ladi. Onlayn analizatorlar kimyoviy yoki fizik xususiyatlarni tahlil qilish uchun ko'proq qo'llanilmoqda. Ba'zan erituvchilar reaksiya moddalari va qattiq moddalarni eritish, ularni ekstraksiya yoki yuvib chiqarish, bundan tashqari ma'lum kimyoviy reaksiyalarni amalga oshirish uchun mos muhitni ta'minlashga yoki boshqa holatlarda suyuqlik sifatida ishlatilishi uchun ham qo'llaniladi.

Kimyo zavodini loyihalash

Hozirgi kunda kimyo zavodlarini loyihalashning asosiy jihatlari kimyo muhandislari tomonidan amalga oshiriladi. Tarixda bu doim ham bunday bo'lmagan va kimyo zavodlari kimyo muhandisligi sohasi shakllanmasidan oldin ko'p hollarda tartibsiz tarzda qurilgan. Kimyo muhandisligi 1887-yilda Buyuk Britaniyada birinchi marta kasb sifatida tan olingan va o'sha yili Manchester universitetida Jorj E. Devis tomonidan sanoat kimyo amaliyotining turli jihatlarini o'z ichiga olgan 12 ta ma'ruza shaklida kimyo muhandisligi kursi o'qitilgan. Shu sababli, Jorj E. Devis dunyodagi birinchi kimyo muhandisi sifatida tan olingan. Bugungi kunda kimyo muhandisligi mustaqil kasb hisoblanadi va tajribaga ega bo'lgan professional kimyo muhandislari Kimyo muhandislari instituti (Institution of Chemical Engineers) orqali "Chartered" (sertifikatlangan) muhandis maqomini olishlari mumkin.



Zavod loyihasida odatda yangi loyihalar uchun taklif qilingan g'oyalarning bir foizidan kamrog'i tijoratlashtiriladi. Ushbu qarorlar jarayonida, odatda, rentabellikni ta'minlamaydigan loyihalar chiqarib tashlash uchun dastlabki sarflar tahlil qilinadi. Agar jarayon foydali ko'rinayotgan bo'lsa, unda boshqa omillar, misol

tariqasida, xavfsizlik, atrof-muhit cheklovlari, boshqaruv qobiliyati va boshqalar hisobga olinadi. Zavod loyihasidagi asosiy maqsad – kerakli cheklovlar doirasida “optimal loyiha”larni qurish yoki sintez qilishdir.

Kimyogarlar ko‘pincha kimyoviy reaksiyalar yoki boshqa kimyoviy prinsiplarni laboratoriyada, odatda kichik hajmda, “partiyali tur” tajribalarda o‘rganadilar. Olingan kimyo ma’lumotlari keyinchalik kimyo muhandislari tomonidan, o‘zlarining tajribalari bilan birga, kimyoviy jarayonni qayta ishlash va partiya hajmini yoki quvvatini kengaytirish uchun qo‘llaniladi. Odatda, tajriba zavodi deb ataladigan kichik kimyo zavodi yirik zavodni qurishdan oldin loyiha va foydalanish ma’lumotlarini taqdim etish uchun quriladi. Bu zavoddan olingan ma’lumotlar va ish tajribasi asosida, kattaroq zavod yuqori yoki to‘liq quvvatga mos ravishda loyihalaniishi mumkin.

Zavod loyihasining asosiy jihatlari belgilanganidan so‘ng, mexanik yoki elektr muhandislari mos ravishda mexanik yoki elektr jihatlari bilan shug‘ullanishi mumkin. Struktural muhandislar esa zavod loyihasida ishtirok etib, tuzilmalar uskunalar, quvurlar va boshqa jihozlarning vaznini qo‘llab-quvvatlashiga ishonch hosil qilishlari kerak.

Kimyo zavodlari yoki jarayonlaridagi birliklar, oqimlar va suyuqlik tizimlari blok oqim diagrammalarida yoki jarayon oqim diagrammalarida ko‘rsatilishi mumkin. Blok diagrammalarida birliklar ko‘pincha bloklar sifatida ko‘rsatiladi, jarayon oqim diagrammalari esa ko‘proq batafsil belgilardan foydalanadi va nasoslar, kompressorlar va asosiy klapanlarni ko‘rsatadi. Material oqim stavkalari yoki turli oqimlar uchun taxminiy qiymatlar, material balanslari hisob-kitoblari asosida zavod quvvatiga mos ravishda aniqlanadi. Energiya balanslari ham reaksiyaning issiqliklari, issiqlik sig‘imlari, turli nuqtalardagi kutilayotgan haroratlar va bosimlar asosida amalga oshiriladi, kerakli isitish va sovitish miqdori, bundan tashqari, issiqlik almashish qurilmalari hajmi ham hisoblanadi.

Kimyo zavodini loyihalashda, birliklar har birining maksimal quvvatiga mos ravishda o‘lchanadi. Shuningdek, quvurlar, nasoslar, kompressorlar va ular bilan bog‘liq uskunalar ularning oqim quvvatiga mos ravishda o‘lchanadi. Zavod loyihasiga elektr energiyasi va suv ta‘minoti kabi yordamchi tizimlar ham kiritilishi kerak. Oddiy ishlamay qolgan yoki boshqa ishlash protseduralari uchun qo‘shimcha quvurlar, masalan, zavodni ishga tushirish va to‘xtatish jarayonlari ham kiritilishi kerak. Suyuqlik tizimi loyihasida odatda turli birliklar yoki zavod qismlarini izolatsiya qilish uchun izolatsiya klapanlari qo‘yiladi, shunda muammolar yuzaga kelganda, bir qismini izolatsiya qilishi mumkin. Agar pnevmatik yoki gidravlik tarzda ishlaydigan klapanlar ishlatilsa, aktuatorlarga bosim keltirish uchun bosimli quvurlar tizimi kerak bo‘ladi. Agar jarayon namunalari olish kerak bo‘lsa, namunalarni olish uchun quvurlar, klapanlar va ularga kirish nuqtalari batafsil loyihaga kiritilishi kerak. Agar zarur bo‘lsa, namunalar oqimining yuqori bosimi yoki

haroratini kamaytirish uchun bosimni kamaytirish klapanlari yoki namunani sovitish tizimlari ta'minlanishi kerak.

Zavoddagi barcha birliklar va suyuqlik tizimlari, shu jumladan barcha idishlar, quvurlar, trubkalar, klapanlar, nasoslar, kompressorlar va boshqa uskunalar, ularning kutilayotgan barcha bosimlar, haroratlar va boshqa sharoitlar, shu jumladan xavfsizlik omillari uchun to'g'ri materiallar bilan moslashtirilgan bo'lishi kerak. Barcha uskunalar uzoq vaqt davomida ular bilan aloqada bo'lishi mumkin bo'lgan kimyoviy moddalarning ishlashini ta'minlash uchun materiallar bilan mosligini tekshirish kerak. Har qanday yopiq tizimda, uskunaning reytingidan yuqori bosim keltirib chiqarishi mumkin bo'lgan isitish, ekzotermik reaksiyalar yoki ba'zi nasoslar yoki kompressorlar kabi holatlarda, ortiqcha bosimdan himoya qilish uchun mos o'lchamdagi bosimni kamaytirish klapanlari qo'yilishi kerak. Ko'pincha barcha bu parametrlar (haroratlar, bosimlar, oqimlar va boshqalar) xavf-xatarni aniqlash yoki "Hazop" yoxud "Xatolar daraxti" tahlili orqali batafsil tahlil qilinadi.

Zavodda har qanday cheklovlar bo'lishi mumkin bo'lgan sharoitlarda, loyiha parametrlarining iqtisodiy jihatdan samarali ishlashini ta'minlash, xavfsizlik va xodimlar hamda atrof-muhitni himoya qilishni kafolatlash maqsadida optimallashtiriladi. Xomashyo yoki iqtisodiy sharoitlar o'zgarishi va qayta optimallashtirish zarurati yuzaga kelganda, boshqaruv qulayligi uchun, zavod optimallashtirilgan loyiha parametrlariga mos ravishda ishlash uchun loyiha qilinishi mumkin. Hozirgi davrda esa, kimyo zavodini loyihalash yoki optimallashtirishda kompyuter simulatsiyalari yoki boshqa kompyuter hisoblashlaridan foydalinish keng tarqalgan.

Zavodni ishlatish va jarayonni boshqarish

Jarayonni boshqarish

Jarayonni boshqarishda, zavodda avtomatik ravishda yig'ilgan ma'lumotlar va zavod ishini yurgizish uchun turli uskunalarni boshqarishda har xil sensorlar yoki boshqa qurilmalardan foydalaniladi. Bunday ma'lumotlarni oladigan va nazorat signalini yuborib, bu funksiyani avtomatik ravishda bajaradigan asboblari jarayonni boshqaruvchi qurilmalardir. Ilgari ba'zida pnevmatik boshqaruvlar ishlatilgan, hozirda esa elektr boshqaruvlari keng tarqalgan. Zavodda ko'pincha boshqaruv xonasi bo'lib, unda asosiy haroratlar, bosimlar, suyuqlik oqimi va darajalari, asosiy klapanlar, nasoslar va boshqa uskunalarning ish holatlari kabi parametrlar ko'rsatiladi. Shuningdek, boshqaruv xonasidagi operatorlar zavod ishining turli jihatlarini boshqarishlari mumkin, ko'pincha avtomatik boshqaruvni ortda qoldirishni o'z ichiga oladi. Kompyuter bilan jarayonni boshqarish zamonaviy texnologiyani anglatadi. O'zgargan xomashyo tarkibi, o'zgargan mahsulot talablari va

iqtisodiy sharoitlari yoki boshqa cheklovlarga asoslanib, ishlash sharoitlari qayta optimallashtirilishi mumkin, bu esa foydani maksimal darajaga chiqarishga yordam beradi.

Ishchilar

Har qanday sanoat muhitida bo'lgani kabi, kimyo zavodida ham turli ishchilar mavjud bo'lib, ular ko'pincha bo'limlar, seksiyalar yoki boshqa ish guruhlariga taqsimlangan. Bunday ishchilar odatda muhandislar, zavod operatorlari va texnik xodimlar kabilar bo'ladi. Saytda kimyogarlar, boshqaruv/ma'muriyat va ofis ishchilari ham faoliyat yuritishi mumkin. Jarayonda yoki texnik xizmat ko'rsatishda ishtirok etadigan muhandislar qatoriga kimyoviy jarayon muhandislari, mexanik uskunalarini saqlovchi muhandislar va elektr/kompyuter uskunalarini muhandislar kiradi.

Transport

Katta miqdordagi suyuq xomashyo yoki mahsulotlar zavodga quvur, temiryo'l tankeri, yuk avtomobillari orqali kirishi yoki chiqishi mumkin. Masalan, neft odatda qayta ishlash zavodiga quvur orqali keladi. Quvurlardan, shuningdek, neftni qayta ishlash zavodidan yaqin atrofdagi neft-kimyo zavodiga tashish uchun ishlatilishi mumkin. Tabiiy gaz – bu tabiiy gazni qayta ishlash zavodidan oxirgi iste'molchilargacha quvurlar orqali uzatiladigan mahsulotdir. Katta miqdordagi suyuq xomashyo odatda jarayon birliklariga nasos yordamida uzatiladi. Kichikroq xomashyo yoki mahsulot miqdorlari odatda bochkada zavodga olib kelinadi yoki undan tashiladi. 55 gallon sig'imli bochkalardan foydalanish sanoat miqyosidagi kimyoviy moddalarni qadoqlashda keng tarqalgan. Kichikroq xomashyo partiyalari bochkadan yoki boshqa idishlardan jarayon birliklariga ishchilar tomonidan qo'shilishi mumkin.

Texnik xizmat ko'rsatish

Zavodni ishga tushirish va ishlatish, mahsulotni qadoqlash yoki jo'natishga tayyorlashdan tashqari, zavod ishchilari muntazam ravishda nosozliklarni aniqlash uchun namunalar olishlari hamda muntazam va nosoz texnik xizmat ko'rsatishlari kerak. Muntazam texnik xizmatga katalizatorlarni, analizator reagentlarini, turli sensorlarni yoki mexanik qismlarni davriy tekshirish va almashtirish kirishi mumkin. Nosoz texnik xizmatga muammolarni o'rganish va tuzatish kiradi, masalan, o'qish, xomashyo yoki mahsulot spetsifikatsiyalariga mos kelmaslik, mexanik nosozliklar (klapanlar, nasoslar, kompressorlar, sensorlar va boshqalar).

Me'yoriy va tartibga solish talablari

Kimyoviy moddalar bilan ishlashda xavfsizlik muhim ahamiyatga ega, chunki kimyoviy avariya kabi muammolarning oldini olish kerak. AQSHda qonun kim-

yoviy moddalar bilan ishlayotgan ishchilarga Materiallar xavfsizligi ma'lumotnomasi (MXM)ga kirish huquqini berishni talab qiladi. MXM ma'lum bir kimyoviy moddalar uchun tayyorlanadi va kimyoviy moddani sotib olgan har qanday shaxsqa taqdim etiladi. Kimyoviy xavfsizlik, xavfli chiqindilar va ifloslanish bilan bog'liq boshqa qonunlar ham bajarilishi kerak, jumladan resurslarni qayta tiklash to'g'risidagi qonun va Zaxarli moddalar bilan ishlashni boshqarish to'g'risidagi qonun, shuningdek, AQSHda Kimyoviy obyektlarga qarshi terrorizmga qarshi standartlar kabi reglamentlar. Xavfli moddalar guruhlari kimyoviy oqishlar yoki to'kilmalarga qarshi kurashishga tayyorlanadi. Jarayon xavfi tahlili kimyo zavodlaridagi potensial xavflarni baholash uchun ishlatiladi. AQSHda 1998-yilda Kimyoviy xavfsizlik va xavf-xatarlarni tekshirish kengashi ishga tushdi.

Zavod quvvati

Zavodning haqiqiy ishlab chiqarish yoki jarayon qismi yopiq joyda, ochiq havoda yoki ularning kombinatsiyasida bo'lishi mumkin. Bu an'anaviy yog'och bilan qurilgan zavod yoki modulli sirpang'ich bo'lishi mumkin. Katta modulli sirpang'ichlar, ayniqsa muhandislikning ajoyib yutuqlaridir. Modulli sirpang'ich, an'anaviy yog'och zavodning bajarishi kerak bo'lgan ishni bajarish uchun zarur barcha modulli uskunalarni o'z ichiga olgan holda quriladi. Biroq, modulli sirpang'ich po'lat strukturasi ramkasi ichida quriladi, bu esa uni saytga qayta qurish zaruriyati bo'lmasdan yuborishga imkon beradi. Modulli sirpang'ich qurilishi yuqori darajadagi ishlashni ta'minlaydi, chunki modulli sirpang'ich jarayonini saytga o'rnatishda kamroq ishchilar kerak bo'ladi, bu esa tasodifiy hodisalar xavfini minimallashtiradi. Zavodning haqiqiy ishlab chiqarish qismi ko'pincha sanoat muhitiga o'xshash ko'rinishga ega bo'ladi. Ko'pincha qo'lqop va ish poyabzali kiyiladi. Pol va zinapoyalar odatda metall panjara bilan qoplangan bo'lib, deyarli bezaklar mavjud bo'lmaydi. Shuningdek, tozalikni nazorat qilish yoki chiqindilarni qayta ishlash uskunalari bo'lishi mumkin. Ba'zan mavjud zavodlar o'zgargan iqtisodiy sharoitlar, xomashyo yoki mahsulot ehtiyojlari asosida kengaytirilishi yoki o'zgartirilishi mumkin. Boshqa ishlab chiqarish inshootlarida bo'lgani kabi, bu yerda yuk tashish va qabul qilish hamda saqlash inshootlari bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, odatda ishlab chiqarishni qo'llab-quvvatlaydigan ba'zi boshqa inshootlar, ko'pincha yopiq joylarda bo'lishi kerak. Biroq, ba'zi oddiy namunalar tahlilini zavod hududidagi operatsiyalar texnikalari amalga oshirishi mumkin bo'lsa-da, kimyo zavodida odatda kimyogarlar zavoddan olingan namunalarni tahlil qiladigan laboratoriya bo'ladi. Bunday tahlil kimyoviy tahlil yoki jismo-niy xususiyatlarni aniqlashni o'z ichiga olishi mumkin. Namuna tahlili, zavodga kirib keladigan xomashyo, oraliq va yakuniy mahsulotlar bo'yicha sifat nazorati kabi muntazam ishlarni o'z ichiga olishi mumkin, bu esa sifat spetsifikatsiyalariga muvofiqligini ta'minlashga yordam beradi. Nosozliklarni aniqlash uchun ham, jarayondagi muammolarni tekshirish maqsadida namunalar olinib tahlil qilinishi

mumkin. Katta kimyo kompaniyasida, mahsulotlar va jarayonlarni ishlab chiqish va sinovdan o'tkazish uchun tadqiqot laboratoriyasi ham, tajriba zavodlar ham mavjud bo'lishi mumkin, ammo bunday laboratoriya ishlab chiqarish zavodlaridan ajratilgan joyda joylashgan bo'lishi kerak.

Zavodda ta'mirlash yoki texnik xizmat ko'rsatish uskunalarini saqlash uchun ustaxonalar yoki texnik xizmat ko'rsatish inshootlari bo'lishi mumkin. Shuningdek, odatda muhandislar, boshqaruv yoki ma'muriyat uchun ba'zi ofis joylari bo'lishi va ehtimol, tashrif buyuruvchilarni kutib olish uchun ham joylar bo'lishi tabiiy. Bunday joylarning jihozlanishi odatda ofis muhitiga o'xshash bo'ladi.

Tovar-kimyo zavodlarining klasterlanishi

Asosan tovar-kimyo va neft-kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan kimyo zavodlari, butun dunyo bo'ylab nisbatan oz sonli ishlab chiqarish joylarida joylashgan bo'lib, asosan infratuzilma ehtiyojlariga bog'liq. Bu, maxsus yoki nozik kimyo partiyalarini ishlab chiqaradigan zavodlar uchun unchalik muhim emas. Barcha tovar /neft-kimyoviy moddalar bir joyda ishlab chiqarilmaydi, balki tegishli materiallar guruhlarini ko'pincha bir joyda ishlab chiqariladi, bu esa sanoat simbiozini rivojlantirishga, materiallar, energiya va foyda samaradorligini oshirishga va boshqa masshtab iqtisodiyotlarini ta'minlashga yordam beradi. Ushbu ishlab chiqarish joylari odatda bir-biriga bog'langan kimyo zavodlari guruhlarini bo'lib, ular umumiy kommunal xizmatlar va katta miqyosdagi infratuzilma (masalan, energiya stansiyalari, port inshootlari, yo'l va temiryo'l terminallari)ni ulashadi.

Masalan, Buyuk Britaniyada tovar-kimyo ishlab chiqarish uchun to'rt asosiy joy mavjud: Shimoliy-g'arbiy Angliyadagi Mersey daryosi bo'yida, Sharqiy Yorkshirdagi Hamberda, Shotlandiyadagi Fert of Fort yaqinidagi Granjemutda va Tissaydda, Angliyaning Shimoliy-sharqidagi Uilton sanoati klasterining (NEPIC) bir qismi sifatida. Buyuk Britaniyaning neft-kimyoviy mahsulotlarining taxminan 50%i, bu ham tovar kimyoviy moddalar bo'lib, Tissaydda, Tis daryosining qirg'og'ida joylashgan uchta katta kimyo parkida, Uilton, Billingham va Sil Sandsda ishlab chiqariladi.

Korroziya⁶² va yangi materiallar ishlatilishi

Kimyoviy jarayon zavodlarida korroziya yirik muammo bo'lib, har yili milliardlab dollarni iste'mol qiladi. Metallarning elektrokimyoviy korroziyasi kimyoviy jarayon zavodlarida kislotaga bug'lari va boshqa elektrolitik o'zaro ta'sirlar mavjudligi sababli aniqroq namoyon bo'ladi. So'nggi paytlarda, tola bilan

⁶² **Korroziya** (lotincha *corrosio* – o'ymoq, yemirmoq) – 1) jismlar (metallar, beton, tosh, yog'och, ba'zi plastmassalar va boshqalar)ning tashqi muhit bilan biologik, kimyoviy yoki elektr-kimyoviy ta'sirlashuvi oqibatida yemirilishi.

mustahkamlangan plastmassa qurilish materiallari sifatida ishlatilmoqda. Buyuk Britaniya standarti BS4994, idishlar, rezervuarlar va boshqalarni loyihalash va qurishda keng qo'llaniladi.

Transport hodisalari

Transport hodisalarini o'rganish, massa, energiya, zaryad, moment va burchak momenti o'rtasidagi almashinuvni o'rganishni anglatadi. U uzluksiz mexanika va termodinamika kabi sohalaridan foydalanish bilan birga, qamrab olingan mavzular o'rtasidagi umumiyliklarga katta e'tibor qaratadi. Massa, impuls va issiqlik transporti o'xshash matematik tuzilishga ega bo'lib, ularning o'xshashliklari transport hodisalarini o'rganishda keng qo'llaniladi, bu esa har bir sohaning tahlilida juda foydali bo'lgan matematik aloqalarni yaratadi.

Massa, issiqlik va impuls transferining asosiy tahlili odatda o'rganilayotgan miqdorlarning tizim va uning muhitida saqlanishi kerakligi oddiy tamoyilga asoslanadi. Shunday qilib, transportga olib keladigan turli hodisalar, ularning hissalarini yig'indisi nolga teng bo'lishi kerakligini bilgan holda, har biri alohida ko'rib chiqiladi. Ushbu tamoyil ko'plab tegishli miqdorlarni hisoblashda foydalidir. Masalan, suyuqlik mexanikasida transport tahlilining keng tarqalgan qo'llanilishi, suyuqlikning qattiq hajmdan o'tayotgan tezlik profilini aniqlashdir.

Transport hodisalari muhandislik sohalarining deyarli barcha turlarida mavjuddir. Muhandislik sohalarida transport tahlilining eng keng tarqalgan misollari jarayon, kimyo, biologiya va mexanika muhandisligi sohalarida uchraydi, ammo bu mavzu har bir sohada, ayniqsa, suyuqlik mexanikasi, issiqlik transferi va massa transferi bilan bog'liq har qanday sohada muhim komponent hisoblanadi. Hozirda u muhandislik sohasining bir qismi sifatida, termodinamika, mexanika va elektromagnitizm kabi qabul qilinadi.

Transport hodisalari koinotdagi barcha fizik o'zgarishlarni o'z ichiga oladi. Bundan tashqari, ular koinotni rivojlantirgan va yer yuzida barcha hayotning muvaffaqiyatiga javobgar bo'lgan asosiy qurilish bloklari hisoblanadi. Biroq, bu yerda transport hodisalarining sun'iy tizimlarga aloqasi cheklangan.

Fizikada transport hodisalari – molekullarning tasodifiy va doimiy harakati natijasida yuzaga keladigan, asosan suyuqliklarda kuzatiladigan, statistik tabiatga ega bo'lgan teskari jarayonlardir. Transport hodisalarining har bir jihati ikkita asosiy konsepsiyaga asoslanadi: saqlanish qonunlari va konstitutiv tenglamalar. Saqlanish qonunlari, transport hodisalari kontekstida uzluksizlik tenglamalari shaklida ifodalangan, o'rganilayotgan miqdor qanday saqlanishi kerakligini ta'riflaydi. Konstitutiv tenglamalar esa, o'rganilayotgan miqdorning turli stimullarga qanday javob berishini transport orqali ta'riflaydi. Mashhur misollarga, mos ravishda, issiqlik o'tkazishning Fyurqon qonuni va Navye-Stoks tenglamalari kiradi, ular issiqlik oqimi va temperaturaning graduslariga javobni, suyuqlik oqimi va unga ta'sir qila-

yotgan kuchlar o'rtasidagi munosabatni tasvirlaydi. Ushbu tenglamalar, shuningdek, transport hodisalari va termodinamika o'rtasidagi chuqur aloqani ko'rsatadi, bu esa transport hodisalarining teskari bo'lishining sababini tushuntiradi. Ushbu fizik hodisalar deyarli barchasi o'z energiya holatining eng past nuqtasini topishga intiladigan tizimlar bilan bog'liqdir, bu esa minimal energiya tamoyili bilan mos keladi. Ular ushbu holatga yaqinlashganda, tizimda harakat kuchlari to'xtab, transport jarayonlari tugaydi. Bunday muvozanatning turli jihatlarini aniq transport hodisalari bilan bevosita bog'liqdir: issiqlik transferi – tizimning atrof-muhit bilan termal muvozanatga erishishga urinishidir, massa va impuls transporti esa tizimni kimyoviy va mexanik muvozanatga olib boradi.

Transport jarayonlariga issiqlik o'tkazish (energiya transferi), suyuqlik oqimi (impuls transferi), molekulyar diffuziya (massa transferi), nurlanish va yarim-o'tkazgichlarda elektr zaryadining transferi kabi misollar kiradi.

Transport hodisalari keng qo'llanilish sohasiga ega. Masalan, qattiq holat fizikasi sohasida elektronlar, teshiklar va fononlarning harakati va o'zaro ta'siri "transport hodisalari" sifatida o'rganiladi. Yana bir misol – biotibbiyot muhandisligida, bu yerda qiziqarli transport hodisalari termoregulyatsiya, perfuziya va mikrofluidlik hisoblanadi. Kimyo muhandisligida transport hodisalari reaktor dizaynida, molekulyar yoki diffuziv transport mexanizmlarini tahlil qilishda va metallurgiyada o'rganiladi.

Massa, energiya va impuls transporti tashqi manbalar mavjud bo'lishi bilan ta'sirlanishi mumkin:

- Havo manbasining mavjudligi bilan hidi sekinroq tarqaladi (va ba'zan kuchayadi).
- Qattiq jismning sovishi sur'ati, issiqlik manbasi qo'llanilishi yoki yo'qligiga bog'liq.
- Yomg'ir tomchisi ustiga ta'sir qilayotgan gravitatsion kuch, atrofda havo-niing qarshiligini yoki tortilishini yengadi.

Hodisalar o'rtasidagi umumiyliklar

Transport hodisalarini o'rganishda muhim tamoyil hodisalar o'rtasidagi analogiyadir.

Diffuziya

Impuls, energiya va massa uzatilishini tasvirllovchi tenglamalarda sezilarli o'xshashliklar mavjud bo'lib, ularning barchasi diffuziya⁶³ orqali uzatilishi mumkin. Quyidagi misollar buni tasdiqlaydi:

⁶³ **Diffuziya** (lotincha *diffusio* – singish, tarqalish) – molekularlar, atomlar, ionlar va kolloid zarralarning tartibsiz issiqlik harakati natijasida bir moddaning ikkinchi moddaga o'z-o'zidan o'tishi, birining ikkinchisiga singib ketishi.

• **Massa:** Havodagi hidlarning tarqalishi va yoʻqolishi massa diffuziyasiga misol boʻla oladi.

• **Energiya:** Qattiq moddalarda issiqlikning oʻtishi issiqlik diffuziyasining namunasi hisoblanadi.

• **Impuls:** Atmosferada yomgʻir tomchisining tushishi jarayonida uchraydigan tortish kuchi impuls diffuziyasiga misoldir (yomgʻir tomchisi atrofdagi havo bilan oʻzaro taʼsir natijasida impulsini yoʻqotib, tezligini pasaytiradi).

Nyutonning suyuqlik impulsini uchun qonuni, Furie issiqlik oʻtkazuvchanligi qonuni va Fikning massa diffuziyasi qonuni bilan bogʻliq molekulyar uzatish tenglamalari oʻzaro juda oʻxshashdir. Ushbu uch xil uzatish hodisasini taqqoslash uchun bir uzatish koeffitsiyentini boshqasiga aylantirish mumkin.

Diffuziya hodisalarini taqqoslash		
Tashilayotgan miqdor	Fizik hodisa	Tenglama
Impuls	Viskozlik (Nyuton suyuqligi)	$\tau = -\nu \frac{\partial \rho v}{\partial x}$
Energiya	Issiqlik oʻtkazilishi (Furie qonuni)	$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx}$
Massa	Molekulyar diffuziya (Fik qonuni)	$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$

Uchta uzatish jarayoni oʻrtasida oʻxshashliklarni yaratish uchun adabiyotlarda katta harakatlar amalga oshirilib, bir jarayon asosida boshqalarni hosil qilish imkoniyati yaratilgan. Reynolds oʻxshashligi turbulent diffuziya koeffitsiyentlari tengligini va impuls (μ/p) hamda massa (D_{ap}) uchun molekulyar diffuziya koeffitsiyentlari turbulent diffuziya koeffitsiyentlari bilan solishtirganda ahamiyatsiz hisoblanadi. Ammo suyuqliklar yoki tortishish kuchlari ishtirok etganda, ushbu oʻxshashlik yaroqsiz boʻlib qoladi. Von Karman va Prandtl kabi boshqa oʻxshashliklar koʻpincha noaniq bogʻlanishlarga olib keladi.

Eng muvaffaqiyatli va keng qoʻllaniladigan oʻxshashlik bu Chilton va kolburnning J -faktor oʻxshashligidir. Ushbu oʻxshashlik gazlar va suyuqliklar uchun, laminar va turbulent rejimlarda eksperimental⁶⁴ maʼlumotlarga asoslangan. Garchi eksperimental maʼlumotlarga tayanilgan boʻlsa-da, laminar oqim sharoitida tekis

⁶⁴ Eksperiment (lot. experimentum – tajriba, sinab koʻrish) – fanda narsa va hodisalarni sezgi predmet faoliyati bilan tadqiq qilish, oʻrganish.

plastina ustida olingan aniq yechimni qanoatlantirishini ko'rsatish mumkin. Ushbu ma'lumotlarning barchasi massa uzatilishini bashorat qilishda qo'llaniladi.

Onsagerning o'zaro bog'liqlik munosabatlari

Suyuqlik tizimlari harorat, moddalar zichligi va bosim nuqtayi nazaridan tavsiflanganida, ma'lumki, harorat farqlari issiqlik oqimini tizimning issiq qismlaridan sovuq qismlariga yo'naltiradi; xuddi shunday, bosim farqlari moddalar oqimini yuqori bosimdan past bosim tomon olib keladi (bu "o'zaro bog'liqlik munosabati" deb ataladi). Ajablanarlisi shundaki, bosim va harorat birgalikda o'zgarayotganda, doimiy bosim sharoitida harorat farqlari moddalar oqimini (konveksiya jarayonidagi kabi) keltirib chiqarishi, doimiy harorat sharoitida esa bosim farqlari issiqlik oqimiga sabab bo'lishi mumkin. E'tiborlisi, bosim farqi birligi uchun issiqlik oqimi va harorat farqi birligi uchun zichlik (modda) oqimi teng bo'ladi.

Ushbu tenglikning zarurligini Lars Onsager statistik mexanika asosida, mikroskopic dinamikadagi vaqtning qaytaruvchanligi natijasida isbotlab berdi. Onsager tomonidan ishlab chiqilgan nazariya ushbu misoldan ancha umumiyroq bo'lib, bir vaqtning o'zida ikki yoki undan ortiq termodinamik kuchlarni ham ko'rib chiqish imkonini beradi.

Impuls uzatish

Impuls uzatishda suyuqlik uzluksiz modda taqsimoti sifatida qaraladi. Impuls uzatishni yoki suyuqlik mexanikasini o'rganish ikki asosiy yo'nalishga bo'linadi: suyuqlik statikasi (harakatsiz suyuqliklar) va suyuqlik dinamikasi (harakatlanayotgan suyuqliklar).

Agar suyuqlik qattiq sirtga parallel bo'lgan x-yo'nalishda oqsa, suyuqlik x-yo'nalishidagi impuls ga ega bo'ladi va uning konsentratsiyasi $v_x \rho$ ga teng bo'ladi. Molekulalarning tasodifiy diffuziyasi natijasida z-yo'nalishda molekulalar almashinuvi sodir bo'ladi. Natijada, x-yo'nalishdagi impuls tezroq harakatlanuvchi qatlamlardan sekinroq harakatlanuvchi qatlamlarga z-yo'nalishda uzatiladi.

Impuls uzatish tenglamasi Nyutonning viskozlik qonuni bilan quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau_{zx} = -v \frac{\partial \rho v_x}{\partial z}$$

Bu yerda:

- τ_{zx} – yo'nalishdagi x yo'nalishdagi impuls oqimi,
- $v = \mu/\rho$ – impuls diffuziyasi,
- z – uzatish yoki diffuziya masofasi,

- ρ – zichlik,
- μ – dinamik viskozlik.

Nyuton qonuni impuls oqimi va tezlik gradiyenti o'rtasidagi eng sodda bog'lanishni ifodalaydi.

Issiqlik va massa uzatish

Agar tizimda ikkita yoki undan ortiq komponentlar bo'lsa va ularning konsentratsiyasi nuqtadan nuqtaga o'zgarib tursa, tizimda konsentratsiya farqini minimallashtirish maqsadida moddaning uzatilishiga tabiiy ravishda moyil bo'ladi. Tizimdagi massa uzatish Fikning Birinchi qonuni bilan boshqariladi: yuqori konsentratsiyadan past konsentratsiyaga diffuziya oqimi moddaning konsentratsiya gradiyenti va moddaning muhitdagi diffuziyasiga proporsional bo'ladi. Massa uzatish turli turtki kuchlari tufayli sodir bo'lishi mumkin. Ulardan ba'zilari quyidagilardir:

- Massa bosim gradiyenti ta'siri orqali uzatilishi mumkin (bosim diffuziyasi).
- Majburiy diffuziya ba'zi tashqi kuchlar ta'sirida yuzaga keladi.
- Diffuziya harorat gradiyentlari tufayli yuzaga kelishi mumkin (issiqlik diffuziyasi).

- Diffuziya kimyoviy potensial farqlari tufayli yuzaga kelishi mumkin.

Bu fikning diffuziya qonuni bilan taqqoslanishi mumkin, A va B komponentlaridan tashkil topgan ikkilamchi aralashmadagi A turi uchun:

$$J_{Ay} = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y}$$

Bu yerda, D – diffuziya doimiysi.

Energiya uzatish

Muhandislikdagi barcha jarayonlar energiya uzatilishini o'z ichiga oladi. Ba'zi misollar qatoriga jarayon oqimlarini isitish va sovitish, fazoviy o'zgarishlar, distillatsiyalar va boshqalar kiradi. Asosiy prinsip – termodinamikaning birinchi qonuni bo'lib, bu statik tizim uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

Tizim orqali energiya sof oqimi, o'tkazuvchanlikni pozitsiyaga nisbatan haroratning o'zgarish tezligi bilan ko'paytirish orqali aniqlanadi.

Agar tizimlar turbulent oqim, murakkab geometriyalar yoki qiyin chegaraviy shartlarni o'z ichiga olsa, boshqa bir tenglama ishlatish osonroq bo'ladi.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Bu yerda, A – yuzaga tushuvchi maydon, ΔT – haroratni turtki kuchi, Q – bir birlik vaqt ichida o'tayotgan issiqlik oqimi va h – issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

Issiqlik uzatishda ikkita konveksiya turi sodir bo'lishi mumkin: Majburiy konveksiya laminar va turbulent oqimlarda ham yuzaga kelishi mumkin. Agar laminar oqim holatida doira shaklidagi trubkalarda bo'lsa, bir nechta o'lchovsiz sonlar, masalan, Nusselt soni, Reynolds soni va Prandtl soni ishlatiladi. Odatda ishlatiladigan tenglama quyidagicha:

$$Nu_a = \frac{h_a D}{k}$$

Tabiiy yoki erkin konveksiya Grashof va Prandtl sonlariga bog'liqdir. Erkin konveksiya issiqlik uzatishining murakkabliklari, asosan eksperimental ma'lumotlarga asoslangan empirik munosabatlarni qo'llashni zarur qiladi. Issiqlik uzatish to'ldirilgan to'plamlar, reaktorlar va issiqlik almashinuvi qurilmalarida tahlil qilinadi.

Kimyoviy jarayon

Ilmiy nuqtayi nazardan kimyoviy jarayon – bir yoki bir nechta kimyoviy moddalar yoki kimyoviy birikmalarni qandaydir tarzda o'zgartirish usuli yoki vositasi hisoblanadi. Bunday kimyoviy jarayon o'z-o'zidan sodir bo'lishi yoki tashqi kuchlar ta'sirida yuzaga kelishi mumkin va biror kimyoviy reaksiyani o'z ichiga oladi.

“Muhandislik” nuqtayi nazaridan kimyoviy jarayon – kimyoviy moddalar yoki materiallarning tarkibini o'zgartirish uchun ishlab chiqarishda yoki sanoat miqyosida foydalanishga mo'ljallangan usul bo'lib, odatda kimyo zavodlari yoki kimyo sanoatida ishlatiladigan texnologiyaga o'xshash yoki unga bog'liq texnologiya qo'llaniladi.

Bu ta'riflarning hech biri kimyoviy jarayon nima ekanini va nima emasligini doimo aniq belgilash imkonini bermaydi; ular amaliy ta'riflardir. Shuningdek, bu ikki ta'rif o'rtasida sezilarli darajada o'zaro bog'lanish mavjud. Ta'riflarning aniq emasligi tufayli, kimyogarlar va boshqa olimlar “kimyoviy jarayon” atamasini faqat umumiy ma'noda yoki muhandislik ma'nosida ishlatadilar. Biroq, “jarayon (muhandislik)” ma'nosida “kimyoviy jarayon” atamasi keng qo'llaniladi.

Garchi bu turdagi kimyoviy jarayon ba'zan faqat bir bosqichni o'z ichiga olsa-da, ko'pincha bir nechta bosqichlar, ya'ni birlik operatsiyalari mavjud bo'ladi. Zavodda har bir birlik operatsiyasi odatda alohida idishlar yoki zavodning “yog'och” deb ataladigan qismlarida sodir bo'ladi. Ko'pincha, bir yoki bir nechta kimyoviy reaksiyalar ishtirok etadi, lekin kimyoviy (yoki material) tarkibini o'zgartirishning boshqa usullari ham qo'llanilishi mumkin, masalan, aralashtirish yoki ajratish jarayonlari. Jarayon bosqichlari vaqt bo'yicha ketma-ket

bo'lishi, oqib ketayotgan yoki harakatlanayotgan materialning oqimi bo'ylab bo'lishi mumkin.

Belgilangan miqdordagi oziqa (kirish) materiallari yoki mahsulot (chiqish) materiallari uchun jarayonning asosiy bosqichlarida empirik ma'lumotlar va materiallar balansini hisoblash orqali kutilayotgan material miqdori aniqlanishi mumkin. Ushbu miqdorlar zarur bo'lgan quvvat yoki ma'lum bir kimyoviy zavodning operatsiyasiga mos ravishda kattalashishi yoki kichraytirilishi mumkin. Bir nechta kimyoviy zavodlar bir xil kimyoviy jarayonni ishlatishi mumkin (har bir zavod, ehtimol, turli o'lehamdagi quvvatlarda). Distillatsiya va kristallizatsiya kabi kimyoviy jarayonlar Misrdagi Aleksandriya alkimyosiga borib taqaladi.

Bunday kimyoviy jarayonlar odatda blok yoki jarayon oqimi diagrammalari sifatida batafsil ko'rsatilishi mumkin. Blok oqimi diagrammalari birliklarni bloklar sifatida va ular orasidagi oqimlarni yo'nalishini ko'rsatish uchun o'q uchi bilan bog'lovchi chiziqlar sifatida ko'rsatadi.

Kimyoviy moddalar ishlab chiqaradigan kimyoviy zavodlardan tashqari, o'xshash texnologiya va uskunalar bilan ishlaydigan kimyoviy jarayonlar neftni qayta ishlash va boshqa qayta ishlash zavodlarida, tabiiy gazni qayta ishlash, polimerlar va farmatsevtika ishlab chiqarish, oziq-ovqatni qayta ishlash, shuningdek, suv va axlatni tozalash jarayonlarida ham qo'llaniladi.

Kimyoviy jarayonda birlik ishlovlari

Birlik ishlovi kimyo muhandisligidagi asosiy ishlov berish jarayonidir. Birlik operatsiyalari bilan birga, u turli kimyo sanoatining asosiy prinsipini tashkil etadi. Har bir birlik ishlovining turi bir xil kimyoviy qonunga amal qiladi, xuddi har bir birlik operatsiyasi turi bir xil jismoniy qonunga amal qilgandek.

Kimyo muhandisligi birlik ishlovlari quyidagi muhim jarayonlardan iborat:

- Oksidlanish.
- Kamaytirish.
- Vodorodlanish.
- Degidrogenlanish.
- Gidroliz.
- Gidratlanish.
- Degidratlanish.
- Galojenlanish.
- Sulfonlanish.
- Ammoniyalash.
- Alkalın birlashish.

- Alkillash.
- Dealkillash.
- Esterifikatsiya.
- Polimerizatsiya.
- Polikondensatsiya.
- Kataliz.

Birlik operatsiyasi

Kimyo muhandisligi va unga tegishli sohalarda, “unit operation” (birlik operatsiyasi) jarayonning asosiy bosqichi bo‘lib, bu bosqichda fizik o‘zgarish yoki kimyoviy transformatsiya yuz beradi. Bunday operatsiyalar ajratish, kristallanish, bug‘lanish, filtrlash, polimerlash, izomerizatsiya va boshqa reaksiyalarni o‘z ichiga oladi. Masalan, sutni qayta ishlash jarayonida gomogenizatsiya, pasterizatsiya va qadoqlash har biri alohida birlik operatsiyalari bo‘lib, ular umumiy jarayonni yaratish uchun bir-biri bilan bog‘lanadi. Biror jarayon maqsadga erishish uchun boshlang‘ich materiallar yoki xomashyo bilan ko‘plab birlik operatsiyalarini talab qilishi mumkin.

Kimyo muhandisligi birlik operatsiyalari besh asosiy turga bo‘linadi:

- Suyuqlik oqimi jarayonlari, shu jumladan, suyuqliklarni transport qilish, filtrlash va qattiq moddalarni suyuqlikda suzdirish.
- Issiqlik uzatish jarayonlari, shu jumladan bug‘lanish va issiqlik almashinuvi.
- Massa uzatish jarayonlari, shu jumladan gazni singdirish, distillatsiya, ekstraksiya, adsorbsiya va quritish.
- Termodinamik jarayonlar, shu jumladan gazni suyuqlashtirish va muzlatish.
- Mexanik jarayonlar, shu jumladan, qattiq moddalarni transport qilish, maydalash va kukunlash, skrining va saralash.

Kimyo muhandisligi birlik operatsiyalari shuningdek, bir nechta klasslardan elementlarni o‘z ichiga olgan quyidagi kategoriyalarga ham bo‘linadi:

- Birlashtirish (aralashtirish).
- Ajratish (distillatsiya, kristallanish).
- Reaksiya (kimyoviy reaksiya).

Bundan tashqari, ba’zi birlik operatsiyalari hatto bu kategoriyalarni ham birlashtiradi, masalan, reaktiv distillatsiya va aralashtirilgan tank reaktorlar. “Toza” birlik operatsiyasi fizik transport jarayoni bo‘lib, aralash kimyoviy fizik jarayon esa, fizik transportni, masalan, diffuziya va kimyoviy reaksiyani modellashni talab

qiladi. Bu ko'pincha katalitik reaksiyalarni loyihalashda zarur bo'lib, alohida soha sifatida – kimyoviy reaksiya muhandisligi deb ataladi.

Kimyo muhandisligi birlik operatsiyalari va kimyo muhandisligi birlik qayta ishlash jarayonlari barcha turdagi kimyo sanoatining asosiy tamoyillarini tashkil etadi va kimyo zavodlari, fabrikalar va uskunalar dizaynining poydevorini yaratadi.

Umuman olganda, birlik operatsiyalari transport qilinadigan miqdor uchun har bir elementar komponent (bu juda kichik bo'lishi mumkin) uchun massalar balansini yozish va loyiha parametrlarini topish uchun tenglamalarni yechish orqali loyihalanadi, keyin bir nechta mumkin bo'lgan yechimlardan optimalini tanlash va jismoniy uskuna loyihasini amalga oshirish. Masalan, plastinalar kolonkasida distillatsiya har bir plastina uchun massa balanslarini yozish orqali tahlil qilinadi, bunda ma'lum bug'lanish-suyuqlik muvozanati va samaradorlik, tomchilar kirishi va chiqishi umumiy massa oqimlarini tashkil etadi (har bir komponent uchun suv-oqim bilan birga). Bularning yig'indisi butun kolonka uchun tenglamalar tizimini beradi. Yechimlar diapazoni mavjud, chunki yuqori qaytish nisbati kamroq plastinalar talab qiladi va aksincha. Muhandis keyin optimal yechimni topishi kerak, bu esa qabul qilinadigan hajm to'plami, kolonka balandligi va qurilish narxiga bog'liq.

Loyihalash jarayoni

Kimyo muhandisligida, loyihalash jarayoni – bu materiallarning kerakli fizik yoki kimyoviy o'zgarishlari uchun birliklarni tanlash va ularning ketma-ketligini belgilash jarayonidir. Jarayon loyihasi kimyo muhandisligining markazida turadi va bu sohaning barcha tarkibiy qismlarini birlashtirgan holda uni uning eng yuqori nuqtasiga olib keladi.

Jarayon loyihasi yangi inshootlarni loyihalash yoki mavjud inshootlarni o'zgartirish yoki kengaytirish bo'lishi mumkin. Loyiha konseptual darajadan boshlanadi va oxir-oqibat ishlab chiqarish va qurilish rejalarida yakunlanadi.

Jarayon loyihasi uskunalarni loyihalashdan farq qiladi, chunki uskunalar loyihasi odatda birlik operatsiyalarining loyihasiqa yaqinroqdir. Jarayonlar ko'pincha ko'plab birlik operatsiyalarini o'z ichiga oladi.

Dokumentatsiya

Jarayon loyihasi hujjatlari loyihani aniqlash uchun xizmat qiladi va loyiha tarkibiy qismlarining bir-biriga mos kelishini ta'minlaydi. Ular loyiha bilan bog'liq boshqa muhandislarga, tashqi tartibga soluvchi idoralarga, uskunalar yetkazib beruvchilarga va qurilish pudratchilariga g'oyalar va rejalarini yetkazishda foydalidir.

Tavsifning ortib borayotgan batafsilligi bilan jarayon loyihasi hujjatlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

• Blok oqim diagrammalari (BFD): Yirik material yoki energiya oqimlarini ko'rsatadigan, to'rtburchaklar va chiziqlardan iborat juda oddiy diagrammalar.

• Jarayon oqim diagrammalari (PFD): Asosan asosiy birlik operatsiyalarining va oqim chiziqlarining yanada murakkab diagrammalari. Ular odatda material balansini, ba'zan esa energiya balansini o'z ichiga oladi va odatdagi yoki loyiha oqimlarining tezligini, oqim tarkibini, oqim va uskuna bosim va haroratlarini ko'rsatadi.

• Truboprovod va asboblarning diagrammalari (P&ID): Har bir truboprovodning, truba klassi (uglerod po'lat yoki zanglamaydigan po'lat) va truba diametri bilan ko'rsatilgan diagrammalar. Ular, shuningdek, klapan va asboblarning joylashuvi hamda jarayonni boshqarish sxemalarini ko'rsatadi.

• Texnik xususiyatlar: Barcha asosiy uskuna buyumlarining yozma loyiha talablari.

Jarayon loyihachilari odatda jarayonni ishga tushirish, ishga solish va o'chirish bo'yicha qo'llanmalar yozadilar. Shuningdek, ular ba'zan baxtsiz hodisalar rejasini va jarayonning atrof-muhitga ta'siri bo'yicha prognozlarni ishlab chiqadilar.

Hujjatlar jarayon inshooti qurilganidan keyin ishchi xodimlar tomonidan murojaat qilish uchun saqlanadi. Ushbu hujjatlar inshootni o'zgartirish rejalarini bo'lganda ham foydalidir. Jarayon hujjatlarini ishlab chiqishning asosiy usuli jarayon oqimi diagrammalarini yaratishdir.

Loyihani hisobga olish

Har qanday kimyoviy jarayon birliklarini loyihalashda ko'rib chiqilishi kerak bo'lgan bir nechta omillar mavjud. Loyihani konseptualizatsiya qilish va hisobga olishlar mahsulotning sofligi, hosil va oqim tezliklari aniq belgilanganidan keyin boshlanishi mumkin.

Loyihaning o'z ichiga olishga harakat qilishi mumkin bo'lgan maqsadlar:

- Oqim tezligi.
- Jarayon hosili.
- Mahsulot sofligi.

Cheklavlarning quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- Kapital xarajatlari: jarayonni boshidan oxirigacha qurish uchun kerakli budjet yoki sarmoya.
- Mavjud joy: zavodni qurish uchun yer maydoni.
- Xavfsizlik masalalari: sanoat avariylari yoki xavfli kimyoviy moddalar bo'yicha xavf tahlilini hisobga olish.
- Atrof-muhitga ta'siri va kutilgan chiqindilar hamda emissiyalar.

- Chiqindilarni ishlab chiqarish/qayta ishlash: jarayonning yon mahsuloti sifatida ishlab chiqarilgan chiqindilarni atrof-muhitga zarar yetkazmaslik uchun boshqarish.

- Ishlatish va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari: zavodning ishlashi bilan bog'liq o'zgaruvchan xarajatlarni ifodalaydi.

Loyihachilar qo'shishi mumkin bo'lgan boshqa omillar:

- Ishonchlilik.
- Zaxiraviy tizimlar.
- Moslashuvchanlik.
- Xomashyo va mahsulotdagi ruxsat etilgan o'zgarishlarni kutilgan o'zgaruvchanlik.

Loyiha ma'lumotlari

Loyihachilar odatda noldan boshlashmaydi, ayniqsa murakkab loyihalar uchun. Ko'pincha, muhandislar pilot zavodlari ma'lumotlariga yoki to'liq hajmdagi ishchi inshootlardan olingan ma'lumotlarga ega bo'ladilar. Boshqa ma'lumot manbalari esa jarayon litsenziatlaridan taqdim etilgan maxsus loyiha mezonlari, nashr etilgan ilmiy ma'lumotlar, laboratoriya tajribalari, xomashyo va kommunal xizmatlar ta'minotchilaridan olinadi.

Dizayn jarayoni

Dizayn jarayoni jarayon sintezidan boshlanadi – bu texnologiya tanlovi va maqsadlarga erishish uchun sanoat birliklarining kombinatsiyasini tanlash. Batafsilroq loyiha boshqa muhandislar va manfaatdor tomonlar har bir bosqichni tasdiqlagan sari davom etadi: konseptual loyihadan tortib to batafsil loyihaga qadar.

Simulatsiya dasturlari loyiha muhandislari tomonidan ko'pincha ishlatiladi. Simulatsiyalar loyihalardagi zaifliklarni aniqlashga yordam beradi va muhandislarga yaxshiroq muqobillarni tanlash imkonini beradi. Biroq, muhandislar jarayonni loyihalashda hali ham evristika, intuitsiya va tajribaga tayanadilar. Murakkab loyihalarda inson ijodkorligi muhim omil hisoblanadi.

Ajratish jarayoni

Ajratish jarayoni – bu kimyoviy moddalar aralashmasini yoki eritmasini ikkita yoki undan ortiq alohida mahsulot aralashmalariga aylantiradigan usul. Ajratish natijalaridan kamida biri aralashmaning bitta yoki bir nechta tarkibiy qismlarida boyitilgan bo'ladi. Ba'zi hollarda, ajratish aralashmani to'liq sof tarkibiy qismlar-

ga ajratishi mumkin. Ajratish jarayonlari, aralashmaning tarkibiy qismlari orasidagi kimyoviy yoki fizikaviy xususiyatlardagi (masalan, o'lcham, shakl, massa, zichlik yoki kimyoviy qiziqish) farqlardan foydalanadi.

Jarayonlar ko'pincha ajratishni amalga oshirish uchun foydalaniladigan aniq farqlar asosida tasniflanadi. Agar istalgan ajratishni amalga oshirish uchun birov-bir farqni ishlatish mumkin bo'lmasa, ko'plab operatsiyalarni birlashtirish orqali kerakli natijaga erishish mumkin.

Barcha istisnolardan tashqari, elementlar yoki birikmalar tabiatda sof holatda mavjud emas. Ko'pincha, bu xomashyo mahsulotli foydalanishdan oldin ajratishni talab qiladi, bu esa ajratish texnikalarini zamonaviy sanoat iqtisodiyoti uchun zarur qiladi.

Ajratishning maqsadi analitik bo'lishi mumkin, ya'ni aralashmaning asl tarkibiy qismlarini saqlashga urinmasdan uni tahlil qilish yoki preparativ bo'lishi mumkin, ya'ni saqlanishi mumkin bo'lgan tarkibiy qismlar yoki namunalarni "tayyorlash". Ajratish kichik miqyosda, asosan analitik yoki preparativ maqsadlar uchun laboratoriya miqyosida yoki katta miqyosda, asosan preparativ maqsadlar uchun sanoat miqyosida yoki o'rta miqyosda amalga oshirilishi mumkin.

To'liq va to'liq bo'lmagan ajratish

Ba'zi hollarda, ajratish to'liq tozalashni talab qiladi, masalan, aluminiy metalining boksit rudasi elektroliz usulida tozalash, ammo to'liq bo'lmagan ajratish texnikasiga yaxshi misol neftni qayta ishlashdir. Xom neft tabiatan turli xil uglevodorodlar va ifloslantiruvchi moddalar aralashmasi sifatida mavjud. Qayta ishlash jarayoni bu aralashmani boshqa, yanada qiymatli aralashmalarga, masalan, tabiiy gaz, benzin va kimyoviy xomashyoga bo'linadi, ammo ular hech biri sof moddalar emas, ammo har biri xom neftdan ajratilishi kerak. Ushbu ikki holatda ham, kerakli yakuniy mahsulotlarni olish uchun bir qator ajratish jarayonlari zarur. Neftni qayta ishlash jarayonida, xom neft bir qator alohida distillatsiya bosqichlariga duchor bo'ladi, ularning har biri turli mahsulot yoki o'rta mahsulotni ishlab chiqaradi.

Suyuqliklarni ajratish

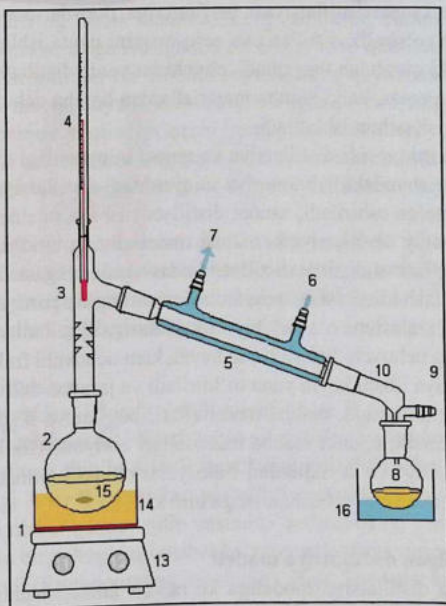
Ajratuvchilar suyuqliklarni ajratish uchun ishlatiladi. Vertikal qo'llab-quvvatlanadigan sentrifugalar uchuvchi podshipniklar bilan qurilgan. Ajratuvchi – bu uzluksiz cho'kindi sentrifugasi. Har ikki chiqish oqimi uzluksiz tarzda chiqariladi – nasos yordamida (bosim ostida) yoki bosimsiz.

Qattiq moddalar uzluksiz (kamera baraban, qattiq devorli disklik baraban), soxta uzluksiz (o'zini tozalovchi diskli baraban) yoki uzluksiz (baraban) tarzda chiqarilishi mumkin. Baraban – bu ajratuvchining markaziy qismi bo'lib, unda ajratish jarayoni amalga oshadi. Ikki turdagi baraban mavjud: kamera barabani (ka-

mera ajratuvchilari sifatida tanilgan) va diskli baraban (diskli ajratuvchilar sifatida tanilgan). Barabanni aylantirish va shu orqali kuchni uzatish uchta drayv motori yordamida amalga oshirilishi mumkin: spiral tishli, kamar uzatish yoki maxsus motor orqali to'g'ridan to'g'ri uzatish. Ajratuvchilarning muhrlanishi to'rt turga bo'linadi: ochiq, yarimyoq, gidrogermetik (mahsulot maydonini muhrlash) yoki to'liq germetik (mutlaq havo o'tkazmaydigan).

Distillatsiya

Distillatsiya – bu kimyoviy moddalarni ularning volatilliklaridagi farqlarga asoslangan holda ajratish usulidir. U odatda katta kimyoviy jarayonning bir qismi sifatida ishlatiladi va shu sababli agregat operatsiyasi deb ataladi.



Laboratoriyada ishlatiladigan oddiy distillatsiya apparati odatda quyidagi qismlardan iborat bo'ladi:

1. Issiqlik manbai. 2. Distillatsiya idishi. 3. Distillatsiya boshi. 4. Termometr/Qaynatish nuqtasi harorati. 5. Kondensator. 6. Sovitish suyuqligi kirishi. 7. Sovitish suyuqligi chiqishi. 8. Distillat/qabul qiluvchi kolba. 9. Vakuum/gaz kirishi. 10. Distillatsiya qabul qiluvchisi. 11. Issiqlik boshqaruvi. 12. Aralashtirish tezligini boshqarish. 13. Aralashtiruvchi/issiqlik plita. 14. Isitish (moy/tuproq) hammomi. 15. Aralashtiruvchi tayoqcha/zarbaga chidamli granulalar. 16. Sovitish hammomi.

Distillatsiya turli maqsadlar uchun ishlatiladi. Masalan, suvni distillash orqali aralashmalardan xalos bo'lish, ya'ni dengiz suvidan tuzni olib tashlash. Havo distillatsiya qilinib, uning tarkibiy qismlari ajratiladi, masalan, tibbiy maqsadlar uchun ishlatiladigan kislorod va bayram sharlari uchun ishlatiladigan geliy. Xom neftni distillash orqali transport, energiya ishlab chiqarish va isitish kabi maqsadlar uchun foydali fraksiyalar olinadi. Distillatsiya usulining eng qadimgi shakllaridan biri – alkogol miqdori yuqori bo'lgan distillangan ichimliklarni ishlab chiqarish uchun fermentatsiya qilingan eritmalardan distillatsiya qilishdir, bu usul qadim zamonlardan beri ma'lum.

Distillatsiyaning qo'llanilishi

Distillatsiya qo'llanilishini taxminan to'rtta guruhga bo'lish mumkin: laboratoriya miqyosida, sanoat distillatsiyasi, parfumeriya, dori-darmonlar uchun o'simliklarni distillash (o'simlik distillati) va oziq-ovqatni qayta ishlash. So'nggi ikki guruh oldingi ikki guruhdan farq qiladi, chunki bu yerda distillatsiya to'g'ri tozalash usuli sifatida emas, balki manba materiallardan barcha uchuvchi moddalarni distillatga o'tkazish uchun ishlatiladi.

Laboratoriya miqyosida distillatsiya va sanoat miqyosidagi distillatsiya o'rtasidagi asosiy farq shundaki, laboratoriya miqyosidagi distillatsiya ko'pincha partiyaviy tarzda amalga oshiriladi, sanoat distillatsiyasi esa odatda uzluksiz tarzda bajariladi. Partiyaviy distillatsiyada manba materialining tarkibi, distillovchi birkmalarning bug'lari va distillat distillatsiya davomida o'zgaradi. Partiyaviy distillatsiyada, distillash idishi (still) oziq aralashmasining bir partiyasi bilan to'ldiriladi, keyin esa bu aralashma o'z tarkibiy fraksiyalariga ajratiladi va ular ketma-ket yig'ib olinadi, eng uchuvchi fraksiya eng avval, kam uchuvchi fraksiya esa oxirida olinadi. Distillatsiya idishi keyin yana to'ldiriladi va jarayon takrorlanadi.

Uzluksiz distillatsiyada, manba materiallari, bug'lar va distillat tarkibi doimiy holatda saqlanadi, chunki manba materiallari ehtiyotkorlik bilan to'ldiriladi hamda tizimdagi bug' va suyuqlikdan fraksiyalar chiqarib olinadi. Bu jarayonni ajratish jarayonini yaxshiroq boshqarishga olib keladi.

Ideallashtirilgan distillatsiya modeli

Yumshatilgan distillatsiya modeliga ko'ra, bir aralashmadagi har bir komponent o'zining normal qaynatish nuqtasida qaynaydi va har bir komponentning bug'lari alohida va toza tarzda yig'iladi, degan fikr keng tarqalgan, ammo bu noto'g'ri tushuncha. Biroq, bu hatto idealizatsiyalangan tizimda ham sodir bo'lmaydi. Idealizatsiyalangan distillatsiya modellari asosan Raul qonuni va Dalton qonuniga asoslanadi.

Raul qonuni aralashmaning umumiy bug' bosishiga, uning miqdoriga va toza holatidagi bug' bosishiga nisbatan komponentning hissasi borligini taxmin qiladi.

Agar bir komponent boshqa komponentning bug' bosishini o'zgartirsa yoki komponentning volatilligi aralashmadagi uning miqdoriga bog'liq bo'lsa, unda qonun muvaffaqiyatsiz bo'ladi.

Dalton qonuni umumiy bug' bosishi aralashmadagi har bir komponentning bug' bosishlari yig'indisi ekanligini bildiradi. Ko'p komponentli tizimni isitish paytida, har bir komponentning bug' bosishi oshadi, bu esa umumiy bug' bosishini oshiradi. Umumiy bug' bosishi atrof-muhit bosishiga yetganda, qaynatish sodir bo'ladi va suyuqlik butun aralashmada gazga aylanadi. E'tibor bering, berilgan aralashmada bir qaynatish nuqtasi mavjud, agar komponentlar o'zaro eruvchan bo'lsa.

Idealizatsiyalangan model kimyoviy jihatdan o'xshash suyuqliklar, masalan, benzol va toluol uchun aniq bo'ladi. Boshqa holatlarda, Raul qonuni va Dalton qonunidan sezilarli og'ishlar kuzatiladi, eng mashhuri etanol va suv aralashmasida. Bu birikmalar birga isitilganda azeotrop hosil qiladi, bunda aralashmaning qaynatish harorati har bir alohida suyuqlikning qaynatish haroratidan past bo'ladi. Deyarli barcha suyuqliklar aralashtirilganda va isitilganda azeotropik xatti-harakatni namoyon qiladi. Garchi kompyuter metodlari yordamida tasodifiy komponentlar aralashmasining xatti-harakatini taxmin qilish mumkin bo'lsa-da, faqat o'lchovlar yordamida aniq bug'-suyuqlik muvozanati ma'lumotlarini olish mumkin.

Aralashmadagi komponentlarni distillatsiya orqali to'liq tozalash mumkin emas, chunki bu aralashmadagi har bir komponentning qisman bosishi nolga teng bo'lishi kerak. Agar ultratoza mahsulotlar maqsad bo'lsa, unda qo'shimcha kimyoviy ajratish usullari qo'llanilishi kerak.

Davriy distillatsiya

Ideal aralashmadagi ikkita volatilli modda A va B (A ning yuqori volatilligi yoki pastroq qaynatish nuqtasi bilan) partiyali distillatsiya uskunasi qizdirilganda, aralashma qaynab chiqib, A va B moddalari aralashmasidan iborat bug' hosil bo'ladi. Bug'dagi A va B moddalari nisbatlari suyuqlikdagi nisbatdan farq qiladi: suyuqlikdagi nisbat qanday qilib dastlabki aralashma tayyorlanganiga bog'liq bo'ladi, shu bilan birga bug'dagi nisbat ko'proq volatilligi yuqori bo'lgan A moddasiga boy bo'ladi (Raul qonuniga asoslanib). Bug' kondensator orqali o'tadi va tizimdan chiqariladi. Bu o'zgarish, qolgan suyuqlikdagi moddalarning nisbatining dastlabki nisbatdan farq qilishiga olib keladi (ya'ni suyuqlik B ga nisbatan ko'proq boy bo'ladi).

Natijada, suyuqlik aralashmasidagi nisbat o'zgaradi va B komponentiga boy bo'ladi. Bu, aralashmaning qaynatish nuqtasining ko'tarilishiga olib keladi, bu esa bug'dagi haroratning oshishiga sabab bo'ladi, natijada A va B ning bug' fazasidagi nisbatlari o'zgaradi (distillatsiya davom etgan sari, bug' fazasidagi B ning miqdori

oshadi). Bu distillatdan olingan A va B ning nisbatining asta-sekin o'zgarishiga olib keladi.

Agar ikkita komponent A va B o'rtasidagi bug' bosishidagi farq katta bo'lsa (odatda qaynatish nuqtalaridagi farq sifatida ifodalanadi), distillatsiya boshida aralashma A komponentiga boy bo'ladi, A distillanganidan so'ng, qaynatilgan suyuqlik B komponentiga boy bo'ladi.

Uzluksiz distillatsiya

Uzluksiz distillatsiyada, jarayon yuqoridagi usuldan farq qiladi, chunki bu yerda bug' va suyuqlikning ikkala natijasi ma'lum tezlikda chiqariladi, shunda ularning umumiy nisbati boshlang'ich aralashmadagi nisbatga aniq mos keladi. Shu tarzda A komponentiga boy bo'lgan oqim va B komponentiga boy bo'lgan oqim olinadi. Bundan tashqari, distillash aralashmasiga A va B ning nisbatiga ega bo'lgan xom aralashma qo'shilishi mumkin, bu esa tizimning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi.

Umumiy takomillashtirishlar

Davriy va uzluksiz distillatsiyalarni takomillashtirish uchun distillatsiya kolbasining ustiga fraksionlashtirish ustuni qo'shilishi mumkin. Ustun, bug' va kondensatning bir-biri bilan kontaktga kirishini ta'minlab, ajratishni yaxshilaydi. Bu, ularning muvozanatda uzoq vaqt qolishiga yordam beradi. Ustun kichik subsistemalardan (idishlar) iborat bo'lishi mumkin, har birida o'zining boyib borgan, qaynayotgan suyuqlik aralashmasi mavjud.

Laboratoriya va sanoat o'lchamidagi fraksionlashtirish ustunlarida farqlar mavjud, lekin prinsiplari bir xil. Fraksionlashtirish ustunlarining samaradorligini oshirgan holatlar (samaradorlikni oshirish tartibida) quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- Havo kondensatori.
- Vigro ustuni (odatda faqat laboratoriya o'lchami).
- To'ldirilgan ustun (shisha sharlar, metall bo'laklar yoki boshqa kimyoviy jihatdan inert materiallar bilan to'ldirilgan).
- Aylanadigan lenta distillatsiya tizimi.

Laboratoriya miqyosida distillatsiya

Laboratoriya miqyosidagi distillatsiyalar deyarli faqat partiyali distillatsiyalar sifatida amalga oshiriladi. Distillatsiyada ishlatiladigan qurilma, ba'zan "still" deb ataladi, minimal tarzda quyidagi qismlardan iborat bo'ladi: manba materiali qizdiriladigan qaynatgich yoki idish, isitilgan bug'lar suyuqlikka qaytarilgan vaqtda ularni sovitadigan kondensator va konsentrlangan yoki tozalanadigan suyuqlik, ya'ni distillatsiya, yig'iladigan qabul qiluvchi idish. Laboratoriya miqyosida distillatsiya uchun bir nechta usullar mavjud.

Oddiy distillatsiya

Oddiy distillatsiyada barcha issiq bug'lar darhol kondensatorga yo'naltiriladi va u bug'larni sovitadi hamda kondensatsiya qiladi. Shu sababli, distillatsiya toza bo'lmaydi – uning tarkibi berilgan harorat va bosimdagi bug'larning tarkibiga teng bo'ladi va bu Raul qonuniga asosanib hisoblanishi mumkin. Natijada, oddiy distillatsiya odatda faqat qaynatish nuqtalari juda farq qiladigan suyuqliklarni ajratish uchun (qoida sifatida 25 °C farq) yoki suyuqliklarni jonsiz qattiq moddalar yoki yog'lar bilan ajratish uchun ishlatiladi. Bunday holatlarda, komponentlarning bug' bosishlari odatda yetarlicha farq qiladi, shuning uchun Raul qonuni ahamiyatsiz bo'lishi mumkin, kam volatilli komponentning hissa qo'shishi juda kichik bo'ladi. Bu holatda, distillatsiya kerakli maqsad uchun yetarlicha toza bo'lishi mumkin.

Fraksionallashgan distillatsiya

Ko'plab holatlarda, aralashmadagi komponentlarning qaynatish nuqtalari yetarlicha yaqin bo'ladi, shuning uchun Raul qonunini hisobga olish zarur. Shu sababli, fraksionallashgan distillatsiya, komponentlarni yaxshi ajratish uchun, to'ldirilgan fraksionlashtirish ustunida bir nechta bug'lanish-kondensatsiya sikllari orqali amalga oshirilishi kerak.

Tozalanishi kerak bo'lgan eritma qizdirilganda, uning bug'lari fraksionlashtirish ustuniga ko'tariladi. U ko'tarilgan sari, u soviydi va kondensatsiya bo'lib, ustun devorlari va to'ldirish materiallari yuzasida kondensatsiya bo'ladi. Bu yerda kondensat yana isitilmoqda va yana bug'lanadi. Ammo yangi bug'larning tarkibi yana Raul qonuni bilan aniqlanadi. Har bir bug'lanish-kondensatsiya sikli (teorik plastinka deb ataladi) ko'proq volatilli komponentning toza eritmasini beradi. Haqiqatan, har bir sikl berilgan haroratda fraksionlashtirish ustunining aniq bir joyida bo'lmaydi, shuning uchun, "teorik plastinka" bu bir konsept bo'lib, aniq tavsiflash emas.

Ko'proq nazariy plitalar yaxshiroq ajratishni ta'minlaydi. Aylanadigan lenta distillatsiya tizimi, Teflon yoki metall lentani aylantirib, ko'tarilayotgan bug'larni pasayayotgan kondensat bilan yaqindan aloqaga kiritadi, bu esa nazariy plitalar sonini oshiradi.

Bug'li distillatsiya

Bo'shliq distillatsiyasiga o'xshash, bug'li distillatsiya issiqlikka sezgir birikmalarga mo'ljallangan distillatsiya usulidir. Bu jarayon xomashyo aralashmasi orqali bug'langan bug'ni o'rnatishdan iborat. Raul qonuniga binoan, maqsadli birikmaning bir qismi bug'lanadi (uning qisman bosimi bilan mos ravishda). Bug'lar aralashmasi sovitilib, kondensatsiya qilinadi, odatda bir qatlam yog' va bir qatlam suv hosil bo'ladi.

Turli xil xushbo'y o'simliklar va gullarning bug'li distillatsiyasi ikkita mahsulotga olib kelishi mumkin: efir moyi va suvli o'simlik distillati. Efir moylari

ko'pincha parfyumeriya va aromaterapiyada ishlatiladi, suvli distillat esa aromaterapiya, oziq-ovqatni qayta ishlash va terini parvarishlashda qo'llaniladi.

Vakum distillatsiya

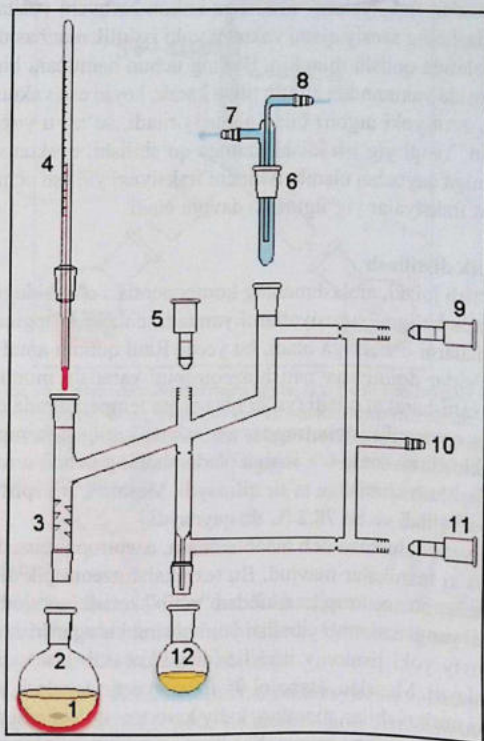
Ba'zi birikmalar juda yuqori qaynatish nuqtasiga ega. Bunday birikmalarni qaynatish uchun, ko'pincha haroratni oshirish o'rniga, qaynatish bosimini kamaytirish yaxshiroq bo'ladi. Bosim ma'lum bir haroratda birikmaning bug'lanish bosimiga tushirilganda, qaynatish va distillatsiya jarayoni boshlanishi mumkin.

Ushbu texnika vakuum distillatsiyasi deb ataladi va laboratoriyada rotatsion bug'latgich shaklida keng tarqalgan. Bu usul, shuningdek, atmosfera bosimi ostida qaynatish orqali parchalanadigan va shuning uchun qaynatish bilan parchalanishi mumkin bo'lgan birikmalar uchun juda foydalidir.



Dimetilsulfoksid odatda 18°C da qaynaydi.
Vakuum ostida esa u faqat 70°C da qabul qiluvchiga distillatsiya qilinadi.

Havo sezgir vakuumli distillatsiya



Perkin uchburchagini distillatsiya qilish qurilmasi.

1. Aralashtiruvchi tayoq/zarbaga chidamli granularlar 2. Distillash idishi 3. Fraksionlashtirish ustuni 4. Termometr/ qaynatish nuqtasi harorati 5. Teflon kran 6. Sovuq barmoq 7. Sovitish suvi chiqishi 8. Sovitish suvi kirishi 9. Teflon kran 10. Vakuvm/gaz kirish 11. Teflon kran 12. Distillash qabul qilgich.

Ba'zi birikmalar yuqori qaynatish nuqtalariga ega bo'lib, shu bilan birga havoga sezgir bo'ladi. Yuqorida keltirilgan oddiy vakuum distillash tizimi ishlatilishi mumkin, bunda distillash tugagach, vakuum inert gaz bilan almashtiriladi. Biroq, agar biror fraksiyani pasaytirilgan bosimda yig'ish kerak bo'lsa, bu tizim qoniqarsiz bo'ladi. Buning uchun "pig" adaptorini kondensatorning oxiriga qo'shish, yaxshiroq natijalarga erishish yoki juda havoga sezgir birikmalar uchun Perkin uchburchak apparatini ishlatish mumkin.

Perkin uchburchagi shisha yoki teflon kranlari orqali distillashning asosiy qismiga tegmasdan fraksiyalarni ajratishga imkon beruvchi vositalarga ega, shuningdek distillashning asosiy qismi vakuum yoki issiqlik manbasidan olinmasdan, qaytalanish holatida qolishi mumkin. Buning uchun namunani birinchi navbatda kranlar yordamida vakuumdan ajratib olish kerak, keyin esa vakuum o'rniga inert gaz (masalan, azot yoki argon) bilan almashtiriladi, so'ng u yopilishi va chiqarilishi mumkin. Yangi yig'ish idishi tizimga qo'shilishi, evakuatsiya qilinishi va distillash tizimiga qaytadan ulanib, ikkinchi fraksiyani yig'ish uchun ishlatiladi va hokazo barcha fraksiyalar yig'ilguncha davom etadi.

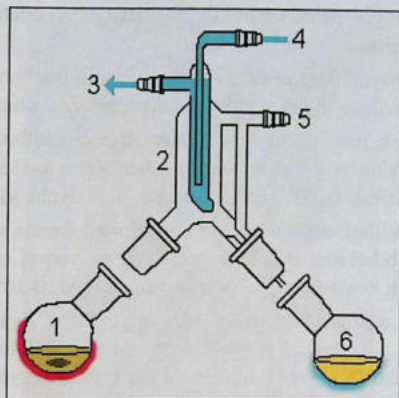
Azeotropik distillash

Eslatib o'tish joizki, aralashmaning komponentlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar aralashmaga xos bo'lgan xususiyatlarni yaratadi, chunki ko'pgina jarayonlar noideal aralashmalarni o'z ichiga oladi, bu yerda Raul qonuni amal qilmaydi. Bunday o'zaro ta'sirlar doimiy qaynatish azeotropini yaratishi mumkin, u xuddi sof birikma kabi xatti-harakat qiladi (ya'ni bir nechta temperaturada emas, faqat bitta temperaturada qaynaydi). Azeotropda, aralashma berilgan komponentni bug'da bo'lganidek, bir xil nisbatda o'z ichiga oladi, shuning uchun u tozaligini o'zgartirmaydi va distillash ajratishga ta'sir qilmaydi. Masalan, etil spirt va suv 95 foizli azeotropni hosil qiladi va bu 78.2 °C da qaynaydi.

Azeotrop yetarlicha toza deb hisoblanmasa, azeotropni buzish va sof distillat olish uchun ba'zi texnikalar mavjud. Bu texnikalar azeotropik distillash deb ataladi. Ba'zi usullar bu azeotropik tarkibdan "o'tib" ketadi (qo'shimcha komponent qo'shish orqali yangi azeotrop yaratish yoki bosimni o'zgartirish orqali). Boshqalar esa kimyoviy yoki jismoniy ravishda ifloslikni olib tashlash yoki o'zlashtirish orqali ishlaydi. Masalan, etanolni 95 foizdan ortiq tozalash uchun qurituvchi moddalar yoki qurituvchilar, masalan, kaliy karbonat qo'shilishi mumkin, bu yerda suvni kristallanish uchun erimaydigan suvga aylantiradi. Molekulyar ekranlar ham ushbu maqsadda tez-tez ishlatiladi.

Qisqa yo'l bilan distillash

Qisqa yo'l bilan distillashi – bu distillash texnikasi bo'lib, unda distillat qisqa masofaga, ko'pincha faqat bir necha santimetrga yo'naladi. Klassik misol distillash, unda distillat bir shisha dumaloqdan boshqasiga o'tadi, ikkita kamera orasida kondensator kerak bo'lmasdan. Bu texnika yuqori temperaturada barqaror bo'lmagan birikmalar uchun ko'pincha ishlatiladi. Afzalliklari shundaki, qaynatilayotgan suyuqlikning temperaturasi distillangan moddaning qaynatish nuqtasidan sezilarli darajada yuqori bo'lishi shart emas va gazlar gaz holatida bo'lganda faqat qisqa masofani bosib o'tib, keyin yana past haroratga sovitilishi mumkin.



Qisqa yo'l bilan vakuum distillash apparati vertikal kondensator (sovuq barmoq) bilan, distillash yo'lini minimallashtirish uchun:

1. Aralashtirgich/zarbaga chidamli granularlar bo'lgan haydash kubi. 2. Kondensatni yo'naltirish uchun egilgan sovuq barmoq. 3. Sovitish suvi chiqishi. 4. Sovitish suvi kirishi. 5. Vakuum/gaz kirishi. 6. Distillat kolbasi/Distillat.

Boshqa turlar

- Rotatsion bug'lanishda vakuum distillash apparati namunadan katta hajmdagi erituvchilarni olib tashlash uchun ishlatiladi. Odatda vakuum suv aspiratori yoki membranali nasos yordamida hosil qilinadi.

- Kugelrorda qisqa yo'l distillash apparati odatda yuqori vakuum bilan kombi-natsiyada yuqori qaynoq nuqtali ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$) birikmalarni distillash uchun ishlatiladi. Apparatlarda distillash uchun joylashtirilgan birikma, pechdan tashqarida joylashgan qabul qilish qismi va namunani aylantirish usuli mavjud. Vakuum odatda yuqori vakuum nasosi yordamida hosil qilinadi.

- Reaktiv distillash jarayoni reaksiya idishini haydash kubi sifatida ishlatishni o'z ichiga oladi. Ushbu jarayonda mahsulot odatda reagentlaridan ancha past qaynoq nuqtaga ega bo'ladi. Mahsulot reagentlardan hosil bo'lishi bilan u bug'lanadi va reaksiya aralashmasidan olib tashlanadi. Ushbu texnika uzluksiz jarayonning namunasidir, afzalliklari: reaksiya idishini boshlang'ich material bilan to'ldirish uchun kamroq vaqt sarflanadi va ishlov berish osonroq bo'ladi.

- Destruktiv distillashda qattiq moddalarning (odatda organik materiallar) kislorodsiz muhitda (yoqilishdan saqlanish uchun) kuchli isitilishi orqali turli yuqori qaynoq suyuqliklar va termoliz mahsulotlari bug'lanadi. Evolutsiya qilingan gazlar sovitilib, normal distillashda bo'lgani kabi kondensatsiyalanadi. Yog'ochdan

metanol olish uchun yog'ochni destruktiv distillash uning odatiy nomi – yog'och spirtining kelib chiqishidir.

- Kirish – bu suyuqliklar aralashmalarini qisman bug'lanish orqali ajratish usuli bo'lib, u o'tkazilmaydigan membrana orqali amalga oshiriladi.

- Quruq distillash, nomiga qaramay, haqiqatan ham distillash emas, balki piro-liz deb nomlangan kimyoviy reaksiya bo'lib, unda qattiq moddalar kuchli kamay-tiruvchi muhitda isitiladi va har qanday uchuvchi fraksiyalar yig'iladi.

- Ekstraktiv distillash distillashni o'z ichiga oladi, bunda aralashmadagi bos-hqa komponentlar bilan azeotrop hosil qilmaydigan, yuqori qaynoq va nisbatan uchuvchi bo'lmagan komponent, ya'ni erituvchi mavjud bo'ladi.

- Tezkor (yoki qisman) bug'lanish – bu to'yingan suyuqlik oqimi biron-bir tormozlash klapani yoki boshqa tormozlash qurilmasi orqali bosimning kamayis-hi bilan yuzaga keladigan qisman bug'lanishdir. Ushbu jarayon eng oddiy birlik operatsiyalaridan biridir.

- Muzlatib distillash – bu bug'lanish o'rniga muzlatish yordamida tozalash-ning o'xshash usuli. Bu haqiqiy distillash emas va distillash bilan teng mahsulot-larni ishlab chiqarmaydi. Ushbu jarayon sovitilgan pivo va vino ishlab chiqarishda etanol va shakar miqdorini oshirish uchun ishlatiladi.

- Qo'shmadistillash – bu ikki birikma bir-biri bilan aralashmaydigan aralash-malarga distillashni o'z ichiga oladi.

Sanoat distillashishi

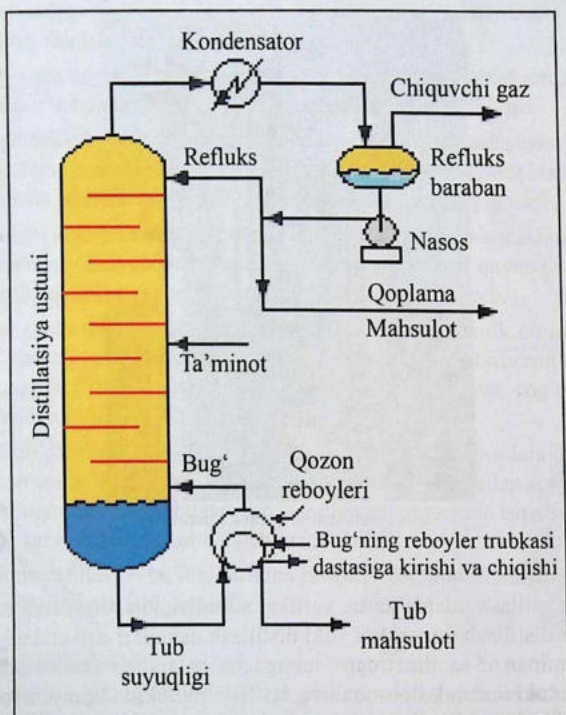
Sanoat distillashining yirik hajmdagi qo'llanmalari guruh va uzluksiz fraksi-onli, vakuumli, azeotropik, ekstraktiv va bug'langan distillashni o'z ichiga oladi. Uzluksiz, barqaror holatdagi fraksionli distillashning eng keng tarqalgan sanoat-dagi qo'llanmalari neftni qayta ishlash zavodlari, neft-kimyoviy va kimyo zavod-lari hamda tabiiy gazni qayta ishlash zavodlarida amalga oshiriladi.



Sanoat distillashining tipik minoralari.

Sanoat distillash odatda katta, vertikal silindrsimon ustunlarda amalga oshiriladi, ular distillash minoralari yoki distillash ustunlari deb ataladi. Ularning diametri taxminan 65 santimetrdan 6 metrgacha, balandligi esa taxminan 6 metrdan 60 metr yoki undan ko'proqqa teng bo'lishi mumkin. Agar jarayonning xomashyosi turli xil tarkibga ega bo'lsa, masalan, xom neftni distillashda, ustundagi intervaldagi suyuqlik chiqish joylari turli qaynama nuqtalari yoki qaynama oralig'iga ega bo'lgan turli qismlar yoki mahsulotlarni olish uchun ishlatiladi. "Eng yengil" mahsulotlar (eng past qaynama nuqtasiga ega bo'lganlar) ustunning yuqori qismidan chiqadi, "eng og'ir" mahsulotlar (eng yuqori qaynama nuqtasiga ega bo'lganlar) esa ustunning pastki qismidan chiqadi va ko'pincha "tub" deb ataladi.

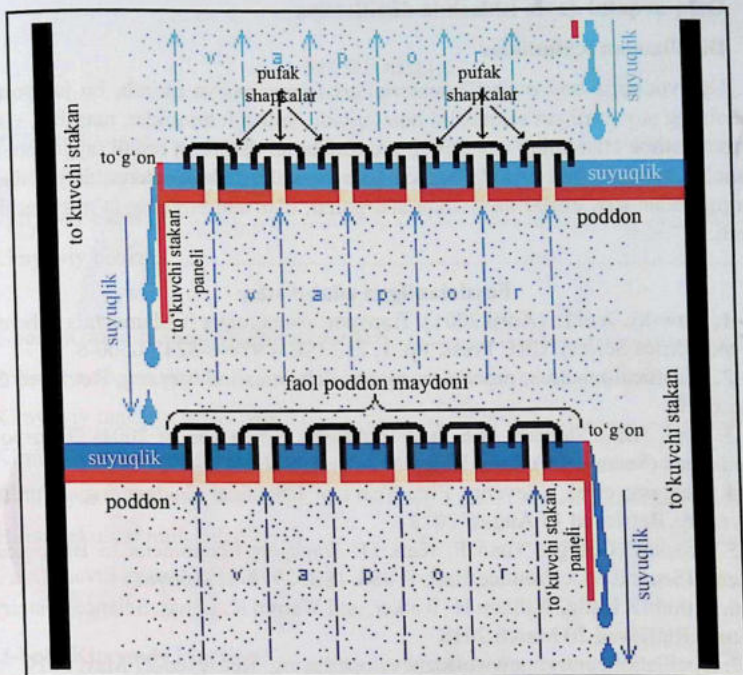
Katta hajmdagi sanoat minoralarida mahsulotlarning yanada to'liq ajratilishi uchun refluksdan foydalaniladi. Refluks – bu distillash yoki fraksionatsiya ustunidan, shuningdek, yuqori qismiga qaytariladigan kondensatsiyalangan yuqori tomondagi suyuqlik mahsulotining bir qismi. Ustunning ichida pastga oqib ketayotgan refluks suyuqligi yuqoriga ko'tarilayotgan bug'larni sovitish va kondensatsiyalashni ta'minlaydi, bu esa distillash ustunining samaradorligini oshiradi. Agar berilgan sonli nazariy platalar uchun ko'proq refluks berilsa, ustun pastroq qaynama materiallarini yuqori qaynama materiallardan yaxshiroq ajratadi. Aksincha, agar berilgan kerakli ajratish uchun ko'proq refluks berilsa, kamroq nazariy platalar talab qilinadi.



Oddiy sanoat distillash minorasining diagrammasi.

Bunday sanoat fraksionatsiya minoralari havoni ajratishda ham ishlatiladi, suyuq kislorod, suyuq azot va yuqori tozalangan argon ishlab chiqaradi. Xlorsilanlarning distillatsiyasi, shuningdek, yarimo'tkazgich sifatida ishlatiladigan yuqori tozalangan kremniy ishlab chiqarishni ta'minlaydi.

Distillatsiya minorasining rejasi va ishlashi xomashyo va kerakli mahsulotlarga bog'liq. Oddiy, ikkita tarkibiy qismli xomashyo uchun analitik usullar, masalan, MakKeyb-Tile usuli yoki Fenske tenglamasi ishlatilishi mumkin. Ko'p komponentli feed uchun esa dizayn va ish jarayonida simulyatsiya modellari foydalaniladi. Shuningdek, distillatsiya minoralarida ishlatiladigan bug' va suyuqlik kontakt qurilmalari (ko'pincha "plitalar" yoki "paletlar" deb ataladi) samaradorligi odatda nazariy 100 foiz samarali muvozanat bosqichidan pastroq bo'ladi. Shunday qilib, distillatsiya minorasi nazariy bug' va suyuqlik muvozanati bosqichlaridan ko'proq paletga ega bo'lishi kerak.



Pufakchali qopqoq bilan paletalar tafsilotlarini ko'rsatuvchi sanoat distillatsiya minorasining platformasi.

Sanoatda ba'zan kolonka ichida paletalar o'rniga to'kilgan material ishlatiladi, ayniqsa kolonka bo'ylab past bosim pasayishini talab qiladigan hollarda, masalan, vakuum ostida ishlaganda. Ushbu to'kilgan material tasodifiy to'kilgan qadoqlar (1–3 dyum kenglikdagi) yoki tuzilgan metall plitalar bo'lishi mumkin. Suvlar, odatda, to'kilgan materialning yuzasini namlaydi va bug'lar bu namlangan yuzadan o'tib, massa uzatish jarayoni amalga oshadi. An'anaviy paletli distillatsiya bilan solishtirganda, bunda har bir palet alohida bug'li-suyakli muvozanat nuqtasini ifodalaydi, qadoqlangan kolonka ichidagi bug'li-suyakli muvozanat egri chizig'i uzluksizdir. Biroq, qadoqlangan ustunlarni modellashirishda, odatda paletlarga nisbatan qadoqlangan kolonkaning ajratish samaradorligini ko'rsatish uchun “nazariy bosqichlar” sonini hisoblash foydalidir. Turli shakldagi qadoqlar turli yuzalar va qadoqlar orasidagi bo'shliq joylarga ega. Ushbu omillar qadoqlash samaradorligiga ta'sir qiladi.

Oziq-ovqatni qayta ishlashda distillatsiya

Distillangan ichimliklar

Uglevodlarga boy o'simlik materiallari fermentatsiya qilinib, bu jarayonda etanolning suyultirilgan eritmasini hosil qiladi. Spirtli ichimliklar, masalan, viski va rom, ushbu etanolning suyultirilgan eritmalarini distillash orqali tayyorlanadi. Etanolga qo'shimcha ravishda boshqa komponentlar ham kondensatda yig'iladi, shu jumladan suv, efirlar va boshqa alkogollar, ular ichimlikning ta'mini tashkil qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Plawsky, Joel L. (April 2001). Transport phenomena fundamentals (Chemical IndlJltries Series). CRC Press. Pp. 1, 2, 3. ISBN 978-0-8247-0500-8
2. Chemical-reactors, processes: essentialchemicalindustry.org, Retrieved 21 July, 2019
3. Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (August 2001). Transport Phenomena (Second ed.). John Wiley & Sons. ISBN 0-471-41077-2
4. Delgass; et al. «Seventy Five Years of Cheniical Engineering». Purdue University. Retrieved 13 August 2013
5. Truskey, George; Yuan F; Katz D. Transport Phenomena in Biological Systems (Second ed.). Prentice Hall. P. 888. ISBN 978-0131569881
6. Arthur D. Llitle, William H. Walker, and Warren K. Lewis. Science Histoiry Institute. Retrieved 20 March 2018
7. Distillation, entry: newworldencyclopedia.org, Retrieved 27 May, 2019
8. Sinnott and Towler (2009). Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design (5th ed.). Butterworth-Heine-mann. ISBN 0750685514

MUNDARIJA

So'zboshi	3
1-bob. Kimyo muhandisligi nima?	5
Kimyoviy element	7
Kimyoviy birikma	9
2-bob. Kimyo muhandisligi tarmoqlari	49
Polimer muhandisligi	49
Kimyoviy reaksiya muhandisligi	50
Kimyoviy termodinamika	50
Biokimyoviy muhandislik	57
Biomolekulyar muhandislik	58
Farmatsevtika muhandisligi	70
3-bob. Kimyoviy kinetika	72
Kimyoviy tenglama	73
Kimyoviy reaksiyalar	89
Massa harakati qonuni	143
Kimyoviy muvozanat	145
To'qnashuv nazariyasi	158
4-bob. Elektrokimyoviy muhandislik	162
Elektrokimyoviy reaksiyalar	162
Standart elektrod potentsiali	182
Elektrokimyoviy hujayralar	184

5-bob. Kimyo muhandisligining turli jihatlari	217
Kimyoviy reaktor	217
Kimyo zavodi	231
Transport hodisalari	241
Kimyoviy jarayon	246
Birlik operatsiyasi	248
Loyihalash jarayoni	249
Ajratish jarayoni	251

ROB HANSON

KIMYO MUHANDISLIGI

Muharrirlar
Badiiy muharrir
Texnik muharrir
Sahifalovchi

N. Rustamova, T. Mirzayev
D. Mulla-Axunov
R. Ahmedov
G. Ahmedova

Noshirlik faoliyati to'g'risidagi xabarnoma
6.11.2023-yil qabul qilingan, tasdiqnoma № 156149.
Bosishga 2025-yil 25-iyulda ruxsat etildi.
Bichimi 70x100 1/16. Bosma tabog'i 17.
Adadi 50. Buyurtma № 012/O-25.

"Donishmand ziyosi" MChJ nashriyotida nashrga tayyorlandi.
Toshkent shahar, Navoiy ko'chasi, 30-uy.

"Kamalak-PRESS" MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahar, Navoiy ko'chasi, 30-uy.

Ushbu xorijiy o'quv adabiyoti o'zbek tiliga ilk marotaba tarjima qilinganligi munosabati bilan nashriyot va tarjimonlar tomonidan ayrim kamchilik va xatoliklarga yo'l qo'yilgan bo'lishi mumkin. Kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida fikr-mulohazalaringizni quyidagi manzil va telefon raqamlari orqali qabul qilamiz.

Manzil: Toshkent shahar, Navoiy ko'chasi, 30-uy.
Telefon raqami 71-244-15-53.

«DONISHMAND ZIYOSI»

ISBN 978-9910-715-50-1



9 789910 715501