

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH MINTAQAVIY MARKAZI

**FIZIKAVIY KIMYO: ZAMONAVIY
NAZARIYA VA AMALIYOT**

2023

Avezov H.T.

kimyo fanlari nomzodi, dotsent.



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI
OSHIRISH MINTAQAVIY MARKAZI**

**“FIZIKAVIY KIMYO: ZAMONAVIY NAZARIYA VA
AMALIYOT”**

MODULI BO‘YICHA

O‘QUV-USLUBIY MAJMUA

Kimyo

Buxoro – 2023

Modulning o`quv-uslubiy majmuasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023 yil 25 avgustdagi 391-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan o`quv dasturi va o`quv rejasiga muvofiq ishlab chiqilgan.

Tuzuvchi: **H.T. Avezov** – kimyo fanlari nomzodi, dotsent.

Taqrizchi: **M.A. Tursunov** - kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori, professor.

**O`quv -uslubiy majmua Buxoro davlat universiteti Ilmiy
Kengashining qarori bilan nashrga tavsiya qilingan
(2023 yil “29” avgustdagi 1-sonli bayonnoma)**

MUNDARIJA

I. ISHCHI DASTUR	5
II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA‘LIM METODLARI	12
III. NAZARIY MATERIALLAR	20
IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI	81
V. GLOSSARIY	92
VI. ADABIYOTLAR RO‘YXATI.....	96

I. ISHCHI DASTUR

Kirish

Mazkur dastur rivojlangan xorijiy davlatlarning oliy ta'lim sohasida erishgan yutuqlari hamda orttirgan tajribalari asosida "Kimyo" qayta tayyorlash va malaka oshirish yo'nalishi uchun tayyorlangan namunaviy o'quv reja hamda dastur mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo'lib, u zamonaviy talablar asosida qayta tayyorlash va malaka oshirish jarayonlarining mazmunini takomillashtirish hamda oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Jamiyat taraqqiyoti nafaqat mamlakat iqtisodiy salohiyatining yuksakligi bilan, balki bu salohiyat har bir insonning kamol topishi va uyg'un rivojlanishiga qanchalik yo'naltirilganligi, innovatsiyalarni tadbiq etilganligi bilan ham o'lchanadi. Demak, ta'lim tizimi samaradorligini oshirish, pedagoglarni zamonaviy bilim hamda amaliy ko'nikma va malakalar bilan qurollantirish, chet el ilg'or tajribalarini o'rganish va ta'lim amaliyotiga tadbiq etish bugungi kunning dolzarb vazifasidir.

Hozirgi kunda har bir rahbar xodim va professor-o'qituvchilar Kimyoning zamonaviy yutuqlari bilan tanish bo'lishi va ularni nazariy va amaliy ko'llay bilishi lozim.

Ushbu dasturda fizikaviy, kolloid va polimerlar kimyosining zamonaviy zarur jabhalaridagi yutuqlar bayon etilgan. Bugungi kunda oliy ta'lim muassasalarida ilmiy ishlarni eng zamonaviy darajada olib borish, talabalarni ham oxirgi yutuqlar doirasida o'rgatib borish dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Modulning maqsadi va vazifalari

"Fizikaviy kimyo: zamoaviy nazariya va amaliyot" modulining maqsadi va vazifalari:

- pedagog kadrlarni qayta tayyorlash va malaka oshirish kursi tinglovchilarini fizikaviy, kolloid va polimerlar kimyosi haqidagi bilimlarini takomillashtirish, nazariy tahlil va fizikaviy tadqiqot uslublarini amalda qo'llash, shuningdek, ularda fizikaviy, kolloid va polimerlar kimyosi to'g'risida ko'nikma va malakalarini

tarkib toptirish, fizikaviy va kolloid kimyo sohasidagi zamonaviy holat bilan tanish bo'lish, tinglovchilarda nazariy tahlil va fizikaviy tadqiqot uslublarini amalda qo'llash ko'nikmasi va malakalarini shakllantirish, fizikaviy, kolloid va polimerlar kimyosi sohasida o'quv-laboratoriya uslubiyatlari ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etishga o'rgatish.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetentsiyalariga qo'yiladigan talablar

“Fizikaviy kimyo: zamonaviy nazariy va amaliyot” modulini o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

- kimyo sohasi bo'yicha Respublikada ilmiy-tadqiqot ishlarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari va ularning mohiyati;

-yangi innovatsion va pedagogik texnologiyalarni va ularning xalqaro qiyosiy tahlili;

-kimyo sohasiga oid yangi nazariy qarashlar va kontseptsiyalarni, ilmiy natijalar, ilmiy adabiyotlar yoki ilmiy-tadqiqot loyihalarini tahlil qilishi;

-kimyo sohasiga oid amaliy va nazariy masalalarini yechishi, yangi texnologiyalarni va dasturlar paketlarini qo'llashi;

-o'tkazilayotgan ilmiy-tadqiqot loyihalari mavzusi bo'yicha modellar, algoritmlar, metodlarni tadqiq qilishi va ishlab chiqishi;

-ilmiy-texnikaviy hisobotlar tuzish, tadqiqotlar mavzusi bo'yicha ilmiy sharhlarni ishlab chiqish, referat va bibliografiyalarni tuzish haqida **bilimlarga ega bo'lishi;**

Tinglovchi:

- o'quv fanlarini o'qitish metodikasini egallashi;

-kimyo va kimyoviy texnologiya sohasida axborot texnologiyalari yordamida mustaqil ravishda yangi bilim va amaliy ko'nikmalarni egallashi hamda ulardan amaliy foydalana olish qobiliyatiga ega bo'lishi;

-yangi g'oyalarni yaratish va ilmiy-tadqiqot ishlarini mustaqil olib borish qobiliyatiga hamda ilmiy jamoada ishlashi;

-o'zining intellektual va umummadaniy darajasini takomillashtirish qobiliyatiga ega bo'lishi va o'z shaxsining ma'naviy va jismoniy takomillashishiga erishishi;

-zamonaviy axborot va pedagogik texnologiyalardan foydalanib, noan'anaviy o'quv mashg'ulotlarini o'tkazish **ko'nikma va malakalarini egallashi;**

Tinglovchi:

-kimyo sohasida kasbiy faoliyat yuritish uchun zarur bo'lgan bilim, ko'nikma, malaka va shaxsiy sifatlarga ega bo'lishi;

-ilmiy-tadqiqotda innovatsion faoliyat;

-ishlab chiqarish faoliyat;

-konsalting xizmati faoliyatini boshqara olishi;

-muloqotga kirishish va mustaqil faoliyatni tashkil etish yuzasidan **kompetentsiyalarni** egallashi lozim.

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

“Fizikaviy kimyo: zamonaviy nazariy va amaliyot”moduli ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Kursni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy uslublari, axborot-muloqot texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida taqdimot va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash va boshqa interfaol ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning o'quv rejadagi boshqa modullar bilan bog'liqligi va uzviyligi

“Fizikaviy kimyo: zamonaviy nazariy va amaliyot”moduli o'quv rejadagi birinchi blok va mutaxassislik fanlarining barcha sohalari bilan uzviy bog'langan holda pedagoglarning umumiy tayyorgarlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar ta'lim jarayonini tashkil etishda texnologik yondashuv asoslarini va bu boradagi ilg'or tajribani o'rganadilar, ularni tahlil etish, amalda qo'llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat					Mustaqil ta'lim
		Hammasi	Jami	Auditoriya o'quv yuklamasi jumladan			
				Nazariy mashg'ulot	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot	
1.	Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtayi nazardan yo'nalishini aniqlash usullari. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi.	4	4	2	2		
2.	Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch-molekulyar reaksiyalarda qo'llash. O'tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash. Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari.	4	4	2	2		
3.	Vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar. Polimer xususiyatli grafitimon nanofotokatalizatorlar. Muqobil energetika. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari.	4	4	2	2		
4.	Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. Elektr o'tkazuvchan polimerlar. Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash. Elektronika sohasi uchun yuqori elektr	4	4	2	2		

	o'tkazuvchanlikka va noyob fizik-kimyoviy xossalarga ega boigan yarimo'tkazgichlar yaratish.						
5.	Fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag'ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo'nalishlari. Supramolekulyar kimyo yo'nalishidagi ilmiy izlanishlar, Polimer materiallar xossal arini termodinamik va kinetik jihatdan yoritish. Polimer gellar. Statistika va klassik termodinamikada entropiya.	2	2	-	2		
	Jami	18	18	8	10		

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Fizik kimyoning termodinamik qonunlari

Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtayi nazardan yo'nalishini aniqlash usullari. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi.

2-mavzu: Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar

Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch- molekulyar reaksiyalarda qollash. O'tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash. Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari.

3-mavzu: Vodород energetikasi. Muqobil energetika

Vodород energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar. Polimer xususiyatli grafitimon nanofotokatalizatorlar. Muqobil energetika. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari.

4-mavzu: Kvant nuqtalari. Yarimo'tkazgichlar yaratish

Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. Elektr o'tkazuvchan polimerlar. Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash. Elektronika sohasi uchun yuqori elektr o'tkazuvchanlikka va noyob fizik-kimyoviy xossalarga ega boigan yarimo'tkazgichlar yaratish.

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: Fizik kimyoning termodinamik qonunlari

Fizik kimyoning termodinamik qonunlari yuzasidan masalalar yechish . Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtayi nazardan yo'nalishini aniqlash usullari. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi mavzulari bo'yicha masalalar echiladi.

2-amaliy mashg'ulot: Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar

Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar asoslaridan masalalar yechish. Darsda zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch- molekulyar reaksiyalarda qollash. O'tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash. Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari olinishi bilan bog'liq masalalar ko'riladi.

3-amaliy mashg'ulot: Vodorod energetikasi. Muqobil energetika asoslaridan masalalar yechish

Darsda vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar. Polimer xususiyatli grafitimon nanofotokatalizatorlar. Muqobil energetika. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari bilan bog'liq masalalar ko'riladi.

4-amaliy mashg'ulot: Kvant nuqtalari. Yarimo'tkazgichlar yaratish

Darsda kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. Elektr o'tkazuvchan polimerlar. Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash. Elektronika sohasi uchun yuqori elektr o'tkazuvchanlikka va noyob fizik-kimyoviy xossalarga ega boigan yarimo'tkazgichlar yaratish yuzasidan masalalar tahlil qilinadi va bu o'tilgan mavzuni mustahkamlashga tubdan yordam beradi.

5-amaliy mashg'ulot: Supramolekulyar kimyodan masalalar yechish

Darsda fizikaviy kimyoning dolzarb mavzularga bag'ishlangan yangi zamonaviy ilmiy yo'nalishlari. Supramolekulyar kimyo yo'nalishidagi ilmiy izlanishlar, Polimer materiallar xossal arini termodinamik va kinetik jihatdan yoritish. Polimer gellar. Statistik va klassik termodinamikada entropiya bo'yicha masalalar echiladi.

O'qitish shakllari

Mazkur modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va interfaol pedagogik (Aqliy xujim, Venn diagrammasi, kontseptual jadval) usul va texnologiyalardan foydalaniladi;

o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, grafik organayzerlardan, keyslardan foydalanish, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, blits-so'rovlardan va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

II. MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTREFAOL TA'LIM METODLARI

“Keys-stadi” metodi

“Keys-stadi” - inglizcha soʻz boʻlib, (“case” – aniq vaziyat, hodisa, “stadi” – oʻrganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni oʻrganish, tahlil qilish asosida oʻqitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini oʻrganishda foydalanish tartibida qoʻllanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari oʻz ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), Qachon (When), Qaerda (Where), Nima uchun (Why), Qanday/ Qanaqa (How), Nima natija (What).

“Keys metodi”ni amalga oshirish bosqichlari

Ish bosqichlari	Faoliyat shakli va mazmuni
1-bosqich: Keys va uning axborot taʼminoti bilan tanishtirish	<ul style="list-style-type: none"> ✓ yakka tartibdagi audio-vizual ish; ✓ keys bilan tanishish(matnli, audio yoki media shaklda); ✓ axborotni umumlashtirish; ✓ axborot tahlili; ✓ muammolarni aniqlash;
2-bosqich: Keysni aniqlashtirish va oʻquv topshiriqni belgilash	<ul style="list-style-type: none"> ✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muammolarni dolzarblik ierarxiyasini aniqlash; ✓ asosiy muammoli vaziyatni belgilash;
3-bosqich: Keysdagi asosiy muammoni tahlil etish orqali oʻquv topshirigʻining	<ul style="list-style-type: none"> ✓ individual va guruhda ishlash; ✓ muqobil yechim yoʻllarini ishlab chiqish; ✓ har bir yechimning imkoniyatlari va

yechimini izlash, hal etish yo'llarini ishlab chiqish	to'siqlarni tahlil qilish; ✓ muqobil yechimlarni tanlash;
4-bosqich: Keys yechimini shakllantirish va asoslash, taqdimot.	✓ yakka va guruhda ishlash; ✓ muqobil variantlarni amalda qo'llash; imkoniyatlarini asoslash; ✓ ijodiy loyiha taqdimotini tayyorlash; ✓ yakuniy xulosa va vaziyat yechimining amaliy aspektlarini yoritish.

Кейси бажариш босқчилари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгиланг (индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Мобил иловани ишга тушириш учун бажариладагина ишлар кетма-кетлигини белгиланг (жуфтликлардаги иш).

Rentgen nurlari ta'siridan himoyalovchi ekranlar va nanozarrachalar

Rentgen nurlari bilan ishlovchi mutaxassislar uning zararli ta'siridan himoyalovchi, ishonchli ekranga muhtojlik sezishadi. Odatda bunday ekranlar qo'rg'oshin metali birikmalarini plastinka, shisha va boshqa materiallar yuzasiga ma'lum yullar bilan kiritish orqali tayyorlanib kelingan. Nanotexnologiyaning rivojlanishi bilan esa yangi usul paydo bo'ldi: bunda, rentgen nurlarini moddaning nanozarrachalari plastinkaning butun hajmi bo'ylab taqsimlanadi, so'ngra ulardan g'ilof va istalgan formadagi himoyalovchi buyumlar tayyorlashda foydalaniladi. Bu texnologiyaning yirik afzalligi shundaki, agar nanozarrachaning o'lchami ko'rinuvchan nurlarning to'lqin uzunligidan kichik bo'lsa, himoyalovchi plastinka ko'rinuvchan sohada shaffof bo'ladi.

1. Nima uchun rentgen nurlaridan himoyalovchi ekranlarni tayyorlashda, og'ir metallar yoki ularning birikmalaridan foydalaniladi?

2. Qo'rg'oshin metalidan qo'rg'oshin oksid PbO nanozarrachasini olish usulini taklif qiling. Reaksiya tenglamalarini yozing va sharoitlarni ko'rsating.
3. Qalinligi 1 sm bo'lgan, tarkibida massa bo'yicha 0,1% sferik ko'rinishidagi (diametri 100nm) PbO saqllovchi ekran, rentgen nurlari o'tishini necha marta susaytiradi. Qo'rg'oshin oksidning zichligi 9,53 g/sm³ga, plastinkaning zichligi esa 0,9 g/cm³ ga teng. Nanozarrachalar plastinkaning butun hajmi bo'yicha tasodifiy taqsimlangan deb hisoblang.

Eslatma: Hisoblashlarni amalga oshirishda quyidagi savollarga javob berishingiz lozim!

- a) ekranning tasodifiy nuqtasida bitta aniq nanozarrachaning kvant rentgen nurlarini yutmaslik ehtimolligi qanday?
- b) ekranning tasodifiy nuqtasida bittadan farqli nanozarrachaning kvant rentgen nurlarini yutmaslik ehtimolligi qanday?
- c) shunday materialdan tayyorlangan ekranning 1m³ qismi nechta nanozarracha saqlaydi?

Natural logarifmning asosi bo'lgan yesonini aniqlash sizga asqotadi:

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1 + x)^{1/x} = e \approx 2,718$$

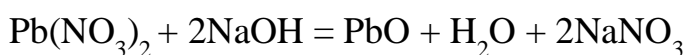
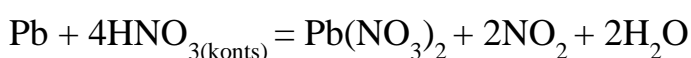
Keysning javobi

1. Moddaga rentgen nurlarining yutilish darajasi uning tarkibiga kiruvchi atomlar yadro zaryadlari qiymatlariga bog'liq bo'ladi: yadro zaryadi qiymati qancha katta bo'lsa, moddaga nurlanishning yutilish darajasi shuncha yuqori bo'ladi. SHuning uchun himoya ekranlari, himoya perronlari va boshqa himoya vositalarinini tayyorlashda qo'rg'oshin, vismut va boshqa og'ir metallarini tutgan materiallardan foydalaniladi.
(Savolning javobi uchun 2 ball).
2. Himoya qoplamalari deformatsiyalanganda dars ketishi yoki ko'chib ketishi mumkin. Bunday hollarda: a) nurlanishdan himoyalani darajasi pasayadi;

b) og'ir metallar birikmalarining ko'proq zaharliroq qism zarrachalari atrof-muhitga tarqaladi. Hajmida zarrachalar tarqalgan materiallar bunday kamchiliklardan holi.

(Savolning javobi uchun 2 ball).

3. Olinish usuli qo'rg'oshin tuzlari qaynoq suvli eritmalaridan ishqorlar ta'sirida PbO ni (200⁰S atrofida, bosim ostida) cho'ktirishga asoslangan bo'lishi mumkin.



(Savolning javobi uchun 2 ball).

4. Nanozarracha ko'ndalang kesim yuzasi maydoni S_0 , ekran ko'ndalang kesim yuzasi maydoni S bo'lsin. U holda ekranning tasodifiy nuqtasida bitta aniq nanozarrachaning kvant rentgen nurlarini yutmaslik ehtimolligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$p_0 = 1 - \frac{S_0}{S} \quad (\text{ Savolning javobi uchun } 0,5 \text{ ball}).$$

Zarrachalar hajmda tasodifiy taqsimlangan va bir-biridan mustaqil hisoblanadi. Bunday holda, fotonning ekran hajmidagi zarrachalar tomonidan yutilmaslik ehtimoli quyidagiga teng bo'ladi:

Bu yerda: N -ekran hajmidagi zarrachalar miqdori.

$$p = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right)^N, \quad (\text{ Savolning javobi uchun } 0,5 \text{ ball}).$$

Natural logarifmning asosi bo'lgan e sonini aniqlash ifodasidan quyidagini hosil qilamiz:

$$p = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right)^N = e^{-\frac{S_0 N}{S}} \quad (\text{Savol javobi uchun } 0,5 \text{ ball}).$$

Ekran hajmidagi zarrachalar miqdori quyidagiga teng:

$$N = cSd,$$

Bu yerda: c - hajmdagi zarrachalar konsentratsiyasi; d - ekran qalinligi. U holda ehtimollik quyidagiga teng:

$$p = e^{-S_0 cd}$$

Nanozarrachalar ko'ndalang kesim yuzasi esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$S_0 = \pi r^2 = 3.14 \cdot (100 \cdot 10^{-9} / 2)^2 = 7.85 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$$

bu yerda V_0 – nanozarracha hajmi, ρ – uning zichligi. Materialning kub metrda $0.9 / (4.99 \cdot 10^{-18}) = 1.80 \cdot 10^{17}$ nanozarracha bor. Ya'ni, material hajmidagi zarrachalar konsentratsiyasi $s = 1.80 \cdot 10^{17} \text{ m}^{-3}$ ga teng.

Endi zarrachalar konsentratsiyasini hisoblaymiz. 1 m^3 material massasi 900 kg, tarkibida esa 0,9 kg PbO tutadi (uning massa ulushi shart bo'yicha 0,1% ga teng). Bitta nanozarrachaning massasi esa quyidagiga teng:

$$m = V_0 \rho = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho = \frac{4 \cdot 3.14}{3} \cdot (100 \cdot 10^{-9} / 2)^3 \cdot 9530 = 4.99 \cdot 10^{-18} \text{ kr},$$

Fotonning ekran ichidan o'tish ehtimolligi quyidagiga teng:

$$p = e^{-S_0 cd} = 2.718^{-7.85 \cdot 10^{-15} \times 1.80 \cdot 10^{17} \times 0.01} = 7.30 \cdot 10^{-7}$$

Demak, rentgen nurlari $1 / (7,30 \cdot 10^{-7})$ ekranda $1,37 \cdot 10^6$ marta zaiflashadi.

(To'g'ri son qiymati uchun 2 ball)

(Savolning javobi uchun 4 ball)

“Assesment” metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod ta'lim oluvchilarning bilim darajasini baholash, nazorat qilish, o'zlashtirish ko'rsatkichi va amaliy ko'nikmalarini

tekshirishga yo'naltirilgan. Mazkur texnika orqali ta'lim oluvchilarning bilish faoliyati turli yo'nalishlar (test, amaliy ko'nikmalar, muammoli vaziyatlar mashqi, qiyosiy tahlil, simptomlarni aniqlash) bo'yicha tashhis qilinadi va baholanadi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

“Assesment” lardan ma'ruza mashg'ulotlarida talabalarning yoki qatnashchilarning mavjud bilim darajasini o'rganishda, yangi ma'lumotlarni bayon qilishda, seminar, amaliy mashg'ulotlarda esa mavzu yoki ma'lumotlarni o'zlashtirish darajasini baholash, shuningdek, o'z-o'zini baholash maqsadida individual shaklda foydalanish tavsiya etiladi. SHuningdek, o'qituvchining ijodiy yondashuvi hamda o'quv maqsadlaridan kelib chiqib, assesmentga qo'shimcha topshiriqlarni kiritish mumkin.

Assesment metodiga oid testlar

Termodinamika 1 qonunining integral ko'rinishi	$\delta Q = dU + \delta W$	$Q = \Delta U + W^*$	$\delta Q = dU + pdV$	$\delta Q = hdp + C_p dT$
Termik koeffitsientlar nima?	h, l	T, Q	α, β, γ^*	α, β, Q
Kalorik koeffitsientlar nima?	C_v, C_p, χ	l, h, C_v	h, C_v, C_p	$l, h, C_v, C_p, \chi, \lambda^*$
Ideal gaz holat tenglamasining differentsial ko'rinishi	$(\partial V/\partial p)T$	$(\partial V/\partial p)T(\partial p/\partial T)_v$	$(\partial V/\partial p)T(\partial p/\partial T)_v(\partial T/\partial V)_p = -1^*$	$(\partial p/\partial T)_v(\partial T/\partial V)_p$
Termodinamikani 1 qonunini kalorik koeffitsientlar orqali ifodasi	$\delta Q = hdp + C_p dT;$	$\delta Q = hdp + C_p dT;$ $\delta Q = ldV + S_v dT^*$	$\delta Q = ldV + S_v dT$	$\delta Q = dU + \delta W$
Termik kengayish	$(\partial V/\partial T)_p \cdot 1/V_0^*$	$(\partial Q/\partial V)T$	$(\partial U/\partial V)T$	$-(\partial V/\partial p)T$

koefitsienti				
Bosimning ortish koefitsienti	$-(\partial V/\partial p)T$ $\cdot 1/V_0$	$(\partial r/\partial T)_v$ $\cdot 1/p_0^*$	$(\partial Q/\partial V)T$	$(\partial U/\partial V)T$
Izotermik siqilish koefitsienti	$(\partial U/\partial V)T$	$(\partial Q/\partial V)T$	$-(\partial V/\partial p)T$ $\cdot 1/V_0^*$	$(\partial V/\partial T)_p$
Jismning izotermik kengayish issiqligi	$(\partial Q/\partial V)T^*$	$S_v dT$	$C_p dT$	$(\partial r/\partial T)_v$
Ichki bosim tushunchasi	$(\partial V/\partial T)_p$	$(\partial U/\partial V)T^*$	$(\partial Q/\partial V)T$	$-(\partial V/\partial p)T$

“Tushunchalar tahlili” metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod talabalar yoki qatnashchilarni mavzu buyicha tayanch tushunchalarni o’zlashtirish darajasini aniqlash, o’z bilimlarini mustaqil ravishda tekshirish, baholash, shuningdek, yangi mavzu buyicha dastlabki bilimlar darajasini tashhis qilish maqsadida qo’llaniladi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar mashg’ulot qoidalari bilan tanishtiriladi;
- o’quvchilarga mavzuga yoki bobga tegishli bo’lgan so’zlar, tushunchalar nomi tushirilgan tarqatmalar beriladi (individual yoki guruhli tartibda);
- o’quvchilar mazkur tushunchalar qanday ma’no anglatishi, qachon, qanday holatlarda qo’llanilishi haqida yozma ma’lumot beradilar;
- belgilangan vaqt yakuniga yetgach, o’qituvchi berilgan tushunchalarning to’g’ri va to’liq izohini o’qib eshittiradi yoki slayd orqali namoyish etadi;
- har bir ishtirokchi berilgan to’g’ri javoblar bilan o’zining shaxsiy munosabatini taqqoslaydi, farqlarini aniqlaydi va o’z bilim darajasini tekshirib, baholaydi.

Misol: glossariyda keltirilgan tushunchalarni tahlil qilish asosida fundamental tasavvurga ega bo'lish, mavzuni to'g'ri tushunib borish va masalalarning yechimining gnoseologik ildiz orqali, tushunchaning tahlili orqali shakllantirish.

III. NAZARIY MA'LUMOTLAR

1-MAVZU. FIZIK KIMYONING TERMODINAMIK QONUNLARI

REJA:

1. Ichki energiya va termodinamikaning birinchi qonuni
2. Entalpiya
3. Qaytar va qaytmas jarayonlar uchun termodinamikaning ikkinchi qonuni
4. Turli jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi
5. Termodinamikaning uchinchi qonuni

Tayanch iboralar: issiqlik, temperatura, ish, ichki energiya, issiqlik sig'imi, termodinamik sistema, klassik termodinamika, kimyoviy termodinamika, statistik termodinamika, nomuvozanat jarayonlar termodinamikasi, matematik apparat, termodinamika qonunlari, Karateodori printsipti, Karno tsikli, entropiya, entalpiya, Nernst teoremasi, Plank postulati.

1.1. Ichki energiya va termodinamikaning birinchi qonuni

Ichki energiya, ish va issiqlik orasidagi o'zaro bog'lanish termodinamikaning birinchi qonuni asosida o'rnatiladi. Termodinamikaning birinchi qonuni insoniyatning ko'p asrlik tajribasidan kelib chiqqan postulatdir. Termodinamika birinchi qonunining bir necha ta'riflari bo'lib, ular o'zaro ekvivalent va bir-biridan kelib chiqadi. Agar ulardan birini boshlang'ich deb olsak, boshqalari uning xulosasi sifatida paydo bo'ladi.

Kimyoviy termodinamika uchun juda ham muhim bo'lgan ta'riflardan biri ichki energiya orqali ifodalanadi: ichki energiya holat funksiyasi bo'lib, uning o'zgarishi jarayonning yo'lga bog'liq bo'lmasdan, sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlarigagina bog'liqdir. Sistema ichki energiyasining o'zgarishi ΔU atrof-muhit bilan issiqlik Q va ish W almashinish hisobiga sodir bo'lishi mumkin. Agar

sistema olgan issiqlikni va sistema bajargan ishni musbat desak, unda termodinamikaning birinchi qonunidan sistemaning tashqaridan olgan issiqligi ichki energiyaning o'zgarishiga va sistema bajargan ishga sarflanadi. Termodinamika birinchi qonunini matematik nuqtai nazardan integral ko'rinishda

$$Q = \Delta U + W \quad (1)$$

differentzial ko'rinishda

$$\delta Q = dU + \delta W \quad (2)$$

va faqat tashqi bosimga qarshi kengayish ishi bajarilayotgan xususiy hol uchun

$$\delta Q = dU + p dV \quad (3)$$

ko'rinishlarda analitik ifodalash mumkin. (2) va (3) tenglamalarda dU sistema ichki energiyasining to'liq differentzialidir, to'liq differentsialning xossalari esa, holat funksiyasining xossalariга mos keladi, bunda funksiyaning o'zgarishi faqat boshlang'ich va oxirgi shartlarga bog'liqligini va jarayonning yo'liga bog'liq emasligini ta'kidlab o'tamiz. Ichki energiyadan farqli, issiqlik va ish holat funksiyalari emas, ular jarayonning yo'liga bog'liq, ammo ularning ayirmasi jarayonning yo'liga bog'liq emas ekanligi yuqoridagi tenglamalardan kelib chiqadi.

1.2. Entalpiya

Faqat kengayish ishi bajariladigan jarayonlar uchun $V = \text{const}$ da (3)ni integrallasak,

$$Q_V = U_2 - U_1 = \Delta U \quad (4)$$

$p = \text{const}$ da (3)ni integrallab, o'zgartirish kiritsak,

$$Q_p = (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) \text{ yoki } Q_p = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) \quad (5)$$

Qavs ichidagi ifodani N bilan belgilasak,

$$H \equiv U + pV \quad (6)$$

Ushbu funktsiya entalpiya deyiladi, uni ko'pincha issiqlik saqlami deb ham atashadi. Ammo ushbu atama noto'g'ri tushuncha keltirib chiqarishi mumkin, chunki absolyut nolga ham $N_0 > 0$, ammo issiqlik yutilmaydi va chiqarilmaydi.

Entalpiya, ichki energiya kabi, holat funksiyasidir (chunki pV ham holat funksiyasi). (5) va (6)lardan:

$$Q_p = N_2 - N_1 = \Delta H \quad (7)$$

SHunday qilib, izobar jarayonning issiqligi sistema entalpiyasining o'zgarishiga teng. Issiqlikning juda kichik o'zgarishlari uchun (izoxor va izobar jarayonlar uchun)

$$\delta Q_v = dU \quad \text{va} \quad \delta Q_p = dH \quad (8)$$

(4) va (7) tenglamalardan izoxor va izobar jarayonlarda jarayonning issiqligi holat funksiyasi xossasiga ega bo'lib qoladi, ya'ni u jarayonning yo'liga bog'liq bo'lmasdan, sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liq bo'ladi.

N funksiyasining to'liq differentsialini topish uchun (6) tenglamani differentsiallaymiz:

$$dH = dU + pdV + Vdp \quad (9)$$

dU ning o'rniga (I.100) tenglamadan, so'ngra δQ ning o'rniga $\delta Q = hdp + C_p dT$ tenglamadan qiymatlarini qo'yib ushbuni olamiz:

$$dH = \delta Q + Vdp = hdp + C_p dT + Vdp = (h + V)dp + C_p dT \quad (10)$$

Agar bosim o'zgarmas bo'lsa, funktsiyaning to'liq differentsiali quyidagiga teng bo'ladi: $dH = C_p dT$ (11) Entalpiyaning o'zgarishi ko'p hollarda osongina o'lchanishi mumkin, shuning uchun ushbu funktsiya termodinamik tadqiqotlarda keng qo'llaniladi. Termodinamikaning tenglamalaridan foydalanib, entalpiyaning absolyut qiymatini hisoblab bo'lmaydi, chunki u o'z ichida ichki energiyaning absolyut qiymatini tutadi.

1.3. Qaytar va qaytmas jarayonlar uchun termodinamikaning ikkinchi qonuni

Qaytar jarayonlar uchun entropiyaning issiqlikka bog'liqligini ko'rib chiqamiz. Termodinamikaning 1-qonunidan

$$\delta Q_{\text{qaytar}} = dU + \delta W_{\text{qaytar}} \quad (12)$$

Agar faqat tashqi bosimga qarshi mexanik ish bajarilsa,

$$\delta W_{\text{qaytar}} = p dV \quad (13)$$

1 molъ ideal gaz uchun (I.89) tenglamadan $dU = nC_v dT$ bo'lgani uchun (I.145) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\delta Q_{\text{qaytar}} = C_v dT + p dV \quad (14)$$

bu yerda δQ -to'liq differentsial emas. Ideal gaz uchun C_v hajmdan bog'liq bo'lmagani uchun $\left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_T = 0$ ideal gaz holat tenglamasi $pV = RT$ dan $p = RT/V$ va

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \frac{R}{V}. \text{ Bu ifoda ham nolga teng bo'lganda to'liq differentsiallik sharti}$$

bajarilar edi.

$$\text{Demak, } \left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_T \neq \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \quad (15)$$

SHuning uchun δQ_{qaytar} to'liq differentsial emas^{1*}.

Ideal gaz misolida (I. 147) tenglamaning ikki tarafini T ga bo'lsak, u holda $\delta Q_{\text{qaytar}}/T$ to'liq differentsial xossasiga ega bo'lib qolishini isbotlaymiz.

Ideal gaz uchun $pV = nRT$ dan $\frac{p}{T} = \frac{nR}{V}$. U holda (I.147) tenglama 1 molъ ideal gaz uchun $\delta Q_{\text{qaytar}} = S_v dT + \frac{RT}{V} dV$ (16)

ko'rinishga keladi. (I.149) tenglamaning ikkala tarafini T ga bo'lsak,

$$\frac{\delta Q_{\text{qaytar}}}{T} = C_v d \ln T + R d \ln V \quad (17)$$

kelib chiqadi, bu yerda $\delta Q_{\text{qaytar}}/T$ – keltirilgan issiqlik. (17) tenglamadan

$$\left(\frac{\partial C_v}{\partial \ln V}\right)_T = \left(\frac{\partial R}{\partial \ln T}\right)_V = 0 \quad (18)$$

ekanligi ko'rinish turibdi.

SHunday qilib, keltirilgan issiqlik $\delta Q_{\text{qaytar}}/T$ ideal gaz uchun holat funktsiyasi, ya'ni entropiyaning to'liq differentsialidir

¹ Математикадан маълумки, агар $\delta Z = M dx + N dy$ ифодада $\delta Z = dZ$ бўлса, яъни δZ x ва y ўзгарувчилар бўйича тўлиқ дифференциал бўлса, унда M ва N коэффициентлар орасида қуйидаги муносабат бажарилади: $(\partial M / \partial y) = (\partial N / \partial x)$. Акс ҳолда δZ тўлиқ дифференциал эмас.

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{кайтар}}}{T} \quad (19)$$

Agar matematik nuqtai nazardan termodinamikaning birinchi qonuni ichki energiya holat funksiyasi ekanligi haqidagi hulosaga olib kelsa, termodinamikaning ikkinchi qonuni entropiyaning holat funksiyasi ekanligini ko'rsatadi. SHuni ta'kidlash lozimki, termodinamika birinchi qonunining matematik ifodasi qaytar va qaytmas jarayonlar uchun birdek adolatli bo'lsa, (19) tenglama faqat qaytar jarayonlar uchun adolatlidir. Bu hulosaga qaytar tsiklik jarayonda bajarilgan ish maksimal ekanligidan kelib chiqadi. (19) tenglama "absolyut harorat" tushunchasining ham aniq mazmunini ko'rsatish imkoniyatini beradi. δQ kattalik to'liq differentsial emas, dS esa, termodinamikaning ikkinchi qonuniga binoan, sistemaning bir qiymatli holat funksiyasining to'liq differentsialidir. SHu munosabat bilan, $1/T$ kattalik integrallovchi ko'paytiruvchi bo'lib, haroratlarning termodinamik shkalasini aniqlab beradi. Termodinamikaning ikkinchi qonuni haroratning eng quyi chegarasi $T=0$ va bu haroratda foydali ish koeffitsienti $\eta=1$ ekanligini ham aniqlaydi.

Entropiya ekstensiv kattalik bo'lib, sistemadagi moddaning miqdoriga bog'liq. Agar (I.152) tenglamani $\delta Q_{\text{qaytar}}=TdS$ ko'rinishida yozsak, entropiyaning ekstensivlik xossasi yanada yaqqolroq bo'ladi. δQ_{qaytar} energiya o'lchoviga ega bo'lganligi sababli, TdS ham energiya o'lchoviga ega bo'ladi. Ammo har qanday energiya intensivlik va ekstensivlik faktorlarining ko'paytmasiga teng bo'ladi. Bu yerda T intensivlik faktori bo'lsa, dS ekstensivlik faktori bo'ladi.

(19) Tenglama faqat ideal gazlar uchun emas, balki barcha moddalarga tegishlidir. SHuning uchun, ushbu tenglama har qanday sistemalarga taalluqli bo'lib, qaytar jarayonlar uchun termodinamika 2-qonunining matematik ifodasidir. Qaytar jarayonlar uchun $\delta Q_{\text{qaytar}}=0$, shuning uchun

$$dS=0 \quad \text{va} \quad \Delta S=0 \quad (20)$$

Bu esa muvozanat holatda entropiya maksimal ekanligini bildiradi (faqat

qaytar jarayonlar borishi mumkin bo'lganda).

Agar qaytar jarayon sistema holatining chegarali o'zgarishida borayotgan bo'lsa, unda

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 dS = \int_1^2 \frac{\delta Q_{\text{qaytar}}}{T} \quad (21)$$

Agar jarayon izotermik bo'lsa, (I. 154)tenglamadan

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{qaytar}}}{T} \quad \text{va} \quad T\Delta S = Q_{\text{qaytar}} \quad (22)$$

Aylanma jarayonlarda, har qanday holat funktsiyasi kabi, entropiyaning o'zgarishi ham nolga teng:

$$\oint dS = 0 \quad (23)$$

(23) va (19) tenglamalardan

$$\oint \frac{\delta Q_{\text{qaytar}}}{T} = 0 \quad (24)$$

Qaytar jarayonlar uchun termodinamikaning 2-qonunini entropiyaning mavjudligi va saqlanib qolishi haqidagi qonun deyish mumkin. Qaytar jarayonlarda izolyatsiyalangan sistemalarda (24) tenglamaga binoan entropiya doimiy bo'lib qoladi. Agar qaytar jarayon izolyatsiyalanmagan sistemada borsa, sistemaning entropiyasi o'zgarishi mumkin, u holda atrof-muhitning entropiyasi ham o'zgaradi, bunda qaytar jarayonda qatnashayotgan barcha jismlar entropiyalarining yig'indisi o'zgarmaydi.

Entropiyani tartibsizlik o'lchovi ham deyishadi: modda qanchalik tartibsiz bo'lsa, uning entropiyasi shunchalik katta bo'ladi. Masalan, 1 mol suvning standart sharoitdagi [298 K va 0,1013 MPa) entropiyasi turli agregat holatlar uchun quyidagicha (J/(mol·K)]: N₂O(kr.)=39,3; N₂O(s)=70,0; N₂O(g)=188,7.

Ma'lum miqdordagi moddaning entropiyasi molekulaning murakkablashishi bilan ortadi. Masalan, 298 K va 0,1013MPa da 1 mol SO (g)ning entropiyasi 197,4 ga SO₂ (g)niki esa, 213 J/(mol·K)ga teng. Sistemaning entropiyasi harorat ortishi

bilan ham ortadi.

Qaytmas jarayonlar uchun termodinamika ikkinchi qonunining matematik ifodasini chiqaramiz. Birinchi holatdan ikkinchi sistemaga qaytmas va qaytar jarayonlar orqali o'tsin. Termodinamikaning 1-qonuniga asosan, qaytmas va qaytar jarayonlar uchun

$$\delta Q_{\text{qaytmas}} = dU + \delta W_{\text{qaytmas}} \quad (25)$$

$$\delta Q_{\text{qaytar}} = dU + \delta W_{\text{qaytar}} \quad (26)$$

ko'rinishdagi tenglamalarni yozsak va aylanma jarayon uchun (25) dan (26)ni ayirsak:

$$\delta Q_{\text{qaytmas}} - \delta Q_{\text{qaytar}} = \delta W_{\text{qaytmas}} - \delta W_{\text{qaytar}} \quad (27)$$

ifodani olamiz. Ushbu ifoda 0ga teng, katta yoki kichik bo'lishi mumkin. Agar ikkala jarayon (to'g'ri va teskari) qaytar bo'lsa, (27) tenglama nolga teng bo'ladi, chunki qaytar jarayonni to'g'ri va teskari yo'nalishlarda o'tkazilganda sistemaning o'zida ham, atrof-muhitda ham hech qanday o'zgarishlar bo'lmaydi.

Agar (27) tenglamaning ikkala tarafi noldan katta bo'lsa, aylanma jarayonning birdan-bir natijasi atrof-muhitdan issiqlikning yutilishi va sistema tomonidan ekvivalent miqdorda ish bajarilishi bo'ladi, ya'ni issiqlikning ishga to'liq o'tishi kuzatiladi, bu esa termodinamikaning 2-qonuniga ziddir (Tomson). Agar (27) tenglamada ikkala tomon noldan kichik bo'lsa, bu hol termodinamikaning 2-qonuniga zid bo'lmaydi, chunki birdan-bir natija ishning issiqlikka to'liq o'tishi bo'ladi. SHunday qilib, 2-qonunning bevosita natijasi va jarayonlarning qaytmasligini belgilovchi 2 ta tengsizlik quyidagilardir:

$$\delta Q_{\text{qaytmas}} < \delta Q_{\text{qaytar}} \quad \text{yoki} \quad Q_{\text{qaytmas}} < Q_{\text{qaytar}} \quad (28)$$

$$\delta W_{\text{qaytmas}} < \delta W_{\text{qaytar}} \quad \text{yoki} \quad W_{\text{qaytmas}} < W_{\text{qaytar}} \quad (29)$$

(29)dan har qanday qaytmas jarayonlarning ishi doimo qaytar jarayonning ishidan kichikdir (sistemaning bir xil boshlang'ich va ohirgi holatlari uchun). SHuning uchun qaytar jarayonlardagi ishni maksimal deyiladi:

$$\delta W_{\text{qaytar}} = \delta W_{\text{max}} \quad \text{va} \quad W_{\text{qaytar}} = W_{\text{max}} \quad (30)$$

Bajarilgan ish maksimumdan qanchalik kichik bo'lsa, jarayon shunchalik qaytmas bo'ladi. Ish bajarilmasdan sodir bo'ladigan jarayonlar to'liq qaytmas deb ataladi.

Qaytmas jarayonda uzatilayotgan issiqlik bilan entropiyaning o'zgarishi orasidagi munosabatni topamiz. Qaytmas jarayondagi issiqlik (28) qaytar jarayondagidan kichikdir. (19) tenglamadan

$$dS > \frac{\delta Q_{\text{qaytmas}}}{T} \text{ yoki } TdS > \delta Q_{\text{qaytmas}} \quad (31)$$

yoki

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 dS = \int_1^2 \frac{\delta Q_{\text{qaytmas}}}{T} \quad (32)$$

Qaytmas, o'z-o'zidan boruvchi jarayonlar uchun izolyatsiyalangan sistemada $\delta Q_{\text{qaytmas}}=0$. (I.164) va (I.165) tengsizliklardan

$$dS > 0 \quad \text{va} \quad \Delta S > 0 \quad (33)$$

Bu tengsizliklarning ma'nosi shundan iboratki, nomuvozanat holatdagi izolyatsiyalangan sistemalarda barcha qaytmas jarayonlar entropiyaning ortishi bilan boradi. Izolyatsiyalangan sistemalarda $\Delta S < 0$ bo'lgan jarayonlarning borishi mumkin emas. Bunday ta'kidlash faqat izolyatsiyalangan sistemalarga tegishlidir. Izolyatsiyalanmagan sistemalarda atrof-muhit entropiyasining ortishi hisobiga $\Delta S < 0$ bo'lgan jarayonlar ham borishi mumkin.

Izotermik qaytmas jarayonlarda ($T=\text{const}$ da T_{ni} integral ostidan chiqarish mumkin):

$$dS > \frac{\delta Q_{\text{qaytmas}}}{T} \quad \text{va} \quad T\Delta S > Q_{\text{qaytmas}} \quad (34)$$

Qaytmas jarayonlarni tutuvchi aylanma jarayonlar uchun

$$\oint \frac{\delta Q_{\text{qaytmas}}}{T} < 0 \quad (35)$$

(31)–(35) tengsizliklar qaytmas jarayonlar uchun termodinamika ikkinchi qonunining ifodasidir. Qaytmas jarayonlar uchun termodinamikaning ikkinchi qonuni entropiyaning mavjudligi va ortib borishi qonunidir.

Qaytar va qaytmas jarayonlar uchun

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}; TdS \geq \delta Q \quad (36)$$

deb umumlashtirishimiz mumkin.

Izolyatsiyalangan sistemalar uchun $\delta Q=0$ bo'lgani uchun (I.169)dan

$$dS \geq 0; \quad \Delta S \geq 0 \quad (37)$$

(36) ifodaga δQ ning qiymatini qo'ysak, termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlarining umumlashgan ifodasini olamiz:

$$TdS \geq dU + \delta W \quad (38)$$

Sistemada qaytmas (cheksiz kichik) jarayon borsa, uning entropiyasi dS , birinchidan, atrof muhitdan issiqlik bilan ma'lum miqdordagi entropiya uzatilishi (dS_e) hisobiga, ikkinchidan, qaytmas jarayonda sistema ichida ma'lum miqdorda entropiya dS_i sodir bo'lishi hisobiga o'zgaradi. Paydo bo'lgan entropiya miqdori jarayon qaytmasligining o'lchovidir:

$$dS = -dS_e + dS_i \quad (39)$$

Qaytar jarayonda $dS_i=0$ bo'ladi.

Entropiya jarayonlarning borish-bormasligi va yo'nalishining hamda izolyatsiyalangan yoki adiabatik-izolyatsiyalangan sistemalarda termodinamik muvozanat holatining o'lchovidir. Agar izolyatsiyalangan sistemada o'z-o'zidan boruvchi qaytmas jarayon o'tayotgan bo'lsa, $dS > 0$ va $\Delta S > 0$ tengsizliklardan entropiyaning ortishi kelib chiqadi. Ushbu shartlar izolyatsiyalangan sistemada jarayonning amalga oshirilishining shartidir. Entropiya kamayadigan $dS < 0$ jarayonlarni izolyatsiyalangan sistemalarda amalga oshirib bo'lmaydi. Izolyatsiyalangan sistemalardagi jarayonlarda entropiya ortib borishi bilan bir vaqtning o'zida sistema muvozanat holatiga yaqinlashadi. Sistema muvozanatga erishganda barcha jarayonlar to'xtaydi va entropiya maksimal bo'ladi. SHunday qilib, izolyatsiyalangan sistemaning muvozanat holati maksimal entropiya holatidir.

“Izolyatsiyalangan sistema” tushunchasining ta'rifidan $\delta Q=0$ va $\delta W=0$ ekanligi va $\delta Q=dU+\delta W$; $\delta W=pdV$ ifodalardan ikkita tenglama kelib chiqadi:

$$dU=0 \quad \text{va} \quad dV=0 \quad (40)$$

Demak, izolyatsiyalangan sistemada jarayonlar $U=\text{const}$ da boradi. Izolyatsiyalangan sistemadagi muvozanat sharoitini $dS \geq 0$ va $\Delta S \geq 0$ ifodalarga binoan, matematik nuqtai nazardan, o'zgarish energiya va hajmdagi entropiya-

$$(dS)_{U,V} = 0; \quad (d^2S)_{U,V} < 0. \quad (41)$$

ning maksimumi sharti ko'rinishida yozish mumkin.

1.4. Turli jarayonlarda entropiyaning o'zgarishi

Turli jarayonlardagi entropiyaning o'zgarishlarini hisoblash uchun, uni sistemaning boshqa parametrlari bilan bog'lanishini topish zarur. Termodinamika ikkinchi qonuni tenglamasiga muvofiq jarayon issiqligi $\delta Q = TdS$. Buni termodinamika 1-qonuni tenglamasiga qo'ysak,

$$TdS = dU + pdV \quad \text{yoki} \quad dU = TdS - pdV \quad (42)$$

Xuddi shunday $N = U + pV$ tenglamani differentsiallasak va $\delta Q = dU + pdV$ ekanligini hisobga olsak, $dH = dU + pdV + Vdp = \delta Q + Vdp$ tenglama hosil bo'ladi yoki $\delta Q = TdS$ ekanligidan

$$dH = TdS + Vdp \quad (43)$$

(42) va (43) tenglamalardan hech qanday farazlarsiz qator hulosalar olish mumkin. Entropiyani sistemaning boshqa parametrlari bilan (p, V, T) bog'lovchi ifodalar bilan tanishamiz. O'zgaruvchilar sifatida S, V, T larni qabul qilamiz: $\varphi(S, V, T) = 0$ (aylana bo'yicha 3 ta xususiy hosilalarning ko'paytmasi doimo minus birga teng):

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_S = -1 \quad (44)$$

(42) tenglamadan S bilan V orasidagi aloqani topamiz. (42) ga binoan,

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V \quad \text{va} \quad -p = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S \quad (45)$$

Olingan xulosalarni qarama-qarshi tenglab:

$$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial S \cdot \partial V}\right) = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_V \quad (46)$$

Bundan:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_S = +\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_V \quad (47)$$

$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_S$ qiymatini (I.177)ga qo'yib:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_V = -1 \quad (48)$$

yoki

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \quad (49)$$

(49) tenglama ($T=\text{constda}$) sistemaning izotermik kengayishida entropiyaning ortishini hisoblashga imkon beradi:

$$\Delta S = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dV \quad (50)$$

Ideal gaz uchun $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{RT}{V}\right) = \frac{R}{V}$, shuning uchun $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{R}{V}$,

bundan

$$S = R \ln V + S_0 \quad (51)$$

bu yerda S_0 –integrallash doimiysi, uni termodinamikaning ikkita qonuni asosida aniqlab bo'lmaydi. 3-qonun kerak!!!

Ideal gazning izotermik kengayishida entropiyaning ortishini

$$\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V dT}{T} + nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (52)$$

tenglamadan keltirib chiqarish mumkin.

Agar $S_V = \text{const}$ bo'lsa (I.185)tenglama o'rniga

$$\Delta S = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (53)$$

deb yozish mumkin. Ideal gaz uchun $C_V = C_p - R$ va $\frac{T_1 V_2}{T_2 V_1} = \frac{p_1}{p_2}$ ekanligini hisobga

olib, (I.186) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\Delta S = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (54)$$

Izotermik jarayonda $T_2=T_1=\text{const}$ va $\ln \frac{T_2}{T_1} = 0$ ekanligini hisobga olsak (I.186) va

(I.187) tenglamalardan ideal gazning izotermik kengayishida entropiyaning ortishi

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = nR \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (55)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Izoxor jarayonda $V_2=V_1=\text{const}$ va $\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$ va (53)dan

$$\Delta S = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1} = nC_V \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (56)$$

ni olamiz.

Izobar jarayon uchun $r_2=r_1=\text{const}$ va $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$ hamda (56)dan

$$\Delta S = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} = nC_p \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (57)$$

tenglamani olamiz.

Ikkita ideal gazlarning o'zaro diffuziyasi uchun (ya'ni ideal gazlar eritmasining hosil bo'lish jarayoni uchun) entropiyaning o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Diffuziya qaytmas jarayondir. Undagi entropiyaning o'zgarishini hisoblash uchun har bir gazning boshlang'ich V_1 yoki V_2 hajmdan oxirgi ($V_1 + V_2$) hajmgacha qaytar izotermik kengayishidagi entropiya o'zgarishlarini hisoblash kerak. Bunda (57) tenglamadan quyidagilarni olamiz:

$$\Delta S_1 = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1}; \quad \Delta S_2 = n_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}; \quad (58)$$

va

$$\Delta S_{yM} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = R \left(n_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + n_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2} \right) \quad (59)$$

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \quad \text{va} \quad x_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \quad (60)$$

ekanligini hisobga olib, (I.193)larni (I.192)ga qo'yib ikkita ideal gazning o'zaro diffuziyalanib 1 molъ gazlar aralashmasi hosil qilishdagi entropiyaning o'zgarishini hisoblash uchun ifodani olamiz:

$$\Delta S = -R (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2) \quad (61)$$

(58) tenglamadan:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (62)$$

(49) tenglamadan hajm ortishi bilan entropiyaning doimo ortishi ko'rinib turibdi, chunki $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V > 0$.

Xohlagan modda ishtirokidagi izotermik jarayon ($T = \text{const}$) uchun, masalan, fazaviy o'tish uchun $\Delta S = \frac{Q_{\text{ka\u0438map}}}{T}$ tenglamadan

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{\text{f.ymuu}}}{T} \quad (63)$$

bu yerda: $\Delta N_{\text{f.o'tish}}$ —fazaviy o'tish absolyut issiqligi; T —fazaviy o'tish absolyut harorati. O'zgarmas hajmda yoki o'zgarmas bosimda boruvchi qaytar jarayon uchun umumiy holda:

$$\Delta S = \frac{\Delta U}{T} (V = \text{const}) \quad \text{va} \quad \Delta S = \frac{\Delta H}{T} (p = \text{const}) \quad (64)$$

Xuddi yuqoridagidek $\varphi(S, r, T) = 0$ tenglamadan S bilan r orasidagi bog'liqlikni topamiz:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S = -1 \quad (65)$$

lekin (43) $dH = TdS + Vdp$ tenglamadan

$$\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p = T; \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S = V \quad (66)$$

$$\left(\frac{\partial^2 H}{\partial S \cdot \partial p}\right) = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p \quad (67)$$

bundan

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_p \quad (68)$$

$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S$ ning qiymatini (65) tenglamaga qo'yib, ∂S larni qisqartirib yuborsak,

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (69)$$

$$\Delta S = -\int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp \quad (70)$$

(69) tenglamadan ko'rinishicha, bosim ortganda entropiya doimo kamayadi, chunki $-\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p < 0$.

Xususiyl holda ideal gaz uchun $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{p}$, shuning uchun $\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\frac{R}{p}$;

$$S = S_0 - R \ln p \quad (71)$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (72)$$

S bilan T orasidagi munosabatni topish uchun, ya'ni $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$ va $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p$

hosilalarini, hisoblash uchun, $\delta Q_V = dU_V = C_V dT$ va $\delta Q_T = dN_T = C_T dT$ munosabatlardan foydalanamiz:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T} \quad \text{va} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p = \frac{C_p}{T} \quad (73)$$

(73) tenglamalardan sistema qizdirilganda entropiyaning doimo ortishi ko'rinishida.

(73) tenglamalarni integrallab, izoxor (yoki izobar) jarayonlarda entropiyaning ortishini chiqaramiz:

$$\Delta S = \int_{T_2}^{T_1} \frac{C_V}{T} dT \quad (V=\text{const}) \quad \text{va} \quad \Delta S = \int_{T_2}^{T_1} \frac{C_p}{T} dT \quad (p=\text{const}) \quad (74)$$

Ideal gaz uchun S_V va C_p haroratga bog'liq emas, unda

$$V=\text{const da: } \Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{va} \quad S=C_V \ln T + \text{const} \quad (75)$$

$$p=\text{const da: } \Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{va} \quad S=C_p \ln T + \text{const} \quad (76)$$

Ideal bo'lmagan gazlar uchun S_V va C_p haroratga bog'liq, shuning uchun entropiya (74) tenglamalarni grafik yordamida integrallash yo'li bilan topiladi .

1.5. Termodinamikaning uchinchi qonuni

Termodinamika uchinchi qonunining matematik ifodasi quyidagicha:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right) = \lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial T} \right) = 0 \quad (77)$$

$$\text{Agar} \quad \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p = -S \quad (78)$$

ekanligini nazarda tutsak,

$$\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T} \right)_p = -\Delta S \quad (79)$$

ekanligidan va Nernst qonunidan

$$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0 \quad (80)$$

xulosa kelib chiqadi.

Ma'lumki, termodinamikaning birinchi va ikkinchi qonunlarining differentsial tenglamalaridan termodinamik funktsiyalarning faqatgina qanday o'zgarishini hisoblash mumkin, ammo ularning absolyut qiymatlarini hisoblab bo'lmaydi. Termodinamik tenglamalarni integrallash natijasida paydo bo'ladigan integrallash doimiysini termodinamikaning ikkita qonuni asosida aniqlab bo'lmaydi. SHu sababli termodinamika qonunlariga qo'shimcha chegaraviy shart qo'yish zaruriyati paydo bo'lgan. Termodinamik tenglamalarni integrallash

doimiysini hisoblash yo'lini Nernst o'zining issiqlik teoremasida taklif qilgan.

Nernst gipotezasining juda ham muhim xulosasi, yuqorida ta'kidlaganimizdek, $\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{dW}{dT} \right) = 0$ ekanligidir. $\frac{dW}{dT} = \Delta S$ bo'lgani uchun $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0$ bo'ladi, demak, $T=0$ da kondensatsiyalangan sistemalardagi barcha jarayonlar entropiyaning o'zgarishsiz boradi. Nernstning ushbu xulosasi 1912-yilda Plank tomonidan rivojlantirildi. Plank bo'yicha, faqat ΔS emas, balki har qanday moddaning kondensatsiyalangan holatdagi entropiyasi $T=0$ da nolga teng. Plank o'zining postulatini qo'yidagicha ta'rifladi: individual kristall moddaning ideal qattiq jism ko'rinishidagi entropiyasi absolyut nolga tengdir. Plank postulatining matematik ko'rinishi qo'yidagicha:

$$T=0 \text{ da } S_0=0; \quad \lim_{T \rightarrow 0} |S| \rightarrow 0 \quad (81)$$

Ushbu postulat moddalarning absolyut entropiyalarini xohlagan haroratda hisoblashga imkon berdi.

Nernstning issiqlik teoremasini, ya'ni termodinamikaning uchinchi qonunini Plank postulatining mahsuli (yoki Plank postulatidan kelib chiqadigan hulosa) deb qarash mumkin. Demak, Plank postulati Nernst teoremasiga qaraganda kengroq termodinamik umumlashtirishdir. Plankning ushbu taxmini (postulati) tajribada tasdiqlanadi va statistik nuqtai nazardan asoslanadi. Haqiqatdan, absolyut nolga ideal kristallda panjaralarning tugunlarida zarrachalarning joylashishi bittagina tartibda bo'lishi mumkin, demak, bunday holatning termodinamik ehtimolligi 1 ga teng. SHuning uchun Bol'tsmanga binoan, sistemaning entropiyasi nolga teng. Statistik termodinamikaning postulatlaridan termodinamikaning ikkinchi qonuni xulosa bo'lib chiqadi. Statistik termodinamikaning asosiy

$$S = k \ln W \quad (82)$$

tenglamasi termodinamika ikkinchi qonunining asosiy funktsiyasi –entropiyani (S) statistik termodinamikaning asosiy kattaligi –termodinamik ehtimollik (W) bilan Bol'tsman doimiysi (k) orqali bog'lab turadi.

Ideal kristall modda uchun $T=0$ da termodinamik ehtimollik $W_0=1$, chunki absolyut nolga ideal kristall molekularning faqat birgina taqsimlanishi orqali amalga oshirilishi mumkin. Demak, statistik termodinamikaning asosiy tenglamasi absolyut nolga $S_0=0$ ekanligini ko'rsatadi.

Plank postulati turli moddalar entropiyalarining absolyut qiymatlarini hisoblashga imkoniyat beradi.

$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p = \frac{C_p}{T}$ tenglamani integrallab, entropiyaning haroratga bog'liqligi uchun

$$S = S_0 + \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad (83)$$

ni olamiz, ammo, Plank bo'yicha kristall moddalar uchun $S_0=0$, shuning uchun ularning absolyut entropiyasining qiymati

$$S = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad (84)$$

ga teng bo'ladi va bundan $\lim_{T \rightarrow 0} C_p \rightarrow 0$ ekanligi kelib chiqadi. Agar ushbu shart bajarilmasa $T=0$ da (84) tenglamada integral ostidagi ifoda cheksizga intiladi. Plank postuloti bo'yicha esa, $T \rightarrow 0$ da entropiya ham nolga intilishi shart. Demak, $T=0$ da $S_r=0$ bo'lar edi, buning bo'lishi mumkin emas, demak, hech qanday jarayonlar haroratni absolyut nolgacha pasaytira olmaydi. Bu absolyut nolga erisha olmaslik printsipli bo'lib, ushbu printsipl quyidagi bilan bog'liq: barcha moddalarning issiqlik sig'implari absolyut nolga yaqinlashganda cheksiz kichik bo'lib qoladi, shuning uchun ma'lum sondagi operatsiyalar yordamida haroratni absolyut nolgacha kamaytirib bo'lmaydi. Hozirgi paytda 0,00001 K atrofidagi haroratga erishilgan.

Nazorat uchun savollar:

1. Sistema xolatining cheksiz kichik o'zgarishlari va oxirgi o'zgarishi uchun termodinamikani birinchi qonunining ifodalarini keltiring.

2. Termik koeffitsientlarning ma'nosi nima?
3. Idal gaz qaysi jarayonlarda maksimal ish bajaradi? Jarayonning issiqligi va ichki energiyasi qanday o'zgaradi?
4. Qaytmas jarayon entropiyasining o'zgarishi bilan issiqlik orasidagi matematik ifodani yozing.
5. Karateodori printsipini keltiring.
6. Termodinamikaning birinchi qonuniga binoan issiqlik jarayonning funktsiyasi, Gess qonuni esa kimyoviy reaksiyaning issiqlik effekti jarayonning yo'liga bog'liq emas, deydi. Ushbu qarama-qarshilikni tushuntiring.

2-mavzu: Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar.

Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch- molekulyar reaksiyalarda qollash. O'tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash. Geterogen va fermentativ katalizning o'ziga xos xususiyatlari.

Eritmalarning muvozanatdagi xossalarini ularning tarkibi va komponentlarning xossalariga bog'liqligini o'rnatish uchun partsial molyar kattaliklardan foydalaniladi.

Eritmaning qandaydir ekstensiv termodinamik xossasini (eritmaning miqdoriga bog'liq bo'lgan) ko'rib chiqamiz: G_{ym} , F_{ym} , H_{ym} , S_{ym} , V_{ym} , $C_{p,ym}$, ...

Erituvchi va erigan moddadan iborat 2 komponentli eritma uchun uning X_{um} ekstensiv xossasi erituvchining n_1 mollar sonidan, erigan moddaning n_2 mollar sonidan, bosim R va haroratdan T bog'liq:

$$X_{um} = f(p, T, n_1, n_2).$$

Eritmaning ekstensiv xossasi X_{um} holat funktsiyasi ekanligini nazarda tutib, ushbu ifodadan $P = \text{const}$ va $T = \text{const}$ bo'lganida to'liq differentsial olamiz:

$$dX_{ym} = \left(\frac{\partial X_{ym}}{\partial n_1} \right)_{p,T,n_2} dn_1 + \left(\frac{\partial X_{ym}}{\partial n_2} \right)_{p,T,n_1} dn_2 \quad (58)$$

(58) tenglamadagi qavs ichidagi ifodani quyidagicha belgilab olamiz:

$$\bar{X}_i = \left(\frac{\partial X_{ym}}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j} \quad (59)$$

Unda (58) tenglama soddaroq ko'rinishni oladi:

$$dX_{ym} = \bar{X}_1 dn_1 + \bar{X}_2 dn_2 \quad (60)$$

bu yerda \bar{X}_i – partial molyar kattalik yoki eritmadagi i-komponentning xossasidir.

Eritma i-komponentining partial molyar kattaligi deb, P, T va boshqa komponentlarning mollar soni n_j o'zgarmas bo'lganda, eritmaga i-komponentning cheksiz kichik miqdori qo'shilganda eritma xossasining cheksiz kichik o'zgarishiga aytiladi.

Yoki boshqacha ta'riflasak ham bo'ladi: eritma i-komponentining partial molyar kattaligi deb, eritmaning katta miqdoriga, R va T o'zgarmas bo'lgan holda, i-komponentning 1 moli qo'shilgandagi ushbu ekstensiv xossaning o'zgarishiga aytiladi.

Eritmaning katta miqdori olinishiga sabab, i-komponentdan 1 mol qo'shganda eritmaning tarkibi o'zgarishidir. Toza modda uchun partial molyar kattalik uni 1 molining ekstensiv xossasiga teng:

$$\bar{X}_i = X_i^0 \quad (61)$$

Eritmaning termodinamik xossalariga ($G_{ym}, H_{ym}, S_{ym}, \dots$) i-komponentning partial molyar kattaligi mos keladi: \bar{G}_i – Gibbsning partial molyar energiyasi; \bar{H}_i – partial molyar entalpiya; \bar{S}_i – partial molyar entropiya; \bar{V}_i – partial molyar hajm.

Partial molyar kattaliklar ichida eng ahamiyatlisi Gibbsning partial molyar energiyasi \bar{G}_i bo'lib, u kimyoviy potentsialga ayniydir:

$$\mu_i \equiv \bar{G}_i \text{ yoki } \left(\frac{\partial G_{ym}}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j} = \mu_i \quad (62)$$

Demak, partsial molyar kattaliklarda doimo r va T doimiy deb olinishi kerak. Kimyoviy potentsialda esa, turli funktsiyalarning xususiy hosilalari turlicha o'zgarish kattaliklarda olinadi: masalan, F uchun V va $T=\text{const}$; H uchun r va $S=\text{const}$.

Muvozanatning boshqa mezonlariga ham (F , U , H , S), eritmadagi moddaning miqdori o'zgarishi bilan, yuqoridagi muloxazalarni yuritishimiz mumkin. Bunda funktsiyadan komponentning mollar soni bo'yicha olingan xususiy hosilasi ham ushbu komponentning kimyoviy potentsiali deyiladi:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial F_{ym}}{\partial n_i} \right)_{V,T,n_j}; \quad \mu_i = \left(\frac{\partial U_{ym}}{\partial n_i} \right)_{V,S,n_j}; \quad \mu_i = \left(\frac{\partial H_{ym}}{\partial n_i} \right)_{p,S,n_j} \quad (63)$$

Partsial molyar kattaliklar orasida xuddi oddiy termodinamik kattaliklar orasidagi kabi munosabatlarning saqlanib qolishi katta amaliy ahamiyatga egadir.

Masalan, $G=H-TS$ tenglamadagi Gibbs energiyasidan, r , T , va n_j lar o'zgarish bo'lganda, n_i bo'yicha hosila olsak,

$$\left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j} = \left(\frac{\partial H_{ym}}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j} - T \left(\frac{\partial S_{ym}}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j} \quad (64)$$

tenglama kelib chiqadi.

(58) va (59) tenglamalarni xisobga olsak, (64) o'rniga quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\mu_i = \bar{H}_i - T \bar{S}_i \quad (65),$$

bu yerda: μ_i – i -komponentning kimyoviy potentsiali; \bar{H}_i – i -komponentning partsial molyar entalpiyasi; \bar{S}_i – i -komponentning partsial molyar entropiyasi.

SHunday qilib, partsial molyar kattaliklar yordamida eritmalarga kimyoviy termodinamikaning barcha matematik apparatini qo'llash mumkin. Bu esa, eritmalarning xohlagan muvozanat xossalarini termodinamik tenglamalar

yordamida ifodalashga imkon beradi: komponentning eritma ustidagi bug' bosimi, eritma muzlash haroratining pasayishi va qaynash haroratining ortishi, moddalarning eruvchanligi, osmotik bosim, moddaning o'zaro aralashmaydigan erituvchilarda taqsimlanishi va hokazo.

Eritma komponentlari partsial molyar kattaliklarining orasidagi munosabatlarni chiqarish uchun (59) tenglamani eritma tarkibi o'zgarmas bo'lgan hol uchun integrallaymiz. Eritma tarkibining o'zgarmasligi uchun eritmaga ikkala komponentdan kichik ulushlarda va ma'lum nisbatlarda qo'shib boriladi. Bunda partsial molyar kattaliklar o'zgarmasdan qoladi:

$$X_{\text{m}} = \bar{X}_1 n_1 + \bar{X}_2 n_2 \quad (66)$$

(66) tenglamada integrallash doimiysi nolga teng, chunki $n_1=0$ va $n_2=0$ bo'lganda, $X_{\text{um}}=0$ bo'ladi.

Endi (66) tenglamani n_1 , n_2 , \bar{X}_1 , \bar{X}_2 lar o'zgaruvchan kattaliklar deb, differentsiallaymiz:

$$dX_{\text{m}} = \left(\bar{X}_1 dn_1 + \bar{X}_2 dn_2 \right) + \left(n_1 d\bar{X}_1 + n_2 d\bar{X}_2 \right) \quad (67)$$

(58) va (67) tenglamalarni solishtirsak,

$$n_1 d\bar{X}_1 + n_2 d\bar{X}_2 = 0 \quad (68)$$

ekanligi kelib chiqadi.

(66) va (68) tenglamalarning ikkala tarafini (n_1+n_2) ga bo'lamiz va $x_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2}$ va $x_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2}$ (x_1 va x_2 –erituvchi va erigan moddalarning molyar qismlari) ekanligini hisobga olib:

$$X = x_1 \bar{X}_1 + x_2 \bar{X}_2 \quad (69)$$

$$x_1 d\bar{X}_1 + x_2 d\bar{X}_2 = 0 \quad (70)$$

tenglamalarni keltirib chiqaramiz, bu yerda $X=X_{\text{um}}/(n_1+n_2)$ 1 mol' eritmaning xossasi.

i takomponentlardan iborat eritma uchun yig'indi barcha komponentlar uchun olinadi:

$$X = \sum_i x_i \bar{X}_i; \quad \sum_i x_i d\bar{X}_i = 0 \quad (71)$$

(69), (70) va (71) munosabatlar Gibbs-Dyugem tenglamalari deyiladi va termodinamikaning fundamental tenglamalari qatoriga kiradi. Ularning yordamida ideal eritmalar qonunlarini asoslab berish mumkin (Raul' va Genri).

(70) tenglamadan bir komponentning partsiyal molyar kattaligini bilgan holda, 2-komponentnikini hisoblash mumkin:

$$d\bar{X}_2 = -\frac{x_1}{x_2} d\bar{X}_1; \quad \bar{X}_2^{II} = \bar{X}_2^I - \int_{\bar{X}_1^I}^{\bar{X}_1^{II}} \frac{x_1}{x_2} d\bar{X}_1 \quad (72)$$

Partsiyal molyar kattalik sifatida kimyoviy potentsial μ_i (u, o'z navbatida, Gibbsning partsiyal molyar energiyasiga ayniy edi: 63 tenglamaga qarang) olingan Gibbs-Dyugem tenglamasi ayniqsa katta ahamiyat qozonadi:

$$x_1 d\mu_1 + x_2 d\mu_2 = 0 \quad (73)$$

(73) tenglama (70)ning o'zidir, chunki bu yerda $d\mu_i = d\bar{X}_i$.

Uchuvchanlik

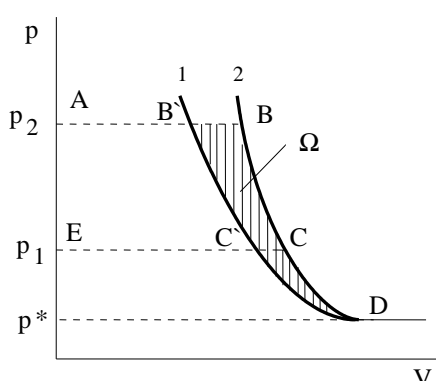
Holat tenglamasining ko'rinishi murakkablashib borgani sari gazlarning kimyoviy potentsiali uchun analitik ifodalar borgan sari murakkablashadi va hisob-kitoblarni deyarli amalga oshirib bo'lmay qoladi. Yigirma yildan ko'proq davom etgan bunday muvaffaqiyatsizliklardan so'ng, 1901 yil amerikalik fizik-kimyogar G.N.Lbyuis ushbu holatdan chiqish yo'lini topdi. U kimyoviy potentsialning bosimga bog'liqligini analitik emas, balki grafik yordamida aniqlashni taklif etdi. Bu μ ning kimyoda qo'llanilishini juda olg'a surdi. Bunday hisoblar uchun ushbu T haroratda $r(V)$ bog'liqlik izotermasini tajribada aniqlash kifoyadir. Maksvellning munosabatiga binoan,

$$\left(\frac{\partial \mu}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial V}{\partial n}\right)_{T,p} = \bar{V} \quad (74)$$

deb yozish mumkin. $T = \text{const}$ da $d\mu = \bar{V} dp$. Toza komponent uchun $\bar{V} = V/n$ – molyar hajm,

$$\Delta\mu = \int_{p_1}^{p_2} \bar{V} dp \quad (75)$$

ning qiymati μ ning bosimga bog'liqligini aniqlovchi rasmda keltirilgan Ω yuza bilan ifodalanadi.



Lьюis bo'yicha hisoblash usuli yangi funktsiya – uchuvchanlik f (fugitivlik) va uchuvchanlik koeffitsienti γ ni kiritish bilan bog'liq. Bu tushunchalarning kiritilishi $\Delta\mu$ ni grafik usulda baholashni μ kimyoviy potentsialning analitik ifodasi bilan bog'lash uchun zarur bo'lib qolgan. Yangi funktsiyalarni kiritishda toza ideal gazning

I.4-rasm. Uchuvchanlikni

aniqlash: 1–ideal gazning izotermasi; 2–real gazning izotermasi.

kimyoviy potentsialini hisoblashda qo'llanilgan ifodalardan foydalaniladi, faqat bunda bosim o'rniga f uchuvchanlik kiritiladi.

$$G \equiv G(T) + RT \ln f \quad \text{yoki} \quad \mu \equiv \mu^0(T) + RT \ln f \quad (76)$$

bu yerda: μ^0 – real gazning standart kimyoviy potentsiali; f – uchuvchanlik. SHunday qilib, uchuvchanlik ideal gazning kimyoviy potentsiali ifodasiga bosim o'rniga kiritilib, real gazning kimyoviy potentsiali qiymatini oladigan kattalik ekan. Fugitivlikning birligi bosimniki kabidir. Fugitivlikning real gazning bosimiga nisbati gazning figutivlik koeffitsienti yoki aktivlik koeffitsienti deyiladi:

$$\gamma = \frac{f}{p}; \quad \lim_{p \rightarrow 0} f/p = 1 \quad (77)$$

Fugitivlik koeffitsienti o'lchov birligi bo'lmagan kattalikdir. "Koeffitsient" nomi γ uchun shartli, aslida γ harorat va bosimdan bog'liq bo'lgan funktsiyadir. $r \rightarrow 0$ da $\gamma \rightarrow 1$, chunki bu holda barcha gazlar o'zini ideal gaz kabi tutadi. Real sistemadan idealga osongina o'tish mumkinligi Lbyuis usulining muhim afzalliklaridan biridir. Demak, Lbyuis usuli ma'no jihatidan matematik uslub bo'lib, unda gazning r va T holat parametrlari bilan izobar potentsial (kimyoviy potentsial) orasida yangi oraliq f funktsiya kiritiladi.

(76) aynilikdan izotermik jarayon uchun

$$\Delta G \equiv G_2 - G_1 = RT \ln \frac{f_2}{f_1} \quad \text{yoki} \quad \Delta \mu \equiv \mu_2 - \mu_1 = RT \ln \frac{f_2}{f_1} \quad (78)$$

SHunday qilib, real gazlar ishtirokidagi jarayonlarda ΔG yoki $\Delta \mu$ ni hisoblash qiyinchiliklari real gaz uchuvchanligining bosim va haroratga bog'liqligini izlab topishga o'tib ketadi. Bunda ideal gazlar uchun G (yoki μ) kattaligiga keltirib chiqarilgan va undan kelib chiqadigan barcha tenglamalar tashqi ko'rinishini saqlab qoladi, faqat ularda bosimlar o'rniga uchuvchanliklar kiradi. (78) tenglama va (77) shart gazning uchuvchanligini hisoblashga asos bo'lib xizmat qiladi.

(76) tenglamani $T = \text{const}$ da bosim bo'yicha differentsiallasak:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = RT \left(\frac{\partial \ln f}{\partial p} \right)_T \quad (79)$$

yoki $\left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = V$ ekanligini hisobga olsak:

$$d \ln f = \frac{V}{RT} dp \quad (80)$$

(80)ni 1- va 2- holatlar chegaralarida integrallasak,

$$\ln \frac{f_2}{f_1} = \frac{1}{RT} \int_{p_1}^{p_2} V dp \quad (81)$$

Yuqorida aytganimizdek, (81) tenglama yordamida uchuvchanlikni turli usullarda hisoblash mumkin. Masalan, integral ostidagi ifodaga holat tenglamasi (masalan, Van-der-Vaal's) bo'yicha bosimning funktsiyasi sifatida ifodalangan

molyar hajmni qo'yish mumkin. Eng aniq usul esa, (81) tenglama integralini grafik yordamida aniqlashdan iboratdir.

Nazorat uchun savollar:

1. Gibbs energiyasining o'zgarmas xaroratda (faqat kengayish ishi bajarilsa) bosimga bog'liqligini ifodalovchi tenglamaning differentsial ko'rinishini yozing. Gelmgol'ts energiyasi o'zgarmas xaroratda xajmga qanday bog'liq?

2. O'z o'zidan boruvchi jarayonning yo'nalishi haqida entropiya o'zgarishining ishorasi bo'yicha fikr yuritish uchun sistemaning qaysi parametrlarini o'zgarmas qilib turish kerak?

3. Kimyoviy potentsial nima?

4. Gibbs va Gelmgol'ts energiyalarining farqi nimada?

3-mavzu:Vodorod energetikasi. Muqobil energetika.

Reja:

- 1.Vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar.
- 2.Polimer xususiyatli grafitsimon nanofotokatalizatorlar.
- 3.Muqobil energetika. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari.



Jahon hamjamiyati oldida turgan dolzarb masalalardan biri, shubhasiz, global isish muammosidir. Tadqiqotchilar fikriga ko'ra, global o'rtacha harorat yana ikki

darajaga ko'tarilsa isishni o'nqlab bo'lmas holatga olib kelishi mumkin. Vaziyat yanada qiyinlashuviga yo'l qo'ymaslik maqsadida BMTning Iqlim o'zgarishi to'g'risidagi doiraviy konventsiyasiga ko'ra, 2015 yil 12 dekabrda konsensus asosida Parij kelishuvi qabul qilingan edi.

Unda 2020 yildan boshlab atmosferadagi karbonat angidrid gazini kamaytirish, global o'rtacha harorat ko'tarilishini 2°Cdan pastda ushlab turish va o'sishni 1,5°C bilan cheklashga qaratilgan chora-tadbirlar qabul qilish nazarda tutiladi. Shundan kelib chiqib, mamlakatlar zararli chiqindilarni kamaytirish bo'yicha o'z zimmlariga bir qator majburiyatlarni olgan edi.

Global o'rtacha harorat o'sishini me'yorda ushlab turishda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish, energiya tejoychi va energiya samarador texnologiyalarga o'tish orqali erishish mumkinligi o'z isbotini topib ulgurdi. Bu borada istiqbolli yo'l sifatida vodorod e'tirof etilmoqda. Bugun vodorodni yoqilg'i sifatida ishlatadigan stantsiyalar har tomonlama manfaatli, deb qaralmoqda.

Ma'lumki, vodorod ideal energiya manbai va ekologik toza yoqilg'i hisoblanadi. Uning yonish issiqlik quvvati 1,17 GDj/kilogramm bo'lib, bu neftnikidan deyarli uch barobar, tabiiy gazdan to'rt barobar yuqori. Vodorod yoqilg'i elementida kislorod bilan qo'shilib suv hosil qiladi va elektr energiyasi ishlab chiqaradi.

Nega shu paytgacha bu soha oqsayotgan edi?

Mamlakatimizda 2020 yilda ishlab chiqarilgan 63,6 milliard kVt.soat elektr energiyasining qariyb 90 foizi (57,2 milliard kVt.s.) qazib olinadigan uglevodorodlar hisobiga ishlab chiqarildi. O'zbekiston Iqtisodiy tadqiqotlar va islohotlar markazining ma'lumotlariga ko'ra, hozirgi resurslardan foydalanish tendentsiyasi saqlanib qolgan taqdirda, qazilma uglevodorod zaxiralari 20-30 yilga etadi. Shunday sharoitda vodorod energetikasi sohasida ilmiy tadqiqotlar olib borish va ilmiy kadrlarni tayyorlashga etarli e'tibor qaratilmagani, oliy ta'lim muassasalarida bu yo'nalishda mutaxassislarni tayyorlash yo'lga qo'yilmagani

hamda tarmoqni rivojlantirishga oid uzoq muddatli dastur qabul qilinmagani va tegishli normativ-huquqiy baza shakllantirilmagani ham uning rivojlanmayotgani sabablaridan edi.

Laboratoriya va markaz faoliyati yo'lga qo'yildi

Vodorod energetikasi texnologiyalari sohasida ilmiy izlanishlarni jadallashtirish hamda jahon tajribasi va erishilayotgan natijalar bilan hamnafas bo'lish maqsadida Prezidentimizning 2021 yil 9 apreldagi “O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi qarori qabul qilindi. Unga ko'ra, O'zbekiston Fanlar akademiyasining “Xalqaro quyosh energiyasi instituti” MChJ negizida energetika vazirligi huzurida Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti tashkil etildi. Uning tuzilmasida Vodorod energetikasi ilmiy-tadqiqot markazi hamda Qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasi texnologiyalarini sinash va sertifikatlash laboratoriyasi faoliyatini yo'lga qo'yish takliflari ma'qullandi. Institut ilmiy xodimlariga esa qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish bo'yicha milliy strategiya loyihasini ishlab chiqish vazifasi yuklatildi.

Shuningdek, Innovatsion rivojlanish vazirligi tomonidan davlat dasturlari doirasida amaliy hamda innovatsion loyihalar tanlovida umumiy qiymati 5,9 milliard so'mlik 4 ta loyiha moliyalashtirilib, Materialshunoslik institutining noyob ilmiy ob'ekti hududida 10 kVt quvvatli quyosh fotoelektr stantsiyasi o'rnatildi va “erlikon” elektrolizerining konstruktsiyasi asosida yangi mukammallashgan vodorod elektrolizeri namunasi ishlab chiqildi.

Vodorod energetikasi ilmiy-tadqiqot markazi tomonidan Germaniyaning Reiner Lemoine Institut (RLI) ilmiy tekshirish instituti bilan hamkorlikda “Green Hydrogen Generation Potential based on Renewable Energies in Central Asia — GREEN-HyReCA” nomli loyiha tayyorlanib, Germaniyaning German Ministry for Education and Research (BMBF) fondiga topshirilgan. Loyihada Markaziy Osiyoda yashil vodorodni ishlab chiqarish, iste'mol qilish va eksport

imkoniyatlarini o'rganishga qaratilgan tadqiqotlar olib boriladi. Shuningdek, Janubiy Koreyaning “Hn Power Inc.” kompaniyasi bilan hamkorlikda yangi loyiha shakllantirildi va Official Development Assistant (ODA) fondiga topshirish uchun tayyorlandi.

“Vodorod yo'nagi” yoxud xorij tajribasi

Ma'lumotlarga ko'ra, 1995 yildan Kanada jahonda birinchi bo'lib shahar transport parkida vodorod yoqilg'isidan foydalanishni boshlagan. Oradan o'n yil o'tib, bunday tashabbus Gollandiya, Ispaniya, Germaniya, Italiya, Lyuksemburg, Islandiya mamlakatlarida ham yo'lga qo'yilgan. Italiyaning Enel kompaniyasi 2010 yilda quvvati 16 MVtga teng, 17 ming tonna SO₂ moddasi atmosferaga chiqishining oldini oladigan birinchi vodorod elektr stantsiyasini ishga tushirgan.

2018-2019 yillarda Avstraliya, Janubiy Koreya, Germaniya, Buyuk Britaniya kabi davlatlar, AQShning ayrim shtatlari o'zining Vodorod strategiyalarini ishlab chiqqan va tasdiqlagan. Germaniya 2018 yilda avtomobilga vodorod quyadigan 180 ta shoxobcha barpo etgan va 2023 yilga kelib, ular sonini 500 taga etkazishni rejalashtirgan. Yaponiyaning Vodorod dasturiga muvofiq, 2020 yilda 1,4 million dona, 2030 yilga kelib 5,3 million dona vodorodli yoqilg'i elementlarini foydalanishga topshirish ko'zda tutilgan. Xalqaro ekspertlarning fikricha, 2050 yilgacha jahon energetikasidagi vodorod energiyasi ulushi 18 foizni, asr so'ngiga kelib 40 foizdan ko'proqni tashkil etishi prognoz qilinmoqda.

O'z navbatida, Evropa Ittifoqi “Vodorod yo'lagi” (H₂ live) dasturini tasdiqladi va unga ko'ra, 2030 yilga qadar 10 daqiqalik masofada avtomobillarga vodorod quyish shaxobchalari qurishni nazarda tutadi.

Strategiya 2022-2025 yillarga mo'ljallanmoqda

Tan olish kerakki, mamlakatimizda yaqin yillarga qadar respublikada vodorod energetikasiga etarlicha e'tibor berilmagan edi. Faqat, ayrim olimlar tomonidan quyosh energiyasidan vodorod olish, qattiq oksidli vodorod yoqilg'i elementlarini yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Prezidentimiz qarori

bilan ishlab chiqilishi belgilangan O'zbekiston Respublikasi vodorod energetikasini rivojlantirish milliy strategiyasida sohada kadrlar tizimini rivojlantirishni oliy ta'limdan keyingi ta'lim — doktoranturani yo'lga qo'yish hamda vodorod texnologiyalari sohasini rivojlanish talablariga monand doktorlik dissertatsiyalarning ustuvor ilmiy mavzularini shakllantirib borish vazifasi qo'yilmoqda. Vodorod energetikasi sohasidagi tadqiqot mavzularini tanlashda asosiy e'tibor qayta tiklanuvchi manbalardan olingan elektr energiyasi hisobiga elektroliz usuli bilan vodorod ishlab chiqarish, mujassamlashgan quyosh energiyasi bilan suvni qizdirish va katalizatorlardan (shu jumladan, nanostrukturali) foydalanish hisobiga, 2027 yilga kelib ishlab chiqariladigan (1 kilogramm) vodorodning tannarxini 1,5 AQSh dollarigacha pasaytirishga erishish kabi yo'nalishlar ko'zda tutilmoqda.

Muxtasar aytganda, yashil vodorodning yurtimizdagi istiqboli juda yuqori. Uni rivojlantirish yo'lida dastlabki muhim qadamlar tashlandi. Galdagi vazifamiz, bu borada kadrlar salohiyatini yuksaltirish hamda bor imkoniyatlarimizni ishga solishdir.

4-MAVZU: Kvant nuqtalari. Yarimo'tkazgichlar yaratish.

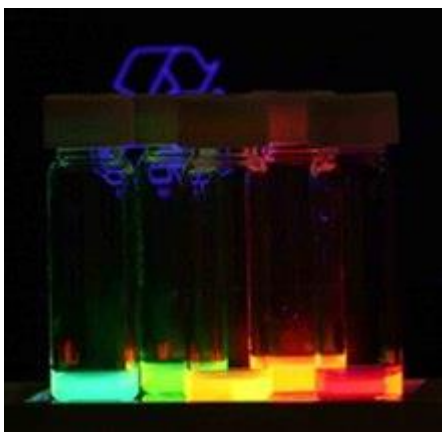
Reja:

1. Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi.
2. Elektr o'tkazuvchan polimerlar.
3. Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash.
4. Nanomaterialli katalizatorlar
5. O'tkazuvchan polimerlar

Tayanch iboralar: *Nanotexnologiya, nanomateriallar, kompyuter modellashtirish, nanonaychalar, fullerenlar, nanomaterialli katalizatorlar, oltin nanozarrachalari, seriy dioksidi nanozarrachalari, o'tkazuvchan polimerlar, sopolimerlar.*

4.1. Kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi.

Kvant nuqta



UB nurlari bilan nurlangan kolloid kvant nuqtalari. Turli o'lchamdagi kvant nuqtalari tufayli har xil rangdagi yorug'lik chiqadi kvantli qamoq.

Kvant nuqtalari (QDlar) bor yarim o'tkazgich zarralar bir nechta nanometrlar hajmda, ega optik va elektron tufayli katta zarrachalardan farq qiluvchi xususiyatlar kvant mexanikasi. Ular markaziy mavzu nanotexnologiya. Kvant nuqtalari ultrabinafsha nurlari bilan yoritilganda, kvant nuqtasidagi elektron yuqori energiya holatiga qo'zg'alishi mumkin. Agar a yarim o'tkazgich kvant nuqta, bu jarayon elektronning valentlik diapazoni uchun o'tkazuvchanlik tasmasi. Hayajonlangan elektron valentlik diapazoniga tushib, o'z energiyasini yorug'lik chiqarishi bilan bo'shatishi mumkin. Ushbu yorug'lik emissiyasi (fotoluminesans) o'ngdagi rasmda tasvirlangan. Ushbu yorug'likning rangi va ularning orasidagi energiya farqiga bog'liq o'tkazuvchanlik tasmasi va valentlik diapazoni.

Tilida materialshunoslik, nanokalerali yarimo'tkazgichli materiallar yoki elektronlarni mahkam chegaralaydi elektron teshiklari. Ba'zan kvant nuqtalari deb ataladi **sun'iy atomlar**, ularning o'ziga xosligini ta'kidlab, ega bog'langan, diskret elektron davlatlar, tabiiy ravishda sodir bo'lgan

kabi atomlar yoki molekulalar.^{[11][2]} Elektron ekanligini ko'rsatdi to'lqin funksiyalari kvant nuqtalarida haqiqiy atomlarga o'xshaydi.^[3] Ikkita yoki undan ortiq kvant nuqtalarini birlashtirib an **sun'iy molekula** xona haroratida ham gibridlanishni namoyish etib, amalga oshirilishi mumkin.^[4]

Kvant nuqtalari quyma yarimo'tkazgichlar va alohida atomlar yoki molekulalar o'rtasida oraliq xususiyatlarga ega. Ularning optoelektronik xususiyatlar ham o'lcham, ham shaklning funksiyasi sifatida o'zgaradi.^{[5][6]} Diametri 5-6 nm bo'lgan katta QDlar uzoqroq chiqaradi to'lqin uzunliklari, to'q sariq yoki qizil kabi ranglar bilan. Kichikroq QD (2-3 nm) to'lqin uzunliklarini qisqartiradi va ko'k va yashil ranglarni beradi. Shu bilan birga, o'ziga xos ranglar QD ning aniq tarkibiga qarab o'zgaradi.^[7]

Kvant nuqtalarining mumkin bo'lgan dasturlariga quyidagilar kiradi bitta elektronli tranzistorlar, quyosh xujayralari, LEDlar, lazerlar,^[8] bitta fotonli manbalar,^{[9][10][11]} ikkinchi harmonik avlod, kvant hisoblash,^[12] hujayra biologiyasini tadqiq qilish,^[13] va tibbiy tasvir.^[14] Ularning kichik o'lchamlari ba'zi QDlarni eritmada to'xtatishga imkon beradi, bu esa foydalanishga olib kelishi mumkin inkjet bosib chiqarish va spin-qoplama.^[15] Ular ishlatilgan Langmuir-Blodgett yupqa plyonkalar.^{[16][17][18]} Ushbu qayta ishlash texnikasi arzonroq va ko'p vaqt talab qiladigan usullarni keltirib chiqaradi yarimo'tkazgichni ishlab chiqarish.

Ishlab chiqarish

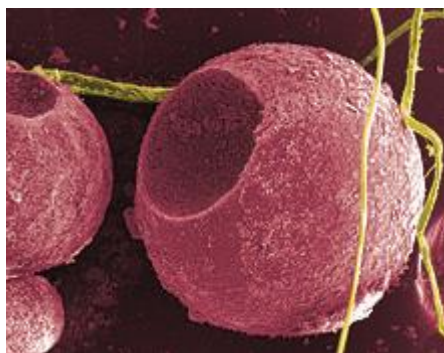
Binafsha rangdan to qizil ranggacha asta-sekin o'sib boradigan kvant nuqtalari

Kvant nuqtalarini yasashning bir necha yo'li mavjud. Mumkin bo'lgan usullarga kolloid sintez, o'z-o'zini yig'ish va elektr eshiklari.

Kolloid sintez

Kolloid yarim o'tkazgich nanokristallar an'anaviy kabi, echimlardan sintez qilinadi kimyoviy jarayonlar. Asosiy farq shundaki, mahsulot massa sifatida cho'kmaydi va erimaydi.^[5] Eritmani yuqori haroratda qizdirish, kashshoflar hosil bo'ladigan monomerlarni parchalash, keyinchalik yadro hosil qiladi va

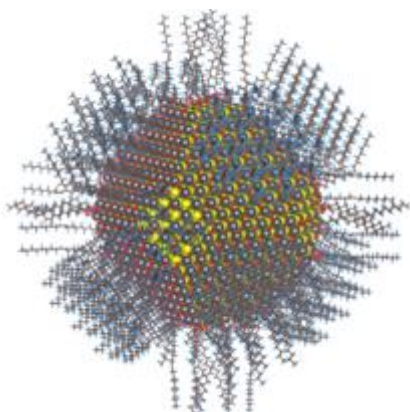
nanokristallarni hosil qiladi. Harorat nanokristal o'sishi uchun maqbul shart-sharoitlarni aniqlashda hal qiluvchi omil hisoblanadi. Qayta tartibga solishga imkon beradigan darajada baland bo'lishi kerak va tavlash sintez jarayonida atomlarning miqdori kristalning o'sishiga yordam beradigan darajada past bo'lsa. Ning kontsentratsiyasi monomerlar nanokristal o'sishi paytida qat'iy nazorat qilinishi kerak bo'lgan yana bir muhim omil. Nanokristallarning o'sish jarayoni ikki xil rejimda sodir bo'lishi mumkin, "fokuslash" va "defokuslash". Balandlikda monomer kontsentratsiyasi, kritik kattaligi (nanokristallar o'smaydigan va qisqarmaydigan joy) nisbatan kichik bo'lib, natijada deyarli barcha zarralar o'sadi. Ushbu rejimda kichikroq zarrachalar katta qismlarga qaraganda tezroq o'sib boradi (chunki kattaroq kristallarning o'sishi uchun kichik kristallarga qaraganda ko'proq atomlar kerak), natijada ularning o'lchamlari taqsimlanadi *diqqatni jamlash*, deyarli monodispersiyalangan zarralarning mumkin bo'lmagan taqsimlanishini keltirib chiqaradi. Fokusning o'lchamlari monomer kontsentratsiyasi saqlanib turganda maqbul bo'ladi, chunki o'rtacha nanokristal kattaligi har doim kritik kattalikdan biroz kattaroq bo'ladi. Vaqt o'tishi bilan monomer kontsentratsiyasi pasayadi, kritik kattalik mavjud o'rtacha kattalikdan kattaroq bo'ladi va tarqalish *defokuslar*.



Kadmiy sulfid kvantlari hujayralardagi nuqtalar

Ko'p turli yarimo'tkazgichlarni ishlab chiqarish uchun kolloid usullar mavjud. Oddiy nuqta kabi ikkilik birikmalardan qilingan qo'rg'oshin sulfidi, qo'rg'oshin selenidi, kadmiy selenid, kadmiy sulfidi, kadmiy tellurid, indiy arsenidi va indiy fosfid. Noktalar kadmiy selenid sulfid kabi uchlamchi birikmalardan ham

tayyorlanishi mumkin. Bundan tashqari, kolloidni sintez qilishga imkon beradigan so'nggi yutuqlarga erishildi perovskit kvant nuqtalari.^[19] Ushbu kvant nuqtalari kvant nuqta hajmi ichida 100 dan 100000 gacha atomlarni o'z ichiga olishi mumkin, diametri -10 dan 50 gacha atomlar. Bu taxminan 2 dan 10 gacha to'g'ri keladi nanometrlar va 10 nm diametrda 3 millionga yaqin kvant nuqtalari oxirigacha tizilib, odamning bosh barmog'ining kengligiga to'g'ri kelishi mumkin edi.



Oleyk kislota, oleyl amin va gidroksil ligandlar bilan to'liq passivatsiyalangan qo'rg'oshin sulfidining (selenid) kolloid nanopartikulining ideal tasviri (hajmi - 5nm)

Katta miqdordagi kvant nuqtalari orqali sintez qilinishi mumkin kolloid sintez. Ushbu kengayish va qulaylik tufayli dastgoh sharoitlari, kolloid sintetik usullar tijorat maqsadlarida foydalanish uchun istiqbolli hisoblanadi.

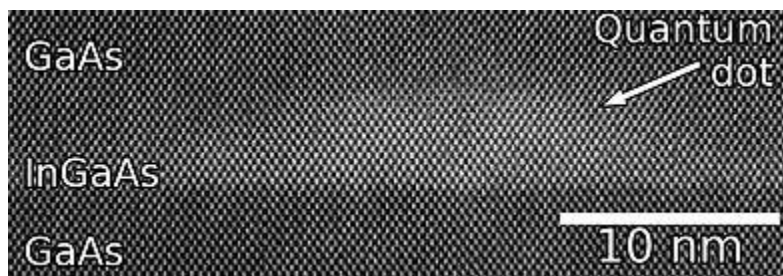
Plazma sintezi

Plazma sintezi kvant nuqtalarini, ayniqsa kovalent bog'lamalarni ishlab chiqarish uchun eng mashhur gaz fazali yondashuvlaridan biri bo'lib rivojlandi.^{[20][21][22]} Masalan, kremniy (Si) va germaniy (Ge) kvant nuqtalari termal bo'lmagan plazma yordamida sintez qilingan. Kvant nuqtalarining kattaligi, shakli, yuzasi va tarkibi hammasi termal bo'lmagan plazmada boshqarilishi mumkin.^{[23][24]} Kvant nuqtalari uchun juda qiyin tuyuladigan doping, plazma sintezida ham amalga oshirildi.^{[25][26][27]} Plazma bilan sintez qilingan kvant nuqtalari odatda kukun shaklida bo'ladi, ular uchun sirt modifikatsiyasini o'tkazish

mumkin. Bu ikkala organik erituvchida kvant nuqtalarining mukammal tarqalishiga olib kelishi mumkin^[28] yoki suv^[29] (masalan, kolloid kvant nuqtalari).

Ishlab chiqarish

- O'z-o'zidan yig'ilgan kvant nuqtalari odatda 5 dan 50 nm gacha. Belgilangan kvant nuqtalari litografik jihatdan naqshli darvoza elektrodleri yoki yarimo'tkazgichli heterostrukturalarda ikki o'lchovli elektron gazlariga zarb qilish orqali 20 dan 100 nm gacha bo'lgan lateral o'lchamlarga ega bo'lishi mumkin.
- Ba'zi kvant nuqtalari - bu kattaroq bo'lgan boshqa materialga ko'milgan bitta materialning kichik hududleri tarmoqli oralig'i. Ular yadro-qobiq tuzilishi deb nomlanishi mumkin, masalan, yadroda CdSe va qobiqda ZnS yoki maxsus shakllardan kremniy deb nomlangan ormosil. Sub-qatlamli chig'anoqlar kvant nuqtalarini passivizatsiya qilishning samarali usullari ham bo'lishi mumkin, masalan, bir qatlamli CdS chig'anoqlari bilan PbS yadrolari.
- Ba'zida kvant nuqtalari o'z-o'zidan paydo bo'ladi kvant yaxshi quduq qalinligidagi bir qatlamli tebranishlar tufayli tuzilmalar.



Atom rezolyutsiyasi skanerlash uzatish elektron mikroskopi GaAsga ko'milgan InGaAs kvant nuqtasining tasviri.

- O'z-o'zidan yig'ilgan kvant nuqtalari ma'lum sharoitlarda o'z-o'zidan yadrolanadi molekulyar nur epitaksi (MBE) va metallorganik bug 'fazali epitaksi (MOVPE), agar u materialga panjara mos kelmaydigan substratda o'stirilsa. Natijada zo'riqish ikki o'lchovli tepada orollarning paydo bo'lishiga olib keladi namlovchi qatlam. Ushbu o'sish rejimi sifatida tanilgan Stranski-Krastanov o'sishi.^[31] Keyinchalik orollar kvant nuqtasini hosil qilish uchun ko'milishi mumkin. Ushbu usul bilan o'stirilgan keng qo'llaniladigan kvant nuqtalarining turi

GaAs tarkibidagi In (Ga) As kvant nuqtalari.^[32] Bunday kvant nuqtalari dasturlar uchun imkoniyatga ega kvant kriptografiyasi (ya'ni bitta foton manbalari) va kvant hisoblash. Ushbu usulning asosiy cheklovlari - bu ishlab chiqarish narxi va alohida nuqtalarning joylashuvi ustidan nazoratning yo'qligi.

- Shaxsiy kvant nuqtalarini masofadan doping qilingan kvant quduqlari yoki yarimo'tkazgichli heterostrukturalarda mavjud bo'lgan ikki o'lchovli elektron yoki teshik gazlaridan yaratish mumkin. lateral kvant nuqtalari. Namuna yuzasi qarshilikning ingichka qatlami bilan qoplangan. Keyin lateral naqsh resist tomonidan belgilanadi elektron nurli litografiya. Keyinchalik bu naqsh elektronga yoki teshikli gazga zarb qilish yo'li bilan yoki elektron gaz va elektrodlar orasidagi tashqi kuchlanishlarni qo'llashga imkon beradigan metall elektrodni yotqizish (ko'tarish jarayoni) orqali o'tkazilishi mumkin. Bunday kvant nuqtalari, asosan, elektronlar yoki teshiklarni tashish, ya'ni elektr toki bilan bog'liq bo'lgan tajribalar va dasturlar uchun qiziqish uyg'otadi.

- Kvant nuqtasining energiya spektri geometrik o'lchamini, shakli va qamoq potentsialining kuchini boshqarish orqali ishlab chiqilishi mumkin. Shuningdek, atomlardan farqli o'laroq, kvant nuqtalarini tunnel to'siqlari bilan o'tkazgich qo'rg'oshinlariga bog'lash nisbatan oson, bu esa ularni tekshirish uchun tunnel spektroskopiyasi usullarini qo'llashga imkon beradi.

Kvantni yutish xususiyatlari diskret, uch o'lchovli o'tishlarga mos keladi qutidagi zarracha davlatlari elektron va ikkalasi bir xil bo'lgan teshik nanometr - o'lchamdagi quti. Ushbu diskret o'tish atom spektrlarini eslatadi va natijada kvant nuqtalari ham chaqirildi *sun'iy atomlar*.^[33]

- Kvant nuqtalarida cheklash ham kelib chiqishi mumkin elektrostatik potentsial (tashqi elektrodlar, doping, shtamm yoki aralashmalar hosil qiladi).
- Qo'shimcha metall oksidi-yarim o'tkazgich (CMOS) kremniy kvant nuqtalarini ishlab chiqarish texnologiyasidan foydalanish mumkin. Ultra kichik ($L = 20 \text{ nm}$, $W = 20 \text{ nm}$) CMOS tranzistorlari $-269 \text{ }^\circ \text{C}$ (4) oralig'ida kriyogen haroratda ishlaganda o'zini bitta elektron kvant nuqtasi sifatida tutadi. K) $-258 \text{ }^\circ \text{C}$

gacha (15K). Transistor elektronlarni birma-bir zaryadlashi tufayli Coulomb blokadasini namoyish etadi. Kanalda cheklangan elektronlar soni nol elektronlarning ishg'ol qilinishidan boshlab eshik kuchlanishidan kelib chiqadi va u 1 ga yoki ko'pga o'rnatilishi mumkin.^[34]

Virusli yig'ilish

Genetik jihatdan yaratilgan M13 bakteriofag viruslar kvant nuqtasini tayyorlashga imkon beradi biokompozit tuzilmalar.^[35] Ilgari genetik jihatdan yaratilgan viruslar o'ziga xos xususiyatlarni taniy olishi mumkinligi isbotlangan edi yarim o'tkazgich tomonidan tanlash usuli orqali yuzalar kombinatorial fag displeyi.^[36] Bundan tashqari, bu ma'lum suyuq kristalli yovvoyi turdagi viruslarning tuzilmalari (Fd, M13 va TMV) eritma konsentratsiyasini, eritmani boshqarish orqali sozlanishi ion kuchi va tashqi magnit maydon echimlarga qo'llaniladi. Binobarin, virusni o'ziga xos aniqlash xususiyatlaridan noorganiklarni tashkil qilish uchun foydalanish mumkin nanokristallar, suyuq kristal hosil bo'lishi bilan belgilangan uzunlik shkalasi bo'yicha tartiblangan massivlarni shakllantirish. Ushbu ma'lumotlardan foydalangan holda Li va boshq. (2000) o'z-o'zidan yig'ilgan, yuqori yo'naltirilgan, o'zini o'zi qo'llab-quvvatlaydigan filmlarni fajdan yaratishga muvaffaq bo'ldi va ZnS prekursor eritmasi. Ushbu tizim ularga bakteriofagning uzunligini ham, noorganik moddalar turini ham genetik modifikatsiya va selektsiya yo'li bilan o'zgartirishga imkon berdi.

Elektrokimyoviy yig'ish

Kvant nuqtalarining yuqori tartibli massivlari ham o'zlari tomonidan o'rnatilishi mumkin elektrokimyoviy texnikalar. Shablon elektrolitlar metall interfeysida ion reaksiyasini keltirib chiqarishi natijasida nanostrukturalarning, shu jumladan kvant nuqtalarning o'z-o'zidan metallga yig'ilishiga olib keladi, so'ngra tanlangan substratda ushbu nanostrukturalarni mesa bilan yuvish uchun niqob sifatida ishlatiladi.

Ommaviy ishlab chiqarish

Kvantli nuqta ishlab chiqarish deb nomlangan jarayonga asoslanadi *yuqori*

haroratli ikki tomonlama in'ektsiya ko'p miqdordagi (yuzlab tonnadan tonnagacha) kvant nuqtalarini talab qiladigan tijorat dasturlari uchun bir nechta kompaniyalar tomonidan kengaytirilgan. Ushbu takrorlanadigan ishlab chiqarish usuli keng miqdordagi kvant o'lchamlari va kompozitsiyalarida qo'llanilishi mumkin.

III-V asosidagi kvant nuqtalari kabi ba'zi kadmiysiz kvant nuqtalaridagi bog'lanish II-VI materiallarga qaraganda ko'proq kovalentdir, shuning uchun nanozarrachalarning yadrosi va o'sishini yuqori haroratli ikki tomonlama in'ektsiya sintezi orqali ajratish qiyinroq. Kvant nuqtalarini sintez qilishning muqobil usuli *molekulyar ekish* jarayon, katta hajmdagi yuqori sifatli kvant nuqtalarini ishlab chiqarish uchun takrorlanadigan yo'lni ta'minlaydi. Jarayon molekulyar klaster birikmasining bir xil molekulalarini nanopartikulalarning o'sishi uchun nukleatsiya joylari sifatida ishlatadi va shu bilan yuqori haroratli in'ektsiya bosqichiga ehtiyoj qolmaydi. Zarralarning o'sishi kerakli zarracha kattaligiga qadar o'rtacha haroratda prekursorlarning davriy qo'shilishi bilan saqlanadi.^[37] Molekulyar ekish jarayoni kadmiysiz kvant nuqtalarini ishlab chiqarish bilan chegaralanmaydi; masalan, jarayon bir necha soat ichida yuqori sifatli II-VI kvant nuqtalarining kilogramm partiyalarini sintez qilish uchun ishlatilishi mumkin.

Kolloid kvant nuqtalarini ommaviy ravishda ishlab chiqarishning yana bir yondashuvini sintez qilish uchun taniqli issiq qarshi usulini texnik uzluksiz oqim tizimiga o'tkazishda ko'rish mumkin. Yuqorida keltirilgan metodologiya bo'yicha ehtiyojlardan kelib chiqadigan partiyadagi o'zgarishlarni aralashtirish va o'sish, shuningdek transport va haroratni sozlash uchun texnik komponentlardan foydalangan holda bartaraf etish mumkin. CdSe asosidagi yarimo'tkazgichli nanozarralarni ishlab chiqarish uchun ushbu usul o'rganilib, oyiga kg ishlab chiqarish miqdoriga moslashtirildi. Texnik tarkibiy qismlardan foydalanish maksimal darajada va o'lchov bo'yicha oson almashinuvga imkon berganligi sababli, uni o'nlab va hatto yuzlab kilogrammgacha oshirish mumkin. 2011 yilda AQSh va Gollandiya kompaniyalari konsortsiumi an'anaviy yuqori haroratli ikki

tomonlama in'ektsiya usulini qo'llagan holda katta miqdordagi kvantli nuqta ishlab chiqarish bosqichi haqida xabar berishdi. oqim tizimi.^[39] 2013 yil 23-yanvarda Dow Buyuk Britaniyada joylashgan bilan eksklyuziv litsenziya shartnomasini tuzdi Nanoko elektron displeylar uchun kadmiysiz kvant nuqtalarini ko'p miqdorda ishlab chiqarish uchun ularning past haroratli molekulyar ekish usulidan foydalanish uchun va 2014 yil 24 sentyabrda Dow Janubiy Koreyada "millionlab kvant nuqtalari ishlab chiqarishga qodir bo'lgan ishlab chiqarish korxonasi boshladi kadmiysiz televizorlar va boshqa qurilmalar, masalan, planshetlar ". Ommaviy ishlab chiqarish 2015 yil o'rtalarida boshlanishi kerak.^[40] 2015 yil 24 martda Dow displeylarda kadmiysiz kvant nuqtalaridan foydalanishni rivojlantirish bo'yicha LG Electronics bilan hamkorlik shartnomasini e'lon qildi.^[41]

Og'ir metallsiz kvant nuqtalari

Hozirda dunyoning ko'plab mintaqalarida ulardan foydalanish taqiqlangan yoki taqiqlangan og'ir metallar ko'pgina uy-ro'zg'or buyumlarida, bu eng ko'p degani kadmiy asoslangan kvant nuqtalari iste'mol tovarlari uchun yaroqsiz.

Tijorat hayotiyligi uchun cheklangan, og'ir metallsiz kvant nuqtalari ishlab chiqildi, ular ko'rinadigan va infraqizil mintaqada yorqin chiqindilarni ko'rsatdi va CdSe kvant nuqtalariga o'xshash optik xususiyatlarga ega. Ushbu materiallar orasida InP / ZnS, CuInS / ZnS, Si, Ge va C.

Peptidlar potentsial kvant nuqta moddasi sifatida o'rganilmoqda.^[42]

Sog'liqni saqlash va xavfsizlik

Asosiy maqolalar: Nanomateriallarning sog'lig'i va xavfsizligi uchun xavfli va Nanotoksikologiya. Ba'zi kvant nuqtalari ma'lum sharoitlarda inson salomatligi va atrof-muhit uchun xavf tug'diradi. Ta'kidlash joizki, kvant nuqta toksikligi bo'yicha tadqiqotlar asosiy e'tiborni qaratdi kadmiy o'z ichiga olgan zarralar va fiziologik ahamiyatga ega bo'lgan dozadan keyin hali hayvon modellarida namoyish etilmagan. In vitro Hujayra madaniyatiga asoslangan kvant nuqtalari (QD) toksikligi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar ularning toksikligi bir

qancha omillardan kelib chiqishi mumkin fizik-kimyoviy xususiyatlari (hajmi, shakli, tarkibi, sirt funksional guruhlari va sirt zaryadlari) va ularning atrof-muhitidir. Ularning potentsial toksikligini baholash juda murakkab, chunki bu omillar QD kattaligi, zaryad, konsentratsiya, kimyoviy tarkibi, qopqoq ligandlari va oksidlovchi, mexanik va fotolitik barqarorligi kabi xususiyatlarni o'z ichiga oladi.

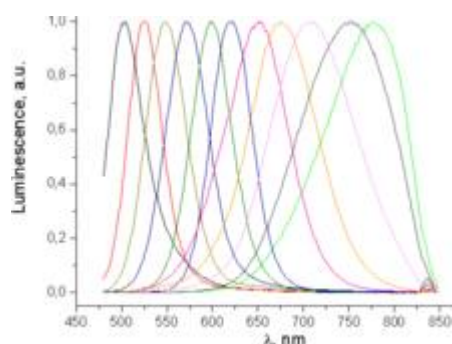
Ko'pgina tadqiqotlar QD mexanizmiga qaratilgan sitotoksiklik model hujayra madaniyati yordamida. Ta'sir qilgandan keyin ko'rsatildi ultrabinafsha nurlanish yoki havo bilan oksidlanish, CdSe QD'lar hujayralarning o'limiga sabab bo'lgan erkin kadmiy ionlarini chiqaradi.^[46] II-VI guruh QDlar ham shakllanishiga turtki bo'lganligi haqida xabar berilgan reaktiv kislorod turlari yorug'lik ta'siridan so'ng, bu o'z navbatida oqsillar, lipidlar va DNK kabi uyali komponentlarga zarar etkazishi mumkin.^[47] Ba'zi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, ZnS qobig'ining qo'shilishi CdSe QDlarda reaktiv kislorod turlari jarayonini inhibe qiladi. QD toksikligining yana bir jihati shundaki, in vivo jonli ravishda, bu zarralarni metall ionlari erishib bo'lmaydigan hujayra organoidlarida to'playdigan hujayra ichidagi yo'llar mavjud bo'lib, ular tarkibidagi metall ionlari bilan taqqoslaganda sitotoksikaning o'ziga xos naqshlariga olib kelishi mumkin.^[48] Hujayra yadrosidagi QD lokalizatsiyasi haqida hisobotlar^[49] toksiklikning qo'shimcha usullarini taqdim eting, chunki ular DNK mutatsiyasini keltirib chiqarishi mumkin, bu esa o'z navbatida kasalliklarni keltirib chiqaradigan hujayralar avlodlari orqali tarqaladi.

Ba'zi organoidlarda QD konsentratsiyasi qayd etilgan bo'lsa-da jonli ravishda hayvonlar modellaridan foydalangan holda olib borilgan tadqiqotlar, hayvonlar xulq-atvori, vazni, gematologik markerlari yoki organlarning zararlanishida o'zgarishlar bo'lmagani ham histologik, ham biokimyoviy tahlillar orqali topilmadi.^[50] Ushbu topilmalar olimlarni hujayra ichidagi dozani QD toksikligini aniqlashning eng muhim omili deb hisoblashlariga olib keldi. Shuning uchun QD kattaligi, shakli va sirt kimyosi kabi samarali hujayra ichidagi konsentratsiyani aniqlaydigan QD endotsitozini aniqlaydigan omillar ularning

toksikligini aniqlaydi. Hayvon modellarida siydik orqali QD chiqarilishi, shuningdek, ligand qobig'i bilan etiketlangan radioaktiv ZnS qopqoqli CdSe QDlarni yuborish orqali ham namoyon bo'ldi. ^{99m}Kompyuter.^[51] Boshqa ko'plab tadqiqotlar QD ni uyali darajada ushlab turishni yakunlagan bo'lsa ham,^{[45][52]} ekzotsitoz QDlar hali ham adabiyotda kam o'rganilgan.

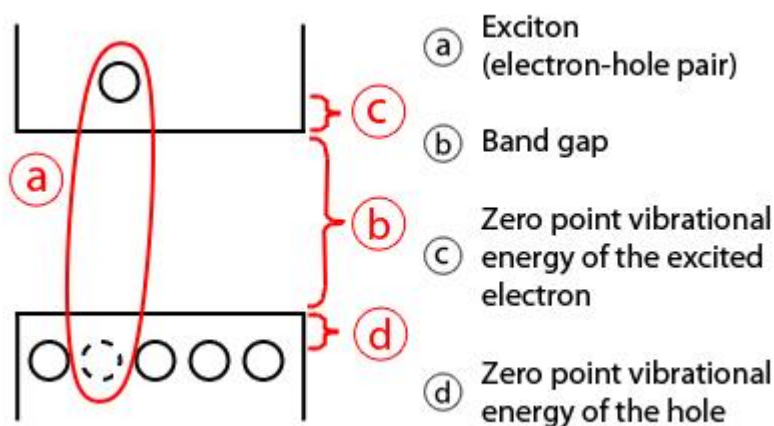
Muhim tadqiqot ishlari QD toksikligi to'g'risida tushunchani kengaytirgan bo'lsa-da, adabiyotda katta tafovutlar mavjud va savollarga hali ham javob topish kerak. Oddiy kimyoviy moddalar bilan taqqoslaganda ushbu sinf materialining xilma-xilligi ularning toksikligini baholashni juda qiyinlashtiradi. Ularning toksikligi atrof-muhit omillariga, masalan, pH darajasi, yorug'lik ta'siriga va hujayra turiga qarab dinamik bo'lishi mumkinligi sababli an'anaviy baholash usullari toksiklik kabi kimyoviy moddalar LD₅₀ QD uchun qo'llanilmaydi. Shu sababli, tadqiqotchilar e'tiborni yangi yondashuvlarni joriy etishga va ushbu noyob materiallar sinfini kiritish uchun mavjud usullarni moslashtirishga qaratmoqdalar.^[45] Bundan tashqari, xavfsizroq QDlarni yaratish bo'yicha yangi strategiyalar hali ham ilmiy jamoatchilik tomonidan o'rganilmoqda. Ushbu sohadagi so'nggi yangilik - bu kashfiyot uglerod kvant nuqtalari, potensial ravishda yarimo'tkazgichli QDlarni almashtirishga qodir optik-faol nanozarralarning yangi avlodi, ammo toksikligi ancha past.

Optik xususiyatlari



Har xil o'lchamdagi CdTe kvant nuqtalarining lyuminesentsiya spektrlari. Har xil o'lchamdagi kvant nuqtalari kvant cheklovi tufayli turli rangdagi yorug'lik chiqaradi.

Yarimo'tkazgichlarda yorug'likni yutish odatda valentlikdan o'tkazuvchanlik zonasiga elektronni qo'zg'atishga olib keladi va teshik. Elektron va teshik bir-biriga bog'lanib, eksiton hosil qilishi mumkin. Ushbu eksiton birlashganda (ya'ni, elektron avvalgi holatini tiklaydi), eksitonning energiyasi yorug'lik sifatida chiqarilishi mumkin. Bu deyiladi lyuminestsentsiya. Soddalashtirilgan modelda chiqarilgan foton energiyasini eng yuqori ishg'ol qilingan daraja va eng past ishg'ol qilinmagan energiya darajasi, teshik va qo'zg'aladigan elektronning cheklanganlik energiyalari va bog'langan energiya orasidagi tarmoqli bo'shliq energiyasining yig'indisi sifatida tushunish mumkin. eksiton (elektron teshik jufti):



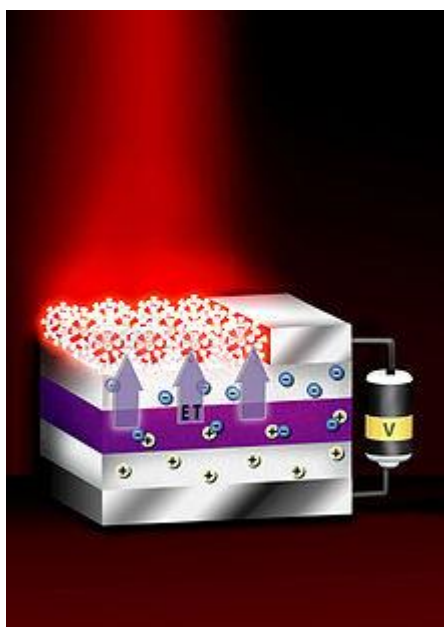
Hibsga olish energiyasi kvant nuqtasining o'lchamiga, ikkalasiga ham bog'liq singdirish boshlanishi va lyuminestsentsiya emissiyasi uning sintezi paytida kvant nuqta hajmini o'zgartirib sozlanishi mumkin. Nuqta qanchalik katta bo'lsa, qizilroq (past energiya) uning yutilish boshlanishi va lyuminestsentsiya spektr. Aksincha, kichikroq nuqtalar shimib oladi va chiqaradi ko'kroq (yuqori energiya) yorug'lik. So'nggi maqolalar Nanotexnologiya va boshqa jurnallarda kvant nuqta shakli rang berishda ham omil bo'lishi mumkin degan fikrlar ilgari surila boshlandi, ammo hozircha etarli ma'lumot mavjud emas. Bundan tashqari, u namoyish etildi ¹⁵³¹ lyuminestsentsiyaning ishlash muddati kvant nuqta kattaligi bilan

belgilanadi. Kattaroq nuqtalar bir-biridan juda yaqin masofada joylashgan bo'lib, unda elektron teshik jufti ushlanib qolishi mumkin. Shuning uchun kattaroq nuqtalardagi elektron teshik juftlari uzoqroq umr ko'rishadi, kattaroq nuqtalar uzoq umr ko'rishadi.

Floresanni yaxshilash uchun kvant rentabelligi, kvant nuqtalari yordamida tuzilishi mumkin *chig'anoqlar* ularning atrofida katta yarim o'tkazgichli material. Yaxshilash ba'zi hollarda radiatsiyaviy bo'lmagan sirt rekombinatsiya yo'llariga elektron va tuynuk kirishining kamayishi, shuningdek kamaytirilganligi sababli bo'lishi mumkin Burger rekombinatsiyasi boshqalarda.

Potentsial dasturlar

Kvant nuqtalari yuqori bo'lganligi sababli optik qo'llanmalar uchun ayniqsa umid baxsh etadi yo'q bo'lish koeffitsienti.^[54] Ular a kabi ishlaydi bitta elektronli tranzistor va ko'rsatish Coulomb blokadasi effekt. Amalga oshirish sifatida kvant nuqtalari ham taklif qilingan kubitlar uchun kvantli ma'lumotlarni qayta ishlash,^[55] va termoelektrlar uchun faol elementlar sifatida. Kvant nuqtalarining hajmini sozlash ko'plab potentsial dasturlar uchun jozibali. Masalan, kattaroq kvant nuqtalari kichikroq nuqta bilan taqqoslaganda qizil tomon ko'proq spektr-siljishga ega va kamroq aniq kvant xususiyatlarini namoyish etadi. Aksincha, kichikroq zarrachalar ko'proq nozik kvant ta'siridan foydalanishga imkon beradi.



Ishlab chiqaradigan qurilma ko'rinadigan yorug'lik, kvant quduqlarining ingichka qatlamlaridan qatlamlar ustidagi kristallarga energiya uzatish orqali. Bo'lish nol o'lchovli, kvant nuqtalari aniqroq davlatlarning zichligi yuqori o'lchovli tuzilmalarga qaraganda. Natijada, ular yuqori transport va optik xususiyatlarga ega. Ular potentsial foydalanish imkoniyatlariga ega diodli lazerlar, kuchaytirgichlar va biologik sensorlar. Kvant nuqtalari oltin nanozarrachalar tomonidan ishlab chiqariladigan mahalliy darajada kuchaytirilgan elektromagnit maydonda hayajonlanishi mumkin, keyinchalik ularni sirdan kuzatish mumkin. plazmon rezonansi (CdSe) ZnS nanokristallarining fotolyuminesstent qo'zg'alish spektrida. Yuqori sifatli kvant nuqtalari keng qo'zg'alish rejimlari va tor / nosimmetrik emissiya spektrlari tufayli optik kodlash va multiplekslash dasturlari uchun juda mos keladi. Kvant nuqtalarining yangi avlodlari hujayra ichidagi jarayonlarni bitta molekula darajasida o'rganish, yuqori aniqlikdagi uyali tasvirlash, uzoq vaqt in vivo jonli ravishda hujayra savdosini kuzatish, o'smalarni aniqlash va diagnostika qilish imkoniyatlariga ega.

CdSe nanokristallari samarali uchlikli fotosensitizatorlardir. Kichik CdSe nanopartikullarini lazer bilan qo'zg'atish, hayajonlangan holat energiyasini Kvant nuqtalaridan quyma eritma olishiga imkon beradi va shu bilan fotodinamik terapiya, fotovoltaik qurilmalar, molekulyar elektronika va kataliz kabi keng ko'lamli potentsial dasturlarga eshikni ochadi.

Biologiya

Zamonaviy biologik tahlilda har xil turlari organik bo'yoqlar ishlatiladi. Biroq, texnologiya rivojlanib borayotganligi sababli, ushbu bo'yoqlarda ko'proq moslashuvchanlik izlanmoqda.^[61] Shu maqsadda kvant nuqtalari tezda rolni to'ldirdi va bir nechta ko'rsatkichlar bo'yicha an'anaviy organik bo'yoqlardan ustun ekanligi aniqlandi, bu darhol yorqinligi (yuqori yo'q bo'lish koeffitsienti tufayli lyuminesstent bo'yoqlarga taqqoslanadigan kvant rentabelligi tufayli), shuningdek ularning barqarorligi (juda kam narsalarga imkon beradi) oqartirish). Kvant nuqtalari an'anaviy lyuminesstent muxbirlarga qaraganda 20 baravar yorqinroq va

100 baravar barqaror ekanligi taxmin qilingan.^[61] Bitta zarrachali kuzatuv uchun tartibsiz kvant nuqtalarining miltillashi kichik bir kamchilik. Shu bilan birga, kvant nuqtalarini ishlab chiqqan guruhlar mavjud bo'lib, ular bir-biriga bog'lamaydi va bitta molekulalarni kuzatish tajribalarida ularning foydaliligini namoyish etadi. Kvant nuqtalarini yuqori sezgir uyali tasvirlash uchun ishlatish katta yutuqlarga erishdi Masalan, kvant nuqtalarining yaxshilangan fotostabilligi, yuqori aniqlikdagi uch o'lchovli tasvirga qayta tiklanadigan ko'plab ketma-ket fokus-tekis tasvirlarni olish imkonini beradi.^[66] Kvantli zondlarning favqulodda fotostabilligidan foydalanadigan yana bir dastur bu molekulalar va hujayralarni uzoq vaqt davomida real vaqtda kuzatib borishdir.^[67] Antikorlar, streptavidin, peptidlar, DNK,^[70] nuklein kislota aptamerlar,^[71] yoki kichik molekula ligandlar^[72] kvant nuqtalarini hujayralardagi maxsus oqsillarga yo'naltirish uchun ishlatilishi mumkin. Tadqiqotchilar sichqonlarning limfa tugunlarida kvant nuqtalarini 4 oydan ko'proq vaqt davomida kuzatishga muvaffaq bo'lishdi. Kvant nuqtalari nanozarrachalarga o'xshash antibakterial xususiyatlarga ega bo'lishi va dozaga bog'liq holda bakteriyalarni yo'q qilishi mumkin.^[74] Kvant nuqtalari bakteriyalarni yo'q qilish mexanizmlaridan biri bu hujayralardagi antioksidant tizimning funktsiyalarini buzish va antioksidlovchi genlarni tartibga solishdir. Bundan tashqari, kvant nuqtalari to'g'ridan-to'g'ri hujayra devoriga zarar etkazishi mumkin. Kvant nuqtalari grammusbat va grammusbat bakteriyalarga qarshi samarali ekanligi isbotlangan.^[75]

Yarimo'tkazgich kvant nuqtalari ham ishlatilgan in vitro oldindan belgilangan hujayralarni tasvirlash. Haqiqiy vaqtda bitta hujayrali migratsiyani tasvirlash qobiliyati bir qator tadqiqot yo'nalishlari uchun muhim bo'lishi kutilmoqda embriogenez, saraton metastaz, ildiz hujayrasi terapevtik va limfotsit immunologiya. Biologiyada kvant nuqtalarining bitta qo'llanilishi donor floroforlari kabi Förster rezonansli energiya uzatish, bu floroforlarning yo'q bo'lib ketish koeffitsienti va spektral tozaligi ularni molekulyar florofordan ustun qiladi^[76] Shuni ham ta'kidlash joizki, QDlarning keng assimilyatsiya qilinishi

FRET asosida o'tkazilgan tadqiqotlarda QD donorini tanlab qo'zg'atishga va bo'yoq akseptorini minimal qo'zg'atishga imkon beradi.^[77] Yaqinda Kvant Dotini nuqtali dipol sifatida taxmin qilish mumkin deb taxmin qiladigan FRET modelining qo'llanilishi isbotlandi. O'simta yo'naltirilganligi uchun kvant nuqtalaridan foydalanish jonli ravishda shartlar ikkita maqsadli sxemani qo'llaydi: faol maqsadli va passiv maqsadli. Faol yo'naltirilgan holda, kvant nuqtalari o'simta hujayralariga tanlab bog'lanish uchun o'smaning o'ziga xos bog'lanish joylari bilan funksionalizatsiya qilinadi. Passiv nishonga olish kvant nuqta probalarini etkazib berish uchun o'simta hujayralarining kengaytirilgan o'tkazuvchanligi va tutilishini qo'llaydi. Tez o'sadigan o'sma hujayralari odatda sog'lom hujayralarga qaraganda ko'proq o'tkazuvchan membranalarga ega bo'lib, kichik nanopartikullarning hujayra tanasiga kirib borishiga imkon beradi. Bundan tashqari, o'simta hujayralarida samarali lenfatik drenaj tizimi mavjud emas, bu esa keyingi nanozarrachalarni to'planishiga olib keladi.

Kvantli probalar in vivo jonli zaharlanishni namoyish etadi. Masalan, CdSe nanokristallari ultrabinafsha nurlar ostida o'stirilgan hujayralar uchun juda toksik, chunki zarralar eriydi fotoliz, toksik kadmiy ionlarini oziqa muhitiga chiqarish uchun. Biroq, ultrabinafsha nurlanish bo'lmasa, barqaror polimer qoplamali kvant nuqtalari aslida zararli emasligi aniqlandi.^{[73][44]} Kvant nuqtalarining gidrogel bilan inkapsulyatsiyasi kvant nuqtalarini barqaror suvli eritmasiga kiritish imkonini beradi, bu kadmiyning oqib ketishini kamaytiradi. Keyin yana tirik organizmlardan kvant nuqtalarining chiqib ketish jarayoni haqida juda oz narsa ma'lum.

Boshqa potentsial dasturda kvant nuqtalari noorganik sifatida tekshirilmoqda florofor yordamida o'smalarni operatsiya davomida aniqlash uchun lyuminesentsiya spektroskopiyasi. Zarar ko'rmagan kvant nuqtalarini hujayra sitoplazmasiga etkazib berish mavjud texnikalar bilan bog'liq muammo bo'ldi. Vektorga asoslangan usullar kvant nuqtalarining agregatsiyasi va endosomal sekvestratsiyasiga olib keldi, elektroporatsiya esa tsitozoldagi yarim o'tkazgich zarralari va agregatlangan nuqtalarga zarar etkazishi mumkin. Via

orqali hujayralarni siqish, kvant nuqtalari agregatsiyani qo'zg'atmasdan, materialni endosomalarda ushlab turmasdan yoki hujayralar hayotiyligini sezilarli darajada yo'qotmasdan samarali ravishda etkazib berilishi mumkin. Bundan tashqari, ushbu yondashuv bilan yuborilgan individual kvant nuqtalari hujayra sitosolida aniqlanishi mumkinligini ko'rsatdi va shu tariqa ushbu texnikaning bitta molekulalarni kuzatish tadqiqotlari uchun imkoniyatlarini namoyish etdi.

Fotovoltaik qurilmalar

Asosiy maqola: Kvantli quyosh batareyasi

Kvant nuqtalarining sozlanishi assimilyatsiya spektri va yo'q bo'lish koeffitsientlari ularni fotovoltaik kabi engil yig'ish texnologiyalari uchun jozibador qiladi. Kvant nuqtalari samaradorlikni oshirishi va bugungi odatiy kremniy narxini pasaytirishi mumkin fotoelementlar. 2004 yildagi eksperimental hisobotga ko'ra,^[81] kvant nuqtalari qo'rg'oshin selenidi tashuvchini ko'paytirish jarayonida yoki bitta yuqori energiyali fotondan bir nechta eksiton hosil qilishi mumkin ko'p eksiton hosil qilish (MEG). Bu bugungi kunda yuqori energiyali fotonda bitta eksitonni boshqarishi mumkin bo'lgan yuqori fotoelektrik hujayralar bilan taqqoslaganda yuqori kinetik energiya tashuvchilar o'zlarining issiqliklarini yo'qotadi. Kvantli fotovoltaiklarni nazariy jihatdan ishlab chiqarish arzonroq bo'ladi, chunki ular oddiy kimyoviy reaksiyalar yordamida amalga oshirilishi mumkin.

Kvantli nuqta faqat quyosh xujayralari

Xushbo'y o'z-o'zidan yig'ilgan monolayerlar (SAMs) (masalan, 4-nitrobenzoik kislota) samaradorlikni oshirish uchun elektrodlarda tasma yo'nalishini yaxshilash uchun ishlatilishi mumkin. Ushbu texnik rekordni taqdim etdi quvvatni konvertatsiya qilish samaradorligi (PCE) 10,7% ni tashkil etdi.^[82] SAM ZnO-PbS kolloid kvant nuqta (CQD) plyonkalari birikmasi o'rtasida SAM molekulasining dipol momenti orqali tasmali hizalanishni o'zgartirish uchun joylashtirilgan va tarmoq tuning zichligi, dipol va SAM molekulasining yo'nalishi orqali o'zgartirilishi mumkin.^[82]

Gibrid quyosh xujayralarida kvant nuqta

Kolloid kvant nuqtalari noorganik / organik moddalarda ham qo'llaniladi gibrid quyosh xujayralari. Ushbu quyosh batareyalari jozibali, chunki arzon narxlardagi ishlab chiqarish va nisbatan yuqori samaradorlik.^[83] ZnO, TiO₂ va Nb₂O₅ nanomateriallari kabi metall oksidlarini organik fotoelektrga qo'shilishi to'liq rulonli rulonli ishlov berish yordamida tijoratlashtirildi.^[83] 13,2% quvvatni konvertatsiya qilish samaradorligi Si nanowire / PEDOT: PSS gibrid quyosh batareyalarida talab qilinadi.^[84]

Quyosh xujayralarida nanoSIM bilan kvant nuqta

Boshqa bir potentsial foydalanish QD sezgirlangan quyosh xujayrasini olish uchun tuynuk tashuvchi vosita sifatida merkaptopropion kislotaga botirilgan, CdSe kvant nuqtalari bilan yopilgan bir kristalli ZnO nanovirlarni o'z ichiga oladi. Morfologiyasi nanotarmoqlar fotonodga elektronlarning to'g'ridan-to'g'ri yo'lini olishlariga imkon berdi. Quyosh batareyasining ushbu shakli 50-60% ichki ko'rinishga ega kvant samaradorligi.^[85]

Kremniy nanoprovodlari (SiNW) va uglerod kvant nuqtalarida kvant nuqta qoplamali nanowires. Planar kremniy o'rniga SiNWlardan foydalanish Si ning antifleksion xususiyatlarini oshiradi.^[86] SiNW, SiNW-da engil tutilish tufayli nurni ushlab turuvchi ta'sir ko'rsatadi. SiNW'larni uglerod kvantli nuqtalari bilan birgalikda ishlatish natijasida quyosh batareyasi 9,10% PCE ga yetdi.^[86]

Grafen fotoelektrik qurilmalar va organik yorug'lik chiqaradigan diodalarda samaradorlikni oshirish va arzonligini oshirish uchun kvant nuqtalari organik elektron materiallar bilan aralashtirilgan (OLEDlar) grafen plitalari bilan taqqoslaganda. Ushbu grafen kvant nuqtalari UV-Vis yutilishidan fotoluminesansni boshdan kechiradigan organik ligandlar bilan ishlab chiqilgan.^[87]

Yorug'lik chiqaradigan diodlar

Shuningdek qarang: Yorug'lik chiqaradigan diod § Kvantli nuqta yoritgichlari va Kvantli displey

Mavjudlikni yaxshilash uchun kvant nuqtalarini ishlatish uchun bir necha

usullar taklif etiladi yorug'lik chiqaradigan diod (LED) dizayni, shu jumladan *Kvantli yorug'lik chiqaradigan diod (QD-LED yoki QLED)* displeylari va *Kvantli nuqta oq yorug'lik chiqaradigan diod (QD-WLED)* displeylari. Kvant nuqtalari tabiiy ravishda hosil bo'lganligi sababli monoxromatik yorug'lik, ular yorug'lik filtrlanishi kerak bo'lgan yorug'lik manbalaridan ko'ra samaraliroq bo'lishi mumkin. QD-LED-lar kremniy substratda ishlab chiqarilishi mumkin, bu ularni standart kremniyga birlashtirishga imkon beradi. integral mikrosxemalar yoki mikroelektromekanik tizimlar.

Kvantli nuqta ko'rsatiladi

Shuningdek qarang: Kvantli displey

Kvant nuqtalari displeylar uchun qadrlanadi, chunki ular juda aniq nur chiqaradi gauss taqsimoti. Natijada ko'rinadigan darajada aniqroq ranglarga ega displey paydo bo'lishi mumkin. An'anaviy rang suyuq kristalli displey (LCD) odatda orqa yoritilgan tomonidan lyuminestsent lampalar (CCFL) yoki an'anaviy oq LEDlar qizil, yashil va ko'k piksellarni ishlab chiqarish uchun rang filtrlangan. Kvantli displeylarda yorug'lik manbalari sifatida oq LEDlardan ko'ra ko'k chiqaradigan LEDlar ishlatiladi. Yoritilgan nurning konvertor qismi ko'k LED oldida joylashtirilgan mos rangli kvant nuqtalari orqali yoki orqa nuri optik to'plamidagi kvantli nuqta qo'yilgan diffuzor varag'i yordamida sof yashil va qizil nurga aylanadi. Bo'sh piksellar, shuningdek, ko'k LED yoritgichida hali ham ko'k ranglarni hosil qilishiga imkon berish uchun ishlatiladi. LCD panelining orqa nuri sifatida ushbu turdagi oq yorug'lik uchta LED yordamida RGB LED kombinatsiyasidan past narxlarda eng yaxshi rangli gamutga ega bo'lish imkonini beradi.^[89]

Kvantli displeylarni amalga oshirishning yana bir usuli bu elektroluminesans (EL) yoki elektro-emissiv usul. Bu kvant nuqtalarini har bir alohida pikselga joylashtirishni o'z ichiga oladi. Keyinchalik ular elektr tokini qo'llash orqali faollashtiriladi va boshqariladi.^[90] Bu ko'pincha yorug'lik chiqaradiganligi sababli, ushbu usulda erishish mumkin bo'lgan ranglar cheklangan bo'lishi

mumkin.^[91] Elektro-emissiv QD-LED televizorlari faqat laboratoriyalarda mavjud.

QDlarning spektrni aniq konvertatsiya qilish va sozlash qobiliyati ularni jozibador qiladi LCD displeylar. Avvalgi LCD displeylar qizil-yashil kambag'al, ko'k-sariq rangga boy oq yorug'likni muvozanatli yoritishga aylantirish uchun energiyani sarf qilishi mumkin. QD-lardan foydalangan holda ekranda faqat ideal tasvirlar uchun kerakli ranglar mavjud. Natijada yorqinroq, ravshanroq va energiyani tejaydigan ekran paydo bo'ladi. Kvant nuqtalarining birinchi tijorat qo'llanilishi Sony edi XBR 2013 yilda chiqarilgan X900A seriyali tekis panelli televizorlar.^[92]

2006 yil iyun oyida QD Vision konsepsiyani isbotlashda texnik yutuqlarni e'lon qildi kvantli nuqta displeyi va ko'rinadigan va infraqizil spektr mintaqasida yorqin emissiya ko'rsatiladi. A QD-LED integrated at a scanning microscopy tip was used to demonstrate fluorescence near-field scanning optical microscopy (NSOM) imaging.

Photodetector devices

Quantum dot photodetectors (QDPs) can be fabricated either via solution-processing,^[94] or from conventional single-crystalline semiconductors.^[95] Conventional single-crystalline semiconductor QDPs are precluded from integration with flexible organic electronics due to the incompatibility of their growth conditions with the process windows required by organik yarim o'tkazgichlar. On the other hand, solution-processed QDPs can be readily integrated with an almost infinite variety of substrates, and also postprocessed atop other integrated circuits. Bunday kolloid QDPs have potential applications in visible- and infraqizil -light kameralar,^[96] machine vision, industrial inspection, spektroskopiya, and fluorescent biomedical imaging.

Fotokatalizatorlar

Asosiy maqola: Fotokataliz

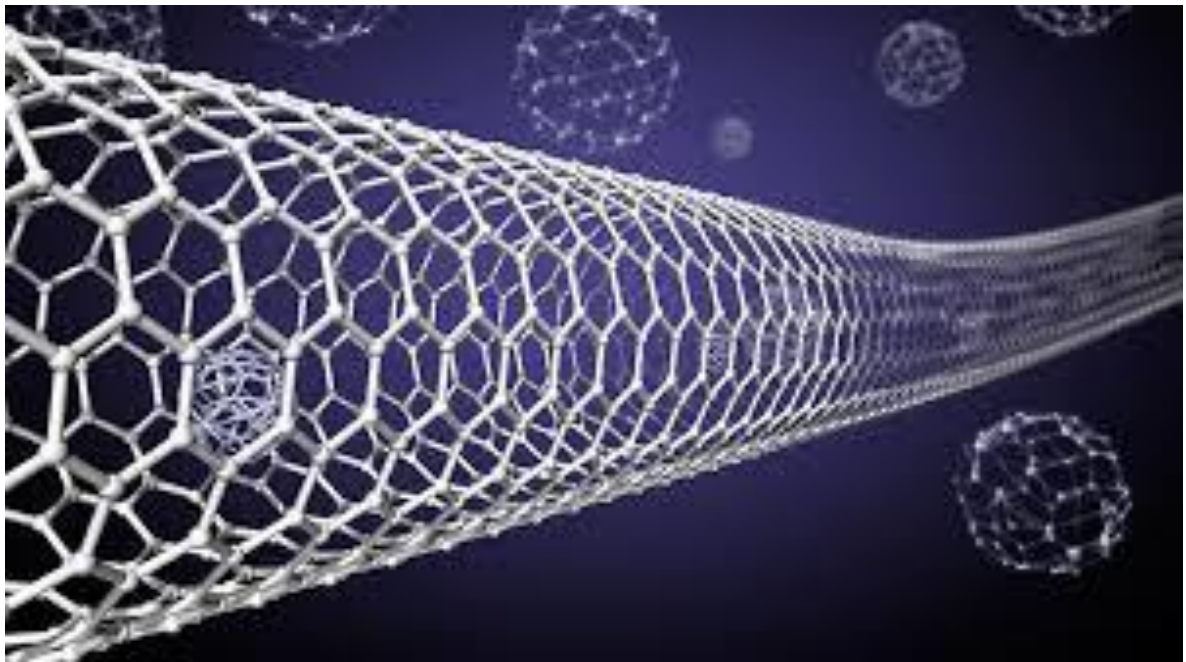
Quantum dots also function as photocatalysts for the light driven chemical conversion of water into hydrogen as a pathway to quyosh yoqilg'isi.

Yilda fotokataliz, electron hole pairs formed in the dot under tarmoqli oralig'i excitation drive oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari in the surrounding liquid. Generally, the photocatalytic activity of the dots is related to the particle size and its degree of kvantli qamoq.^[97] Buning sababi tarmoqli oralig'i belgilaydi kimyoviy energiya that is stored in the dot in the hayajonlangan holat. An obstacle for the use of quantum dots in fotokataliz mavjudligi sirt faol moddalar on the surface of the dots. These surfactants (or ligandlar) interfere with the chemical reactivity of the dots by slowing down ommaviy transfer va elektronlar almashinuvi jarayonlar. Also, quantum dots made of metal xalkogenidlar are chemically unstable under oxidizing conditions and undergo photo corrosion reactions.

Nazariya

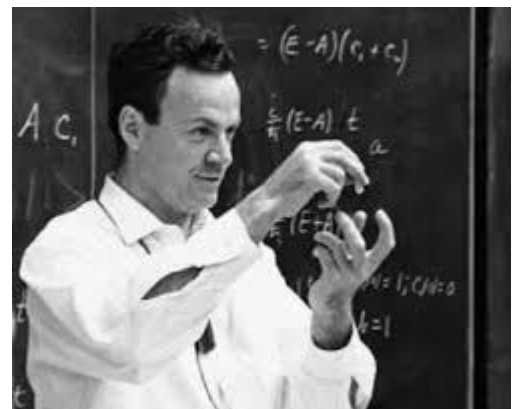
Quantum dots are theoretically described as a point like, or a zero dimensional (0D) entity. Most of their properties depend on the dimensions, shape and materials of which QDs are made. Generally QDs present different termodinamik properties from the bulk materials of which they are made. One of these effects is the Melting-point_depression. Optical properties of spherical metallic QDs are well described

Nanotexnologiya va nanoo'lchamli fan sohasiga chuqurlashishdan avval, biz nanotexnologiya terminini qo'llayotganimizda nimani nazarda tutayotganligimizni yaxshi bilishimiz kerak. Nano- old qo'shimchasi yunoncha "nannos" so'zidan olingan bo'lib, "juda kichik odam" degan ma'noni anglatadi. Bugungi kunda bu qo'shimcha o'zi qo'shilayotgan kattalikni milliarddan bir qismini ifodalaydi. SHundan kelib chiqadiki, nanotexnologiya yoki nanokimyo juda kichik o'lchamli zarrachalarni o'rganuvchi fan sohalari hisoblandi.



Nanotexnologiya² ham boshqa ko'pgina muvaffaqiyatli texnologiyalar kabi ko'pgina asoschilarga ega. Qaysidir ma'noda, kimyo sohasi nanotexnologiyalar ochilgandan buyon qattiq jismlar fizikasi institutlarining qattiq va kondensirlangan birikmalar fizikasi yo'nalishida ishlaydi. Ammo nanoo'lchamda aniq maqsad bilan izlanish va modellashtirish – yangi va revolyutsion soha hisoblanadi.

Nanotexnologiyalar termini dastlab 1974 yilda Norio Taniguchi tomonidan “Nanotexnologiyalar asosiy kontseptsiyasi” maqolasida qo'llanilgan. Bu maqolada Taniguchi nanotexnologiyalarni nanometr o'lchamdagi materiallar injenerlik texnologiyasi deb ta'riflaydi. Biroq nanotexnologiyalar tarixi uzoqroqqa borib taqaladi. 1959 yilda Kaliforniya Texnologiya institutidagi nutqida Richard Feynman bu termini qo'llaydi. Feynman bu nutqida ma'lum fizika qonunlarini buzmaydigan atom darajasida aniqlikdagi miniatyurizatsiya printsiplari haqida so'zlaydi. U jarrohlik amaliyotida qo'llash uchun nanoo'lchamli robot va shunga o'xshash g'oyalarni taklif qiladi.



Keyinchalik erik Dreksler o'zining “Nanotexnologlar asrining boshlanishi”

² Fritz Allhoff, Patrick Lin, and Daniel Moore “What Is Nanotechnology and Why Does It Matter?” Wiley-Blackwell © 2010. 5-6-bet

to'g'risidagi kitobni nashr qildirib nanotexnologiyalarni yangi bosqichga ko'tardi.

Nanotexnologiyalarning asosiy tarixiga nazar tashlab endi hozirgi darajani o'rganishni boshlashimiz mumkin. Xususan, butun dunyodagi laboratoriyalar bugungi kunda qanday nanotexnologik tadqiqotlar olib bormoqda? Bu savolning javobi bizga ular tomonidan olib borilayotgan nanomateriallar va fan sohasidagi qayta ishlash, xususiyatlar va nanomateriallar funktsionalizatsiyasini tushunish imkonini beradi. Bu o'z ichiga asosiy uch yo'nalishni qamrab oladi:

Nanoo'lcham haqidagi fan (yoki "nanofan", nanodarajadagi ta'sirlashuvlar haqidagi fan), nanomateriallar rivoji (nanoo'lchamli materiallarning tajribaviy-konstruktsion qayta ishlashlar) va modellashtirish (nanoo'lchamli materiallar ta'sirlashuvi va xossalari kompyuter modellashtirish).

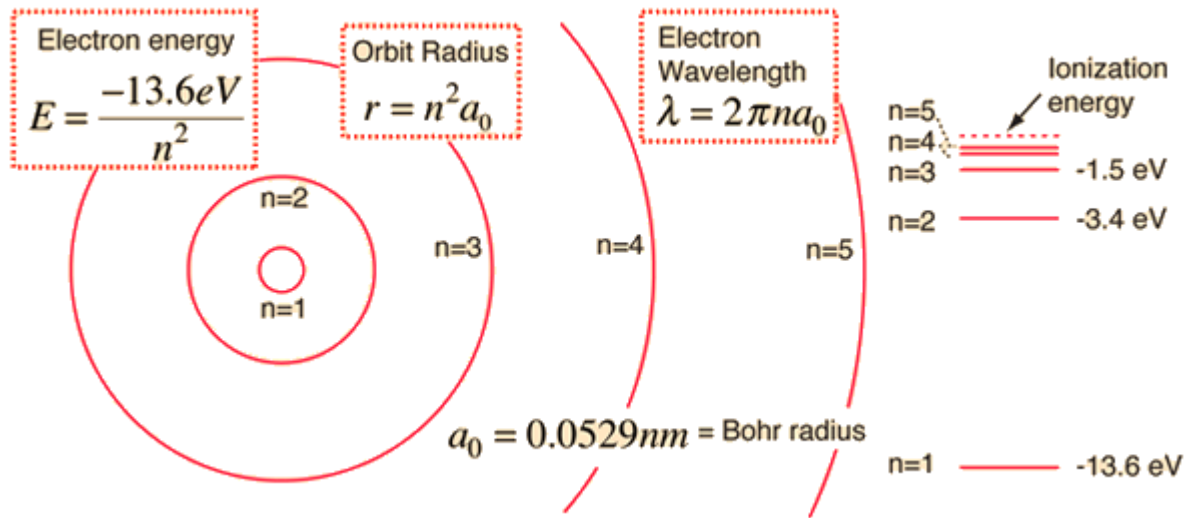
4.2. Elektr o'tkazuvchan polimerlar.

Nanotexnologiyalarning muhim aspektlaridan biri qurilma, materiallar va ta'sirlashuvlarni nanodarajada modellashtirish hisoblanadi. Jon Desmond Bernal modelchilardan biri bo'lib, u rentgen nurlari yordamida birinchilardan bo'lib materiallar strukturalarini o'rgangan.

Bunda oddiy hisob-kitoblarni qog'ozda qo'lda amalga oshirish mumkin, kompyuterlar esa katta sistemalarni (shuningdek, biologik molekulalar va kimyoviy sistemalar) tushunish va modellashtirish uchun zarur. Buning uchun katta miqdordagi hisoblash quvvati kerak. Sistemalarning zamonaviy modellashtirish nanoo'lchamli sistemalarning o'zini tutishini aytishda fundamental modellashtirishni qo'llash taqribiy yechim beradi. Ko'p mexanizmlar uchun aniq natija olib bo'lmasligi "ko'p jismlar muammosi" deyiladi. Bu muammo kvant mexanikasi tomonidan yechiladi. Qachon biz atom energiyasini aniqlamoqchi bo'lsak, elektronlar muhim rol o'ynaydi. Masalan, vodorod atomi (bitta elektron va bitta protonli) energiyasini aniqlash tenglamasi quyidagicha bo'ladi:³

³ Fritz Allhoff, Patrick Lin, and Daniel Moore "What Is Nanotechnology and Why Does It Matter?" Wiley-Blackwell © 2010.. 10-11-bet

$$E_\alpha = \frac{\langle \psi_\alpha | \hat{H} | \psi_\alpha \rangle}{\langle \psi_\alpha | \psi_\alpha \rangle}$$



Bu masala bemalol qo'lda hisoblanishi mumkin, biroq sistemaga yana bitta elektron qo'shib geliy atomi uchun shu tenglamani hosil qilsak quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left[-\frac{1}{2} \nabla_1^2 - \frac{1}{2} \nabla_2^2 - \frac{Z}{r_1} - \frac{Z}{r_2} + \frac{1}{|\bar{r}_1 - \bar{r}_2|} \right] \psi(\bar{r}_1, \bar{r}_2) = E_{\text{el}} \psi(\bar{r}_1, \bar{r}_2)$$

Bu masalan ham qo'lda hisoblash mumkin, biroq shoz quyidagicha ekan ekan.

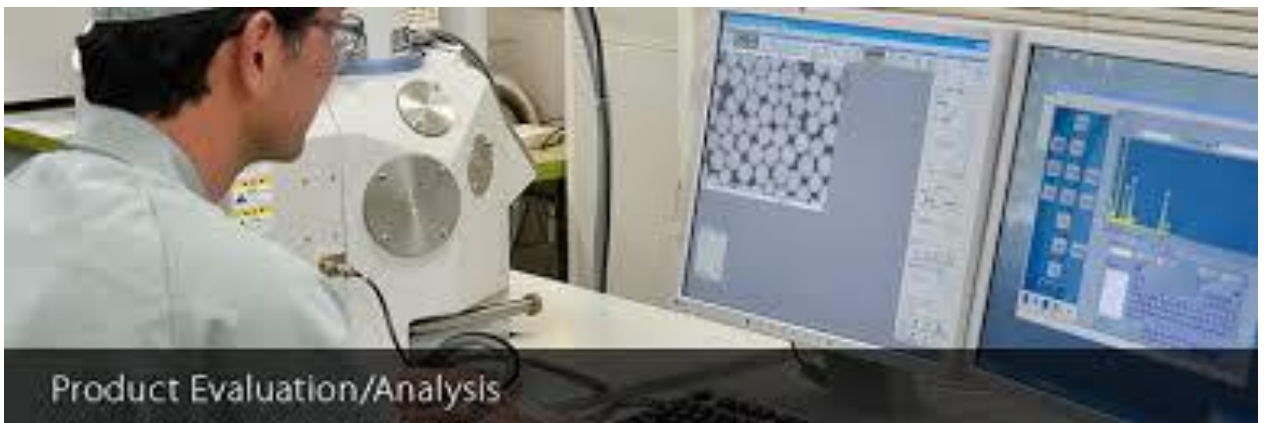
Keyingi elementlar uchun bu formula quyidagicha ko'rinishga ega:

$$\left[-\frac{1}{2} \sum_i \nabla_i^2 - \sum_i \frac{Z}{r_j} + \sum_{i>j} \frac{1}{|\bar{r}_i - \bar{r}_j|} \right] \psi(\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n) = E_{\text{el}} \psi(\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n)$$



Bu formula ikkita va unda ko'p elektronli atomlar uchun bo'lib, uni qo'lda hisoblashning imkoni yo'q.

Bu holatda bizga kompyuter modellashtirish yordamga keladi. Ammo modellashtirilayotgan sistema qanchalik katta bo'lsa, yaxshi algoritmlash uni yechishni osonlashtiradi, biroq uni to'liq yechib bera olmaydi. SHu sababli katta sistemalarni modellashtirishda yaqinlashishlardan foydalaniladi va olinadigan natijalar haqiqiy qiymatidan biroz farq qiladi.

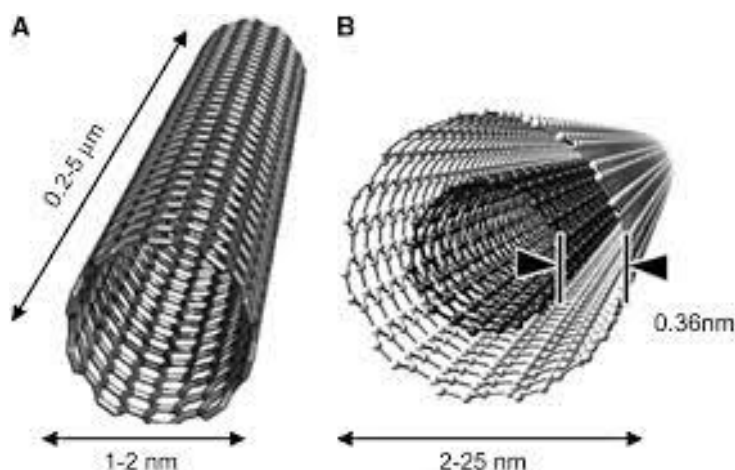


Endi esa nanotexnologiyalar, nanomateriallar va ular bilan bog'liq mahsulotlar, qayta ishlashlar, shuningdek, nanotexnologiyalar va nanomateriallarning bugungi va kelajakdagi qo'llanilishini haqida so'z yuritimiz. Zero, bugungi kunda deyarli har bir sanoat sektorida nanomateriallarga ehtiyoj mavjud.

Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash

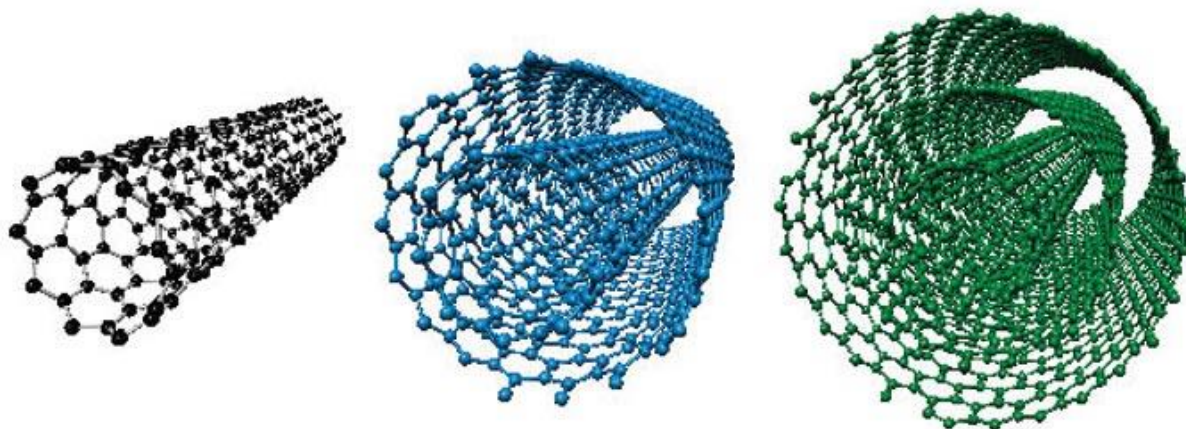
Uglerod asosidagi nanomateriallar sanoatning juda ko'p sohalarida ishlab chiqarishda yo'lga qo'yilgan. Bu materiallarga nanonaychalar, fullerenlar, uglerodli nanotolalar, qora uglerod va uglerod piyozlari misol bo'ladi. Uglerodli nanomateriallar, asosan, yoyli razryad, bug' fazadan kimyoviy cho'ktirish va lazerli ablyatsiya usullarida olinadi.

Uglerodli nanonaychalar – uglerodning 1 nm atrofidagi diametrli naysimon ko'rinishi bo'lib, uzunligi odatda bir necha nanometr dan mikrongacha bo'ladi. Uglerodli nanonaychalar ikki o'lchamli grafenning trubasimon ko'rinishiga ekvivalent hisoblanadi.⁴



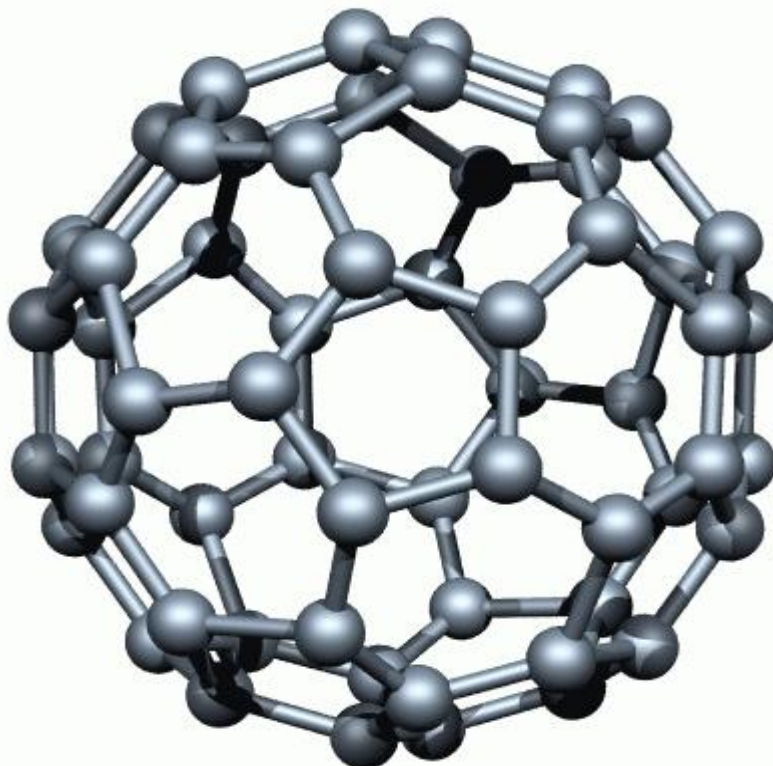
Uglerodli nanonaychalar ko'pgina sanoat sektorlarida ishlatilish potentsialiga ega. Xususan, avtomobil, elektronika, energetika va tibbiyot sohalarida keng qo'llaniladi. Nanonaychalarning ikkita: bir qavatli va ko'p qavatli turlari mavjud. Bir qavatli nanonaychalarda faqatgina bitta qavat bo'lsa, ko'p qavatlisida ikki yoki undan ortiq qavat bo'lishi mumkin. O'ramning yo'nalishiga qarab nanonaychalar yarim o'tkazuvchi yoki o'tkazuvchi bo'lishi mumkin.

⁴ Hai-Yong Kang, Ph.D. "A Review of the Emerging Nanotechnology Industry: Materials, Fabrications, and Applications" 2010. 4-bet.



Fullerenlar – uglerodning keng diapozondagi sferik shakldagi ko'rinishi hisoblanadi. Fullerenlarning C_{60} , C_{70} , C_{76} yoki C_{84} kabi formulalari mavjud. C_{60} tarkibli fulleren dastlab sintez qilingan bo'lib, shuningdek, beycbol deb ham ataladi. Uning diametri, taxminan, 0,7 nm bo'lib, barcha uglerodlar ekvivalent va uglerodlar orasidagi qo'shbo'g'ning uzunligi 0,14 nm, yakka bog'ning uzunligi esa 0,146 nm.

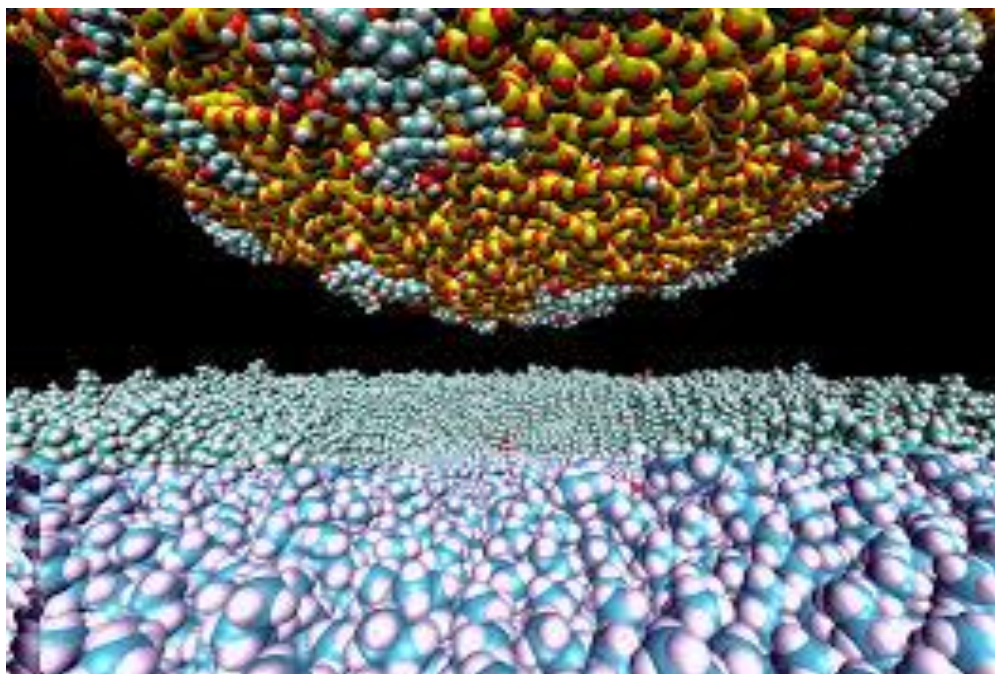
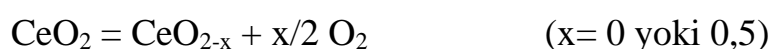
4.4. Nano



Katalizatorlar kimyoviy va farmasevtik sanoatda keng qo'llaniladi. Nanozarrachalar katta yuzaga ega bo'lganligi uchun oson katalizatorlik xususiyatini namoyon qiladi. Odatda, 1-10 nm diametrga ega bo'lgan nanozarrachalar katalizator sifatida qo'llaniladi. Katalizator zarrachalari kichrayishi bilan sirt yuzasi ortadi va o'z-o'zidan katalizatorlik xususiyati ham ortadi. Nanozarrachalar juda katta sirt yuzasiga ega bo'lganligi uchun ajoyib katalizator hisoblanadi.

TSeriy dioksidi (CeO_2) nanozarrachalari⁵

Katalizatorlar sanoatida nodir yer metallar oksidlari keng qo'llaniladi. Ular, asosan, reaksiya selektivligi va termik barqarorligini oshiradi. TSeriy oksidi shu noyob metall oksidlaridan eng keng qo'llaniladigani bo'lib, asosan, yonish reaksiyalarida qo'llaniladi. Uning yonish reaksiyasidagi katalizatorlik xususiyati Ce^{+3} va Ce^{+4} ionlarining bir-biriga o'tib turishi bilan tushuntiriladi. Bu jarayonni umumiy holda quyidagi reaksiya bilan ifodalash mumkin:



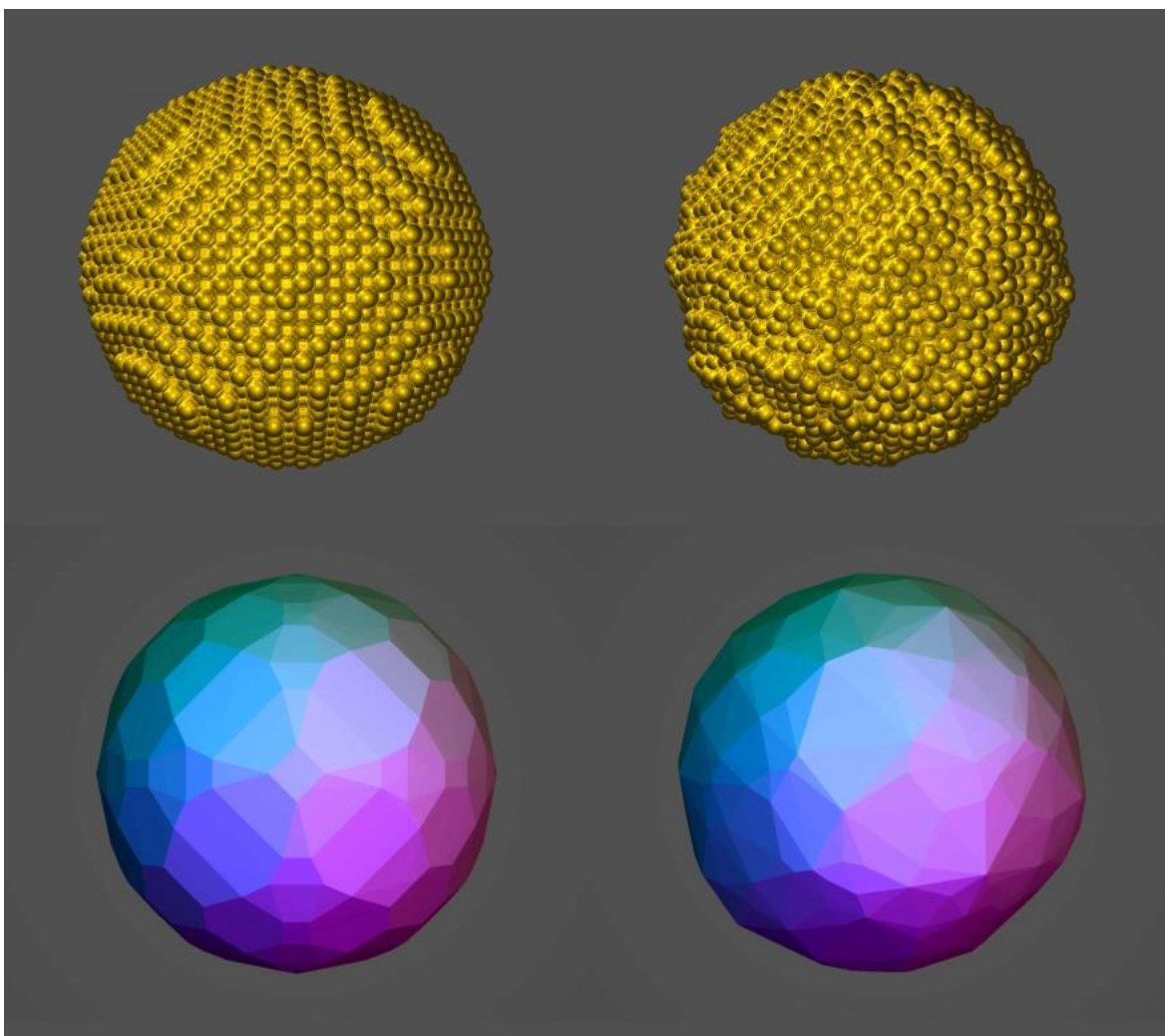
TSeriy dioksidi nanozarrachalari odatda past haroratda gidrotermal sintez asosida olinadi. Bu sintez uchun tseriy karbonat, sirka kislotasi, vodorod peroksid,

⁵ Hai-Yong Kang, Ph.D. "A Review of the Emerging Nanotechnology Industry: Materials, Fabrications, and Applications" 2010. 25-bet

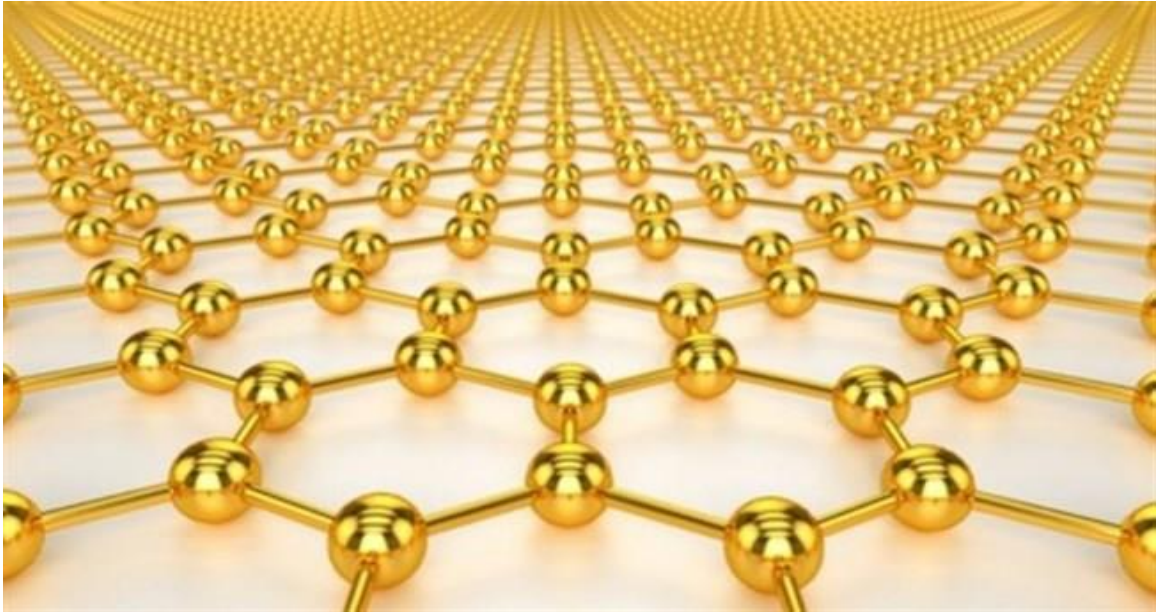
ammiak, nitrat kislotadan foydalaniladi.

Oltin nanozarrachalari

Oltin inert metal bo'lishiga qaramasdan, diametri 5 nm dan kichik bo'lgan oltin nanozarrachalari ko'pgina reaksiyalar uchun katalizator hisoblanadi. Oltin nanozarrachalari tashqi harorat past bo'lganda va yomon sharoitda juda effektiv katalizator hisoblanadi. Oltin nanozarrachalari is gazi CO ni oksidlash reaksiyasida ham yaxshi katalizator hisoblanadi.



Oltin nanozarrachalari vodorod tetraxlorid auratni natriy tsitrat tuzi bilan qaynatib olinadi. Bunda to'q vino rangli oltin nanozarrachalari hosil bo'ladi. Bunda oltinning 10-100 nm diametrlari nanozarrachalari hosil bo'lib, zarracha o'lchamini oltin tuzini va natriy tsitrat tuzini konsentratsiyani o'zgartirgan holatda boshqarish mumkin.

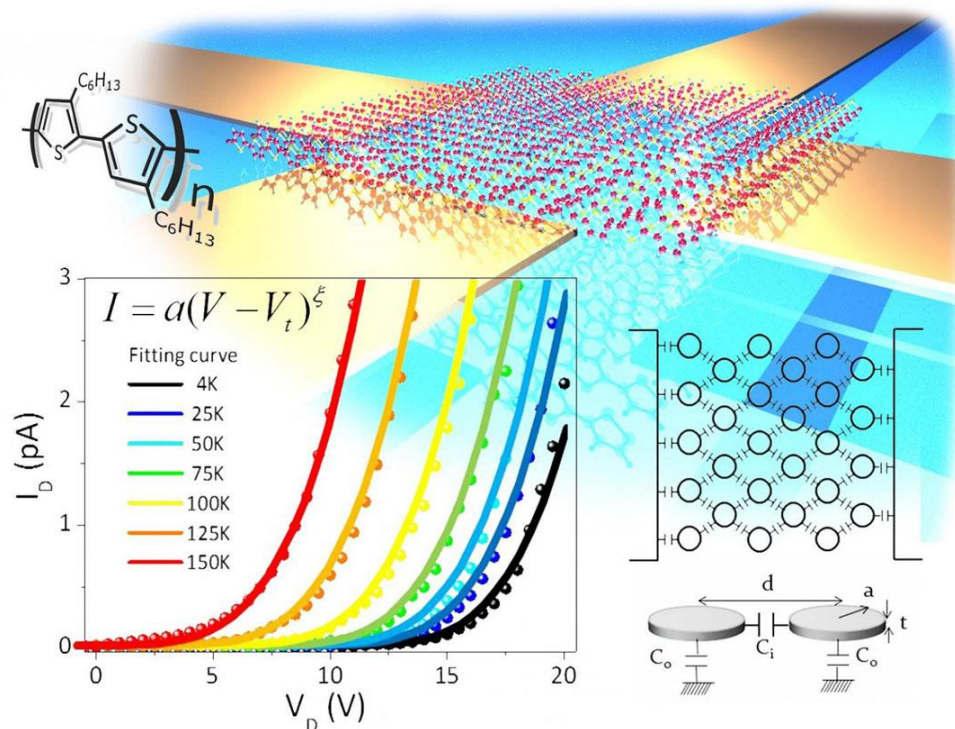


Boshqa usulda suv va toluoldan iborat ikki fazali sintez orqali ham oltin nanozarrachalarini sintez qilish mumkin. Tetraxlorid aurat tetraoktilammoniy bromid ishtirokida natriy borgidrid bilan qaytarib olinadi.

O'tkazuvchan polimerlar

Polimer – monomerlarning ketma-ket birikishidan hosil bo'ladigan katta molekula hisoblanadi. Sopolimer – ikki yoki undan ortiq monomerdan hosil bo'lgan makromolekula sanaladi. Agar polimer elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, u o'tkazuvchan polimer deyiladi. Polimerlarni nanostrukturlash ularni xususiyatini yaxshilaydi. Sopolimerdagi markazlar nanotexnologiya uchun haddan tashqari muhim hisoblanadi.⁶

⁶ Luisa Filipponi and Duncan Sutherland "Nanotechnologies: principles, applications, implications and hand-on activities. 2013. 96-bet



O'tkazuvchan polimerlarga poliatsetilen, polianilin, polipirrol, politiofen va boshqa ko'pgina polimerlar misol bo'ladi. Bu polimerlar o'zgaruvchan qo'shbog'ga ega bo'lganligi bilan xarakterlanib, π -kon'yugirlangan polimerlar hisoblanib, butun molekula bo'ylab elektron oqimi vujudga kela oladi. SHu sababli bunday molekulalar elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. O'tkazuvchan polimerlarning SEM batafsil analizi ular o'rtacha diametri 10 nm bo'lgan metall ketma-ketlikdan iboratligi aniqlandi. Poliatsetilen va polianilinlarning yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi ularning nanostrukturasi bilan bog'liq.

Nazorat savollari:

1. Dekslarning xizmati qanday?
2. Tarixiy materiallar va voqealarda nanomateriallar ishlatilganligi to'g'risidagi faktlarni keltiring.
3. Nanozarrachalar boshqa zarrachalardan farqi nimada?
4. Nanozarralar klassifikatsiyasini keltiring?
5. Uglerod nanomateriallari turlarini ko'rsating.

Qanday reaksiyalarda nanokatalizatorlar ishtiroki sifat o'zgarishlariga olib keladi?

IV. AMALIY MASHG'ULOTLAR

1-amaliy mashg'ulot: Fizik kimyoning termodinamik qonunlari

Fizik kimyoning termodinamik qonunlari yuzasidan masalalar yechish

Fizik kimyoning termodinamik qonunlari, kimyoviy reaksiyalarni termodinamik nuqtayi nazardan yo'nalishini aniqlash usullari. Kimyoviy jarayonlar va eritmalar termodinamikasi mavzulari bo'yicha masalalar echiladi

Ishdan maqsad: Termodinamika qonunlarini o'quv jarayonida qo'llashni mustaxkamlash, masalalar yechish orqali mavzuni tushunib borish

1-masala

Ideal gazni qizdirish jarayoniga

$$\Delta U + (P_2 V_2 - P_1 V_1) = n C_p (T_2 - T_1)$$

ekanligini ko'rsating.

2-masala

Quyidagi hollarning qaysi biri uchun $\Delta S = \Delta H/T$:

- $\Delta n_g = 0$ bo'lgan jarayon uchun;
- $\Delta S_r = 0$ bo'lgan jarayon uchun;
- Izobarik jarayon uchun;
- Adiabatik jarayon uchun;
- Izotermik qaytar fazaviy o'tish jarayoni uchun.

3-masala

Absolyut nol temperaturoda NO ning entropiyasini aniqlang.

4-masala

Metall holatidagi uranning 20⁰S dagi issiqlik sig'imi 0,727 kal·grad⁻¹·mol⁻¹ ga teng. Ushbu metalni 1 molining 20⁰K dagi standart absolyut entropiyasini (kal·⁰K⁻¹) hisoblang.

Javoblar

1-masalaga javob:

$$\Delta U + (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \Delta U + (nRT_2 - nRT_1) = \Delta U + nR(T_2 - T_1) = nC(T_2 - T_1) + nR(T_2 - T_1) \\ = (nC_v + nR)(T_2 - T_1) = nC_p(T_2 - T_1).$$

2-masalaga javob:

e) Izotermik qaytar fazaviy o'tish jarayoni uchun.

3-masalaga javob:

Qattiq holatda NO ikkita orientatsiyada bo'lishi mumkin. Ularning mavjud bo'lishi amalda deyarli bir xil imkoniyatga ega: -NO NO va NO ON. SHuning uchun 0^0K da entropiya

$$k \ln 2^N = N k \ln 2 = R \ln 2 = 1,99 \cdot 2,30 \cdot 0,301 =$$

bu yerda k – Boltsman doimiysi va N – Avogadro soni.

4-masalaga javob:

$$S_r \approx S_v = aT^3 ; \quad a = C_v/T^3 = 0,727/(20)^3 = 9,09 \cdot 10^{-5} ; \\ C_v = 9,09 \cdot 10^{-5} T^3 ; \quad \Delta S =_{T_1} \int^{T_2} C_v dT = \int_0^{20} 9,09 \cdot 10^{-5} T^2 dT = \\ = 1/3 \cdot 9,09 \cdot 10^{-5} (20^3 - 0^3) = 0,242 \text{ kal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} .$$

Masala

Nima uchun jarayonni o'z-o'zidan borishining me'zoni sifatida entropiyani olganimizda $\Delta S_{\text{um}} = \Delta S_{\text{sist}} - \Delta S_{\text{atrof muxit}}$ deb qabul qilishimiz kerak, erkin energiyani me'zon sifatida ishlatganimizda esa, faqat ΔG_{sist} olinadi ?

Masalaning yechimi

Sistemani T temperatura va bosim o'zgarmas bo'lgandagi izolyatsiyalangan termostatga joylashtiramiz. S sistema va t termostat birgalikda izolyatsiyalangan sistemani tashkil qiladi. SHuning uchun

$$\Delta S_s + \Delta S_t = \Delta S_{\text{um}} > 0.$$

birdan-bir ta'sirlashishi issiqlikning yutilishi va chiqarilishi yutilishi yoki yutilmasligiga qaramasdan termostat qandaydir oxirgi holatga keladi: q_t

$$= \Delta H_t .$$

SHuning uchun

$$\Delta S_t = q_{t,qaytar}/T = q_t/T = \Delta H_t /T .$$

Lekin

$$q_s = - q_t \quad \text{va} \quad \Delta H_s = q_s = -\Delta H_t ,$$

shuning uchun

$$\Delta S_s + \Delta S_t = \Delta S_s + \Delta H_t / T = \Delta S_s - \Delta H_s / T = -\Delta G_s / T > 0$$

yoki $\Delta G_s < 0 .$

G funktsiyasi atrof muxitni xisobga olish zarurati bo'lmasligi uchun kiritilgan, ayniqsa ushbu turdagi T va R o'zgarishlarida boruvchi jarayonlar uchun.

2-amaliy mashg'ulot:

1. Spektrning ko'rinarli doirasining tulqinning uzunligi $\lambda_1=0,4$ mkm dan $\lambda_2=0,75$ mkm gacha. Energiyasi kvantlar energiyasiga teng bo'lgan, kanday chegara oralig'ida yorug'likning kvantlar energiyasi va elektronlarning tezligi belgilanadi?

$$(3,10-1,66 \text{ eV}, 1,04 \cdot 10^6 - 7,62 \cdot 10^5 \text{ m/s})$$

2. Kunning yarimida Yer yuzidga tushayotgan kuyosh nurlari oqimining quvvati R 1,3 kVt/m²ga teng. Fotonlarning sonini hisoblang, agarda oqim monoxromatik bo'lib, $\lambda=0,6$ ga teng bo'lsa, 1 soniyada 1sm² ga tushayotgan va fotonlarning hajmiy konsentratsiyasini yer ustki havosida konsentratsiyani yer ustki qavat havosi molekularining konsentratsiyasi bilan taqqoslang.

$$(3,93 \cdot 10^{17}, 1,3 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-3})$$

3. Stolda A4 formatdagi qog'oz bor (210*297 mm, S=1/16 m²). Uning ustida vertikal holatda 2 m balandlikda lampa joylashgan bo'lib, uning yorug'likning quvvati 100 Vt ga teng. 1 s. Ichida qog'ozning ustiga tushayotgan fotonlarning sonini hisoblang, agarda lampaning yorug'lik to'lqinining uzunligi 580 nmga teng deb olsak, lampaning nurlanishini sferik simmetrik deb hisoblaymiz.

$$(3,63 \cdot 10^{17})$$

4. Quvvati 50 mVt/sek.ga teng bo'lgan qizil lazer ko'rsatuvchi ($\lambda=650$ nm) qancha foton nurlab chiqaradi? Diametri $d=2$ ga teng bo'lib nurda foton konsentratsiyasining hajmi va fotonlarning oqimi qanchaga teng bo'ladi (fotonlarning soni / maydonning birligiga * vakt birligiga)?

$$(1,74 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}, 1,66 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

5. S_2N_4 molekulasining to'liq energiyasini Xyukkel metodi bo'yicha MO energiyasini, MOning tarqalish koeffitsientini AOning bazisi bo'yicha toping.

6. Allil radikalining SN_2 - SN - SN_2 (1), allil kationining(2) va allil anioninning to'liq energiyasini MOX metodi bo'yicha orbital energiyasini, MOning tarqalish koeffitsientini AO bazisi bo'yicha toping.

7. Atomlarning orbital zaryadini va allil radikalda S-S bog'larning tartiblarini allil radikalida, kationida va anionida MOX metodi bo'yicha hisoblang. Uglerod atomida radikal uchun spinlarning zichligini hisoblang.

8. MO energiyasini, MOning tarqalish koeffitsientini, molekulaning energiyasini, atomlarning orbital zaryadlarini va formaldegid molekulasida $\text{SN}_2=\text{O}$ bog'larning tartibini MOX metodi bo'yicha toping.

Tavsiya qilinadigan adabiyotlar:

1. Physical chemistry. D.W.Ball, T.Baer. Wadsworth Gengage learning, USA, 2015.
2. Basic Physical chemistry. Wolfgang Scharfe. Germany, 2014.
3. Physical chemistry. A modern introduction. W.M.Davis, C.E.Dykstra. CRS Press, Taylor&Fransis group, 2012.
4. Essentials of Physycal chemistry. Don Shillady. CRS Press, Taylor&Fransis group, 2012
5. Chemical kinetics and reaction dynamics. S.K.Upadhyay. Springer, India, 2006.

3-amaliy mashg'ulot: Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar

Zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalar asoslaridan masalalar yechish
Darsda zamonaviy molekulyar-kinetik nazariyalarni mono-, bi- va uch- molekulyar

reaksiyalarda qollash. O‘tar holat nazariyasini termodinamik va statistik ifodalash. Geterogen va fermentativ katalizning o‘ziga xos xususiyatlari olinishi bilan bog‘liq masalalar ko‘riladi.

Masalalar:

Dispers faza zarrachalarining o‘lchami 1 nm dan 100 nm gacha bo‘lgan sistemaga qanday dispers sistema deyiladi?

Dispers faza zarrachalarining o‘lchami 100 nm dan katta bo‘lgan sistemaga qanday dispers sistema deyiladi?

Yuqori dispersilikka ega bo‘lgan kolloid eritmaga nima deyiladi?

Dispers sistemaning dispers muhiti gazdan tashkil topgan bo‘lsa, masalan, tuman va tutunlarga nima deyiladi?

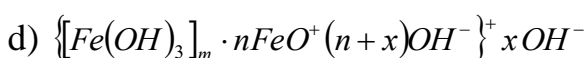
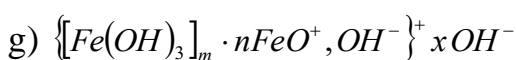
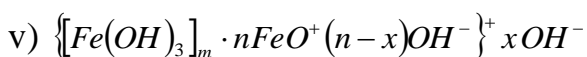
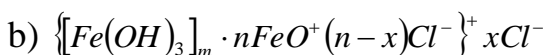
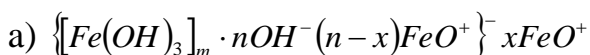
Moddalarni maxsus disperslovchi qurilmalar yordamida gel holatdan zol holatiga o‘tkazishga kolloid eritma olishning qaysi usuli deyiladi?

Qaynab turgan distilangan suvga 2% li FeCl₃ eritmasidan tomchilatib qo‘shish natijasida qizil-qo‘ng‘ir tusli Fe(OH)₃ kolloid eritmasi olindi. Bu kolloid eritma olishning qaysi usuliga mansub?

Kolloid eritmalarini tozalashning qaysi usulida kolloidiy va tsellofanlardan foydalaniladi?

Kolloid eritmalarining molekulyar-kinetik xossalari ulardagi dispers faza zarrachalarining nimasiga bevosita bog‘liq bo‘ladi?

Quyida berilgan formulalardan qaysi biri Fe(OH)₃ zoliga to‘g‘ri keladi?



Dispers faza zarrachalarining og‘irlik kuchi ta‘sirida eritma tagiga

cho'kishga qanday hodisa deyiladi?

1. 1857 yilda qaysi olim oltinning kolloid eritmasidan yorug'lik o'tkazib, uning har xil rangda toblanishini kuzatgan va o'rgangan?
2. Sferik shaklga ega bo'lgan zarrachaning dispersligini o'lchash formulasini ko'rsating?
3. Barcha dispres sistemalarda dispres faza zarrachalari sirtida qanday energiya zahirasi bo'ladi?
4. Suyuqlik yoki qattiq jism sirtida boshqa modda molekulari, atomlari yoki ionlarning yig'ilishiga nima deyiladi?
5. Musbat adsorbtsiyada moddalar suyuqlik sirtida to'planish bilan birga yutiladi va suyuqlikning sirt tarangligini kamaytiradi. Bunday moddalarga nima deyiladi?
6. Qattiq jism sirtida ketadigan solishtirma adsorbtsiya miqdorini hisoblash formulasini ko'rsating?
7. To'liq sirt energiyasi qaysi tenglama orqali hisoblanadi?
8. B.A.SHishkovskiy tenglamasini ko'rsating?
9. Lengmyur tenglamasi?
10. O'zgarmas xaroratda qattiq adsorbent sirtiga yutilgan gaz yoki erigan modda miqdori bilan adsorbent massasi orasidagi bog'lanish, qaysi olimning adsorbtsiya tenglamasi deb ataladigan formulasi bilan ifodalaniladi?

Tavsiya qilinadigan adabiyotlar:

1. Fritz Allhoff, Patrick Lin, and Daniel Moore "What Is Nanotechnology and Why Does It Matter?" Wiley-Blackwell © 2010
2. Hai-Yong Kang, Ph.D. "A Review of the Emerging Nanotechnology Industry: Materials, Fabrications, and Applications" 2010.
3. Luisa Filippini and Duncan Sutherland "Nanotechnologies: principles, applications, implications and hand-on activities. 2013.
4. Jeremy Ramsden "Essentials of nanotechnology" 2009.

4-amaliy mashg'ulot:

Vodorod energetikasi. Muqobil energetika asoslaridan masalalar yechish

Darsda vodorod energetikasi yo'nalishidagi ilmiy tadqiqotlar. Polimer xususiyatli grafitimon nanofotokatalizatorlar. Muqobil energetika. Qo'rg'oshin saqlamagan qo'sh perovskitlar asosida ekologik toza quyosh elementlarining sintezi va optik xossalari bilan bog'liq masalalar ko'riladi.

. Masalalar

1. Fizik shkala bo'yicha, qaysi energiya (megaelektronvoltda) massaning bir atom birligiga teng?
2. Qaysi energiya (megaelektronvoltda), elektron tinch holatdagi massasiga mos?
3. Uglerodning o'rtacha atom massasini fizikaviy massa shkalasi bo'yicha hisoblang.
4. Kimyoviy massa shkalasidan fizikaviyga o'tgandagi koeffitsientni, uglerodning izotop tarkibini hisobga olgan holda hisoblang.
5. Yadro radiusi, massa soniga bog'liqligi formulasidan foydalanib, Uran-238 yadrosi o'lchamini aniqlang.
6. Ko'mir yonishi jarayonida, bir molekula uglerod ikki oksidi hosil bo'ladi, bunda uglerodning yonishi issiqligi 3.94×10 dj/mol ga teng bo'lsa, bunda qancha energiya (megaelektronvoltda) ajraladi?
7. Yadroli moddaning zichligini aniqlang.
8. α -zaracha va proton, litiy-7 va berilliy -9 yadrosiga 10^{-12} sm atrofida yaqinlashsa, bunda protonning eng kam energiyasini aniqlang.
9. Masofasi 10^{-10} sm bo'lgan, proton va elektron ta'sirlashuv energiyasini aniqlang.
10. Agar elektron protondan 10^{-5} 10^{-8} 10^{-10} sm masofada bo'lsa, uning potentsial energiyasi nechaga teng?
11. Elektron-pozitron juft hosil bo'lishi uchun γ -kvant eng kam energiyasi qanchaga teng bo'lishi kerak?

12. Uran-238 yadroli reaktorda bo'linganda, elementlar rubidiy va tseziy izotopini hosil qiladi. Hosil bo'lgan rubidiy va tseziy izotoplarining parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan izotoplar qatorini yozing.

13. Uran-235 teng qismlarga bo'linganda, shu ondayoq to'rtta neytron va ikkita elektron urib chiqadi. Bunda qanaqa izotoplar hosil bo'ladi?

14. Uran-238 yadroli reaktorda bo'linganda, elementlar ksenon-140 va strontsiy-94 izotopini hosil qiladi. Hosil bo'lgan izotoplarining parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan izotoplar qatorini yozing.

15. Vismut neytronlar bilan nurlantirilganda, uran qatoridagi izotoplardan biri hosil bo'ladi. Vismut nurlantirilgandan so'ng, sodir bo'luvchi jarayon uran qatorini sxemada ko'rsating.

16. Uran parchalanishi natijasidagi qoldiqlardan hosil bo'luvchi ittriy-91 1.53 Mev energiyali beta zarracha hosil qiladi. Ittriy-91 parchalanganda 80 dj issiqlik ajralsa va bunda beta zarrachasi energiyasi issiqlikga aylansa, Ittriy-91 mikdorini (grammda) aniqlang.

17. Uran-235 neytron ta'sirida parchalanganda, 95 va 139 massali parchalar va ikki neytron hosil bo'ladi. Bo'linish jarayonida hosil bo'luvchi energiyani aniqlang.

18. 54. Uran-235 ning bitta yadrosi parchalanishi natijasida 250 Mev ga yaqin energiya ajraladi. 1 kg Uran-235 parchalanishi natijasida qancha energiya (djoul)da hosil bo'ladi.

Tavsiya qilinadigan adabiyotlar:

1. Simon. Principles of radiation physics and dosimetry. Tagget, 2011.
2. Nus&radchem 3rd frelander .Tagget, 2013
3. Physical chemistry. A modern introduction.W.M.Davis. C.E.Dystra SRS Press, Taylor&Fransys group.2012
4. Basis Physical chemistry.Wolfgang Sharte .Germany 2014

5-amaliy mashg'ulot: Supramolekulyar kimyo

Kvant nuqtalari va yarimo'tkazgichlar yaratishdan masalalar yechish

Darsda kvant nuqtalari sintezi, xossalari va qo'llanilishi. Elektr o'tkazuvchan polimerlar. Litiy-polimer batareyalar uchun yangi samarador elektrodlar yasash. Elektronika sohasi uchun yuqori elektr o'tkazuvchanlikka va noyob fizik-kimyoviy xossalarga ega boigan yarimo'tkazgichlar yaratish yuzasidan masalalar tahlil qilinadi va bu o'tilgan mavzuni mustahkamlashga tubdan yordam beradi.

1-masala. Benzolning normal qaynash temperaturasi $80,1^{\circ}\text{S}$ ga teng. Ushbu temperaturada benzolning molyar bug'lanish issiqligini baholang.

2-masala. Yer sharining quyosh atrofida aylanishi abadiy harakatga misol bo'lib, termodinamika qonunlarining buzilishiga misol bo'la oladimi?

3-masala. Har qanday o'z-o'zidan boruvchi jarayon entropiyaning ortishi bilan boradi. Lekin hisoblarga ko'ra, 1 mol O_2 o'ta sovutilgan suvning -5°S da muzlashi entropiyaning ortishi bilan boradi va $-5,04 \text{ kal}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ ga teng. Nima uchun entropiyaning o'zgarishi musbat qiymat emas?

Javoblar

1-masalaga javob:

Truton qoidasini qo'llab $\Delta N_{\text{bug}'} / T_{\text{qaynash}} \approx 21 \text{ kal}\cdot\text{grad}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ bo'lgani uchun $\Delta N_{\text{bug}'} \approx T_{\text{bug}'} \cdot 21 = 353 \cdot 21 = 7400 \text{ kal}\cdot\text{mol}^{-1}$ Molyar bug'lanish issiqligining tajribaviy qiymati $7220 \text{ kal}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2-masalaga javob:

Harakat abadiy emas, lekin tormozlanish kuchi Yerning harakat miqdori momentidan shunchalik kamki, harakatning juda ham kam miqdordagi sekinlanganligini sezish uchun juda ko'p vaqt talab qilinadi (sekinlanish tezligi yiliga $1,6 \cdot 10^{-10}$ qism). Agar tormozlanish kuchi nolga yaqin bo'lsa, harakat doimiyga o'xshaydi, lekin bu abadiy harakat bilan xech qanday umumiylikka ega emas, chunki sistema qandaydir ish bajarayotganligi uchun bunday atalishi mumkin emas.

3-masalaga javob:

O'z-o'zidan boruvchi jarayonda sistemaning entropiyasi, ya'ni suvning, ortadi,

deb ta'kidlash noto'g'ridir. Haqiqatdan ham, jarayonni o'z-o'zidan borishining me'zoni umumiy entropiyaning ortishidir (sistemaning va atrof muxitning). Atrof-muhitni hisobga olish uchun o'ta sovitilgan suvning muzlashi moy hammomida borayapti, deb hisoblaylik va bunda muzlash shunchalik sekin bormoqdaki, hammomning temperaturasi kam o'zgaradi. U holda hammomning entropiyasi (atrof-muhitning)

$$\Delta S = q_{\text{qaytar}} / T$$

-5°S da Kirxgoff tenglamasi bo'yicha hisoblangan $\Delta H = 1376 \text{ kal}\cdot\text{mol}^{-1}$ ga teng bo'ladi. Hammomning entropiyasi esa

$$\Delta S_{\text{hammom}} = 1376/268 = 5,14 \text{ kal}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

SHuning uchun umumiy entropiyaning o'zgarishi

$$-5,04 + 5,14 = 0,10 \text{ kal}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Qiymatni olamiz, ya'ni jarayon haqiqatdan ham entropiyaning ortishi bilan boradi.

Masala

Etilen S_2N_4 balonlarda tashilishi yoki quvurlarda transportirovka qilinishi mumkin.

$S_2N_4(g) = 2C(\text{grafit}) + 2H_2(g)$ reaksiya uchun 25°S da $\Delta G = -16 \text{ kkal}$.

- A) S_2N_4 ning parchalanishi o'z-o'zidan boradimi?
- B) Parchalanish xona temperaturasida boradimi?
- V) Yuqoridagi javoblar orasidagi qarama-qarshilik bormi?

Masalaning yechimi

- A) $\Delta G < 0$ bo'lganligi uchun reaksiya o'z-o'zidan boradi.
- B) Birinchi va ikkinchi javoblar orasida qarama-qarshilik yo'q.
- V) O'z-o'zidan boruvchi jarayon termodinamikada "o'tkazilishi mumkin emas" degani emas. Termodinamik nuqtai nazardan S_2N_4 25°S da parchalanishi mumkin emas, deyishga asosimiz yo'q. Ayrim termodinamikadan tashqari bo'lgan asoslarga ko'ra (masalan, faollanish energiyasi yuqori) ushbu reaksiyaning tezligi nolga tengdir.

Tavsiya qilinadigan adabiyotlar:

1. David W.Ball. Physical Chemistry, Cleveland State University , 2014.

2. William M. Davis. Physical Chemistry a modern introduction.
CRC Press, 2022.
3. Don Shilly. Essential of Physical Chemistry, CRC Press, 2012.
4. Anatol Malijevsky. Physical Chemistry in brief, Institute of Chemistry,
Prague, 2015, 466 p.

V. GLOSSARIY

Termin	O'zbek tilida talqini	Interpretation on english
Atomic Number (Tartib raqam)	Element atomi yadrosidagi protonlar sonini ko'rsatuvchi qiymat tartib (atom) raqam deyiladi	The number of protons present in the nucleus of an atom of an element is called the atomic number.
Atomic Mass Number (Atom massa soni)	Tartib (atom) raqam = protonlar soni = elektronlar soni	Atomic number (Z) = Number of protons = Number of electrons
Isotopes (Izotoplar)	Atom yadrolari tarkibidagi neytronlar soni bilan farqlanuvchi bir elementning turli atomlariga izotoplar deyiladi	The atoms of the same element, which differ in the number of neutrons present in the nuclei of their atoms are called isotopes.
Isobars (Izobarlar)	Atom massalari teng, lekin tartib raqamlari bilan farqlanuvchi turli element atomlari izobarlar deyiladi	The atoms of different elements, which have the same atomic mass number, but different atomic numbers, are called isobars.
Mass Defect (Massa defekti)	Atom yadrosidagi nuklonlar (proton va neytronlar) umumiy massasi va yadroning haqiqiy massasi o'rtasidagi farq yadroning massa defekti deyiladi	The difference between the total mass of the nucleons (protons and neutrons) present in the nucleus of an atom and the actual mass of the nucleus is called the mass defect of the nucleus.
Binding Energy (Bog'lanish)	Atom yadrosining, uning tarkibiy qismlarini tashkil	The amount of energy required to break the nucleus of an atom

energiyasi)	qiluvchi nuklonlarga parchalanishi uchun talab qilinadigan energiya miqdori yadroning bog'lanish energiyasi deyiladi	into its constituent nucleons is called binding energy of the nucleus.
Radioactivity (Radioaktivlik)	Ba'zi og'ir element atomlari beqaror yadrolarining radioaktiv nurlanish orqali o'z-o'zidan parchalanish hodisasiga radioaktivlik deyiladi.	The phenomenon of spontaneous disintegration of an unstable nuclei of certain heavy elements with the emission of some radioactive radiation is called radioactivity
Photon (Foton)	Elektromagnit nurlanishning diskret energiya paketi	A discrete packet of energy associated with electromagnetic radiation.
Quantum number (Kvant son)	Kvant energiya holatini ko'rsatuvchi ko'rsatkich. Kvant soni chegaralangan holatdagi elektronning, masalan, atomdagi elektronning holatini tushuntirish uchun ishlatiladi	Indices that label quantized energy states. Quantum numbers are used to describe the state of a confined electron, e. g. an electron in an atom.
Uncertainty principle (Noaniqlik printsipi)	Geyzenbergning noaniqlik printsipi; Geyzenberg printsipi; noaniqlik printsipi	Heisenberg's uncertainty principle; Heisenberg principle; indeterminacy principle.
Atomic force microscope (Atom kuch mikroskopi)	Kichik va yumshoq keramik yoki yarimo'tkazgich namuna yuzasining xususiyatlaridan kelib chiqqan holda yaqinlashish yoki sekin-asta uzoqlashish orqali fizik yuzada	A scientific instrument that can generate images of nanoscale details on a physical surface by scanning a tiny, flexible ceramic or semiconductor probe just above the surface—

	nano o'lchamdagi qismlarni (detallarni) suratga olib bera oladigan va og'ishlarni lazer yordamida ko'rish mumkin bo'lgan ilmiy qurilma	where it will be attracted or repelled slightly by features on the surface, and the deflection can be detected with the laser.
Carbon nanotube (Uglerod nanotrubkasi)	TSilindrik shaklga ega uglerod molekulasi. Uglerod nanotrubkasining (CNT) tuzilishi va kimyoviy bog'lari unga noyob qattqlik, elektrik va termik xususiyatlarni beradi	Carbon molecule with a cylindrical shape. The structure and chemical bonds of CNTs result in unique strength, electrical, and thermal properties.
Colloid (Kolloid)	Bir muhitda nano- yoki mikrozarxalarning cho'kmaga tushmagan holatda bo'lishi; kolloidlarga gel, aerozolъ va emulъsiyalar kiradi	Nanoscale or microscale particles suspended in another medium; colloids include gels, aerosols, and emulsions
Nanocrystals (Nanokristallar)	Nano o'lchamdagi yarimo'tkazgich kristallar deb ham ataladi. Nanokristallar istalgan joydan bir necha yuzdan o'n mingtagacha atomning kristallanishi natijasida hosil bo'ladigan, "klaster" nomi bilan tanilgan agregatlardir	Also known as nanoscale semiconductor crystals. Nanocrystals are aggregates of anywhere from a few hundred to tens of thousands of atoms that combine into a crystalline form of matter known as a "cluster."
Nanocomposite (Nanokompozit)	Tarkibida kamida bitta nano o'lchamdagi ikki va undan ortiq komponentdan tashkil topgan material. Nanozarxalar boshqa bir qattiq materialda	A material composed of two or more substances, of which at least one has a nanoscale dimension, such as nanoparticles dispersed

	disperslangan	throughout another solid material.
Nanometer (Nanometr)	Metarning bir billion yoki millimetrning bir million yoki qo'pol qilib aytganda, Amerika 10 sentlik tangasining qalinligini milliondan bir qismini tashkil qiluvchi uzunlik o'lchov birligi	A distance unit representing one-billionth of a meter, or one-millionth of a millimeter, or roughly one-millionth the thickness of an American dime.

VI. ADABIYOTLAR RO'YXATI

I. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining asarlari

1. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalimiz bilan birga .uramiz. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 488 b.
2. Mirziyoyev Sh.M. Milliy tara..iyot yo'limizni .at'iyat bilan davom ettirib, yangi bos.ichga ko'taramiz. 1-jild. – T.: “O'zbekiston”, 2017. – 592 b.
3. Mirziyoyev Sh.M. Xalimizning roziligi bizning faoliyatimizga berilgan eng oliy ba.odir. 2-jild. T.: “O'zbekiston”, 2018. – 507 b.
4. Mirziyoyev Sh.M. Niyati ulu. xal.ning ishi .am ulu., .ayoti yoru. va kelajagi farovon bo'ladi. 3-jild.– T.: “O'zbekiston”, 2019. – 400 b.
5. Mirziyoyev Sh.M. Milliy tiklanishdan – milliy yuksalish sari. 4-jild.– T.: “O'zbekiston”, 2020. – 400 b.

II. Normativ huquqiy hujjatlar

6. O'zbekiston Respublikasining Konstitusiyasi. – T.: O'zbekiston, 2018.
7. O'zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda .abul .ilingan “Ta'lim to'.risida”gi O'R.-637-sonli .onuni.
8. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2015 yil 12 iyun “Oliy ta'lim muasalarining raxbar va pedagog kadrlarini .ayta tayyorlash va malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'.risida”gi PF-4732-sonli Farmoni.
9. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha .arakatlar strategiyasi to'.risida”gi 4947-sonli Farmoni.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 20 aprel "Oliy ta'lim tizimini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to'.risida”gi P.-2909-sonli .arori.
11. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 21 sentyabr “2019-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini innovasion rivojlantirish strategiyasini tasdi.lash to'.risida”gi PF-5544-sonli Farmoni.

12. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 may "O'zbekiston Respublikasida korrupsiyaga qarshi kurashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'rtisida"gi PF-5729-son Farmoni.

13. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 17 iyun "2019-2023 yillarda Mirzo Ulubek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida talab yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatini rivojlantirish chora-tadbirlari to'rtisida"gi P.-4358-sonli qarori.

14. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 27 avgust "Oliy ta'lim muassasalari raqab va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'rtisida"gi PF-5789-sonli Farmoni.

15. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 8 oktyabr "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'rtisida"gi PF-5847-sonli Farmoni.

16. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 12 avgust "Kimyo va biologiya yo'nalishlarida uzluksiz ta'lim sifatini va ilm-fan natijadorligini oshirish chora-tadbirlari to'rtisida"gi P.-4805-sonli qarori.

17. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyevning 2020 yil 25 yanvardagi Oliy Majlisga Murojaatnomasi.

18. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentyabr "Oliy ta'lim muassasalari raqab va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'rtisida"gi 797-sonli qarori.

III. Maxsus adabiyotlar

19. David W.Ball. Physical Chemistry, Cleveland State University , 2014

20. Wolfgang Scharfe. Basic Physical chemistry. Germany, 2014.

21. Klaus Capelle. A Bird's-Eye View of Density-Functional Theory. arxiv: cond-mat/0211443v5 [cond-mat.mtrl-sci] 18 Nov 2006.

22. W.M.Davis, C.E.Dykstra. Physical chemistry. A modern introduction. CRS Press, Taylor&Fransis group, 2012.

23. Don Shillady. Essentials of Physycal chemistryCRS Press, Taylor&Fransis group, 2012
24. S.K.Upadhyay Chemical kinetics and reaction dynamics. Springer, India, 2006.
25. Fritz Allhoff, Patrick Lin, and Daniel Moore “What Is Nanotechnology and Why Does It Matter?” Wiley-Blackwell © 2010
26. Hai-Yong Kang, Ph.D. “A Review of the Emerging Nanotechnology Industry: Materials, Fabrications, and Applications” 2010.
27. Luisa Filipponi and Duncan Sutherland “Nanotechnologies: principles, applications, implications and hand-on activities. 2013.
28. Jeremy Ramsden “Essentails of nanotechnology” 2009.
29. William M. Davis. Physical Chemistry a modern introduction. CRC Press, 2012.
30. Don Shilldy. Essentional of Phisical Chemistry, CRC Press, 2012.
31. Anatol Malijeovsky Phyzical Chemistry in brief, Instite of Chemistry, Prague, 2005, 466 p.
32. Howard Devoe Thermodynamics and chemistry.A.P.Ch.E.University of Maryland, 2015, 504 p.
33. Clifford E.Dikte Physical Chemistry. A modern information, Teylor and Francis Grup.LLC,2022, 452 p.
34. Акбаров Х.И., Тиллаев Р.С., Саъдуллаев Б.У. “Физикавий кимё”. “Университет”, 2015, 436 бет.
35. Акбаров Х.И. Физикавий кимё курсидан услубий қўлланма. Toshkent. 2016, 66 бет.
36. А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. «Физическая химия». М.: «Высшая школа». 2019.

IV. Internet saytlar

37. <http://www.nanometr.ru>.
38. <http://www.chem.msu.ru>
39. <http://www.rushim.ru>

40. <http://www.hemi.nsu.ru>

41. <http://www.Ziyonet.uz>

42. <http://www.natlib.uz>