AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ
BAKI DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

**2317.01- "NANOKİMYA VƏ NANOMATERİALLAR" ixtisası üzrə fəlsəfə doktoru proqramı əsasında doktoranturaya qəbul imtahanı üçün**

# PROQRAM

**Bakı Dövlət Universitetinin Kimya fakültəsinin Elmi Şurasının qərarı ilə tövsiyə edilmişdir**

BAKI – 2026

Tərtib edənlər : BDU-nun Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasının müdiri, k.e.d. R.M.Alosmanov

BDU-nun Yüksəkmolekullu biləşmələr kimyası kafedrasının dosenti, k.ü.f.d. O.O.Balayeva

Rəy verənlər: BDU-nun Yüksəkmolekullu biləşmələr kimyası kafedrasının professoru, k.e.d. A.Ə.Əzizov

BDU-nun Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasının baş müəllimi, k.ü.f.d. A.H.Kərimova

## “NANOKİMYA VƏ NANOMATERİALLAR” İXTİSASINDAN FƏLSƏFƏ DOKTORLUQ İMTAHANININ PROQRAMI

**Nanokimyanın əsas anlayışları**.

Nanokimyanın yaranması və inkişaf mərhələləri. Nanomaterialların elm və texnologiyada material kimi istifadə olunmasının əsas istiqamətləri. Nanoölçülü obyektlərin təbiətdə mövcudluğu və onların rolu. Nanokimyanın əsas anlayışları və xüsusiyyətləri. Terminologiya: nanoölçü, nanohissəciklər, nanoklasterlər, kvant nöqtələri və s. Nanomaterialların unikal xassələri və onların makroskopik materiallardan fərqləri.

Nanoobyektlərin əsas fundamental xassələri (ölçü effekti, səth/ həcm nisbəti, kvant ölçü effekti). Nanomaterialların təsnifatı (ölçüsünə, quruluşuna və tərkibinə görə).

**Nanokimya və nanotexnologiya anlayışları.**

Nanoölçülü hissəciklərin kimyəvi sintezi, quruluşu və xassələri. Nanotexnologiya və molekulyar nanotexnologiya anlayışları. Nanotexnologiyanın inkişaf tarixi və müasir imkanları. Richard Feynman nəzəriyyəsi və onun nanotexnologiyanın formalaşmasındakı rolu.

Atomlarla manipulyasiya üsulları (sinxrotron şüalanması və müxtəlif spektroskopiya metodları). Skanedici tunel mikroskopunun ixtirası və füllerenin ($C_{60}$) kəşfinin nanotexnologiyanın inkişafı ilə əlaqəsi. Ölçü effekti anlayışı. Həcmli materiallar və nanomateriallar: oxşar və fərqli cəhətləri. Nanomateriallarda nanohissəciklərin ölçüləri və onların fiziki-kimyəvi xassələrə təsiri. Nanohissəciklərin ölçüsünə, formasına və səth xassələrinə nəzarət üsulları. Nanohissəciklərin öz-özünə təşkil olunma qabiliyyəti (self-assembly). Nanoklasterlər və onların dayanıqlığı.

**Nanoölçülü materialların sintezinin əsas istiqamətləri**

Yuxarıdan aşağıya (Top-Down) və aşağıdan yuxarıya (Bottom-Up) yanaşmalar. Optik litoqrafiya və nanolitoqrafiya üsulları. Maddənin və ya informasiyanın səthə fiziki üsullarla ötürülməsi. Məhluldan sintez üsulu və buxarın kondensasiyası metodları.

*Nanohissəciklərin kimyəvi alınma üsulları:*

1. Birbaşa reaksiya metodu
1.1. Birmənbədən parçalanma metodu
1.2. Bərk maddələrin sürətli mübadiləsi metodu
1.3. Qaz faza üsulu
1.4. Kimyəvi buxarın çökdürülməsi
2. Məhlul fazasında kimyəvi sintez
2.1. Reduksiya metodu
2.2. Sol-gel üsulu
2.3. Birgə çökmə metodu
3. Digər müasir kimyəvi yanaşmalar
3.1. Hidrotermiki və solvotermiki sintez

3.2. Mikroemulsiya üsulu
3.3. Öz-özünə yığılma (self-assembly)

*Nanohissəciklərin fiziki alınma üsulları*

1. Mexaniki üyütmə (Ball milling)
2. Buxarlanma–kondensasiya metodu
3. Lazer buxarlanması üsulu
4. Fiziki buxarın çökdürülməsi
5. Elektrik qövsü üsulu
6. Sprey piroliz üsulu

**Nanohissəciklərin stabilləşməsi**

Kolloid sistemlərin tərifi və növləri – dispers sistemlər, nanoölçülü hissəciklər, maye, gel, aerozol. Nanohissəciklərin stabilliyi – aqreqasiya meyli, səth enerjisi və nanoölçünün rolu. Stabilləşdirmənin əhəmiyyəti – kataliz, dərman daşıyıcıları, optik və elektron tətbiqlər. Elektrostatik stabilləşmə – yüklü hissəcik səthləri və itələyici qüvvələr. Sterik stabilləşmə – polimer və səthi aktiv maddələrin fiziki maneə yaratması. Elektrosterik stabilləşmə – elektrostatik və sterik mexanizmlərin birləşməsi. Səthi aktiv maddələr (SAM-lar) – qısa tərif, strukturu və əsas növləri. Kationik SAM-lar – rolu, nümunələr və xassələri. Anionik SAM-lar – rolu, nümunələr və xassələri. Qeyri-ionik SAM-lar – rolu, nümunələr və xüsusiyyətləri. Polimer stabilləşdiricilər – səthi funksional qruplar, molekul çəkisi, adsorbsiya mexanizmi. Nanohissəcik-SAM qarşılıqlı təsiri – səth gərginliyi, adsorbsiyanın təsiri, dinamika. Qaz və maye fazada stabilləşmə üsulları – aerosol, emulsiya, sol-gel sistemləri. Fiziki və kimyəvi xassələrə təsir – ölçü paylanması, səthin potensialı, optik və elektron xassələr. Tətbiq sahələri və perspektivlər – dərman daşıyıcıları, katalizatorlar, fotolüminesensiya və sensorlar.

**Nanomaterialların sintezinə təsir edən amillər və alınan məhsulun xüsusiyyətlərinin idarə olunması**

Prekursorların və reaktivlərin rolu – tərkib, saflıq və konsentrasiyanın nanohissəcik ölçüsünə təsiri. Temperatur və reaksiyanın kinetikası – böyümə sürəti və morfologiyaya təsir. pH, ionik güc və məhlulun təsiri – səth yükü və aqreqasiya meyli. Səthi aktiv maddələr və polimer stabilləşdiricilər– elektrostatik və sterik stabilləşmə mexanizmləri. Nukleasiya və böyümə mexanizmləri – LaMer modeli, hissəcik ölçüsünün idarəsi. Nanohissəciklərin morfologiyası – kub, kürə, konus, plitə, boru formalı strukturlar. Kristallik və faza nəzarəti – termodinamik və kinetik faktorlar, kristal defektlərin idarəsi.

Nanoölçülü sistemlərin dispersiya və stabilliyi – səth enerjisi və hissəcik qarşılıqlı təsirləri. Hibridləşmə və funksionallaşdırma – heteroatom doping, üzvi/qeyri-üzvi kompozitləşmə. Qaz, maye və bərk faza mühiti – sintez mühitinin xassələrə təsiri. Optik, elektron və maqnetik xassələrin idarəsi – ölçü, forma və səth effektləri. Tətbiq üçün optimallaşdırma – kataliz, dərman daşıyıcıları, sensor və fotolüminesensiya materialları.

Perspektiv tədqiqat istiqamətləri – yeni sintez üsulları və nanomaterialların gələcək tətbiqləri.

**Karbon əsaslı nanomateriallar: quruluşu, xassələri və kimyəvi çevrilmələri**

Karbon nanoquruluşlarına ümumi baxış – nanoölçülü sistemlərin əhəmiyyəti və tətbiqi. Karbonun allotropikmodifikasiyaları – sp, $sp^2$, $sp^3$ hibridləşmələrinin rolu. Sıfırölçülü (0D) karbon nanostrukturlar – füllerenlər və kvant nöqtələri. Birölçülü (1D) karbon nanostrukturlar – karbon nanoboruları, xiralıq və elektron xassələri. İkiölçülü (2D) karbon nanostrukturlar – qrafen, qrafen oksid və törəmələri. Üçölçülü (3D) karbon strukturları – məsaməli karbon, qrafen kompozitlər və karbidlər. Füllerenlərin quruluşu və konus formalı füllerenlər – rabitə, bucaq və ölçü effektləri. Karbon nanoborularının quruluşu və modifikasiyası – ziqzaq və kürsüşəkilli növlər. Heterofüllerenlər və alifüllerenlər – tərkib və xassələr. Füllerenlərin kimyəvi çevrilmələri – dimerləşmə, polimerləşmə, Diels–Alder reaksiyaları. Füllerenlərin halogenləşməsi və oksidləşməsi – xlorid, bromid və flüorid törəmələri. Kovalent və qeyri-kovalent funksionallaşdırma – metal, qələvi torpaq və üzvi qrupların birləşməsi. Nanokarbonların fiziki və kimyəvi xassələri – elektron, optik və maqnetik xassələr. Karbon nanoquruluşlarının alınma üsulları – lazer buxarlanma, kimyəvi və fiziki metodlar. Tətbiq sahələri – kataliz, enerji saxlama, sensor texnologiyaları, fotolüminesensiya və biotibbdə tətbiqi.

**Polimer nanokompozitlər**

Polimer nanokompozitlər – polimer matrisində nanoölçülü doldurucuların (0D, 1D, 2D) dispersiyası ilə yaranan materiallar. Nanoölçülü doldurucular və onların polimerin mexaniki, termiki, elektrik və optik xassələrinə təsiri. Doldurucular: karbon əsaslı (qrafen, karbon nanoborular), metal oksidlər ($TiO_2$, ZnO), silika nanosferlər və digər qeyri-üzvi/hibrid nanomateriallar.
Alınma üsulları: In situ polimerləşmə, məhlulda qarışdırma, Layer-by-layer (LbL) və digər hibrid üsullar – funksionallaşdırılmış nanodoldurucuların yerləşdirilməsi, electrospinning və nanofiber texnologiyaları.

Nanodoldurucuların tipləri: 0D: füllerenlər, kvant nöqtələri, nanosferlər. 1D: karbon nanoborular, nanoyivlər, nanotellər. 2D: qrafen, qrafen oksid, $MoS_2$, klays və s. Hibrid doldurucular: karbohidrogen + metal/metal oksid nanomaterialların kombinasiyası.

Polimer nanokompozitlərin xassələr və onların idarə olunması: Mexaniki xassələr: sərtlik, möhkəmlik, elastiklik. Termik xassələr: istilik dayanıqlığı, şüşələşmə temperaturu, termiki keçiricilik. Elektrik və maqnit xassələr: keçiricilik, dielektrik, maqnetik reaksiya. Optik xassələr: şüalanma, fotolüminesensiya, şəffaflıq. Xassələrin idarəsi filler növü, ölçüsü, səth funksional qrupları və dispersiya keyfiyyəti ilə birbaşa bağlıdır.

Polimer nanokompozitlərin stabilləşmə və səthi funksionallaşdırma xüsusiyyətləri. *Tətbiq sahələri*:Sənaye: avtomobil, aero-kosmik, tikinti materialları. Elektronika və enerji: superkondensatorlar, batareyalar, sensorlar. Biotibb və dərman daşıyıcıları:

nanodoldurucular ilə polimer kapsulalar, hədəflənmiş çatdırılma. Fotolüminesensiya və optik materiallar.

**Dendrimerlər. Quruluşu, alınması və Nanotexnoloji Tətbiqləri**

Dendrimerlərin tərifi və ümumi anlayışı – unikal budaqlanmış makromolekulyar strukturlar. Təbii və sintetik dendrimerlər – polifenilen, PAMAM və digər təbii/sintetik növləri. Dendrimerlərin sintez üsulları: ayrılma və budaqlanma metodu. Birləşmə metodu ilə dendrimer sintezi – generasiya dərəcəsinin idarəsi və potensial davamlı budaqlanma. Dendrimer generasiyaları və molekul ölçüsü – IV-dərəcəli, V-dərəcəli və daha yüksək generasiyalar. Viskozluq və dendrimerin xassələrinə təsiri – molekul həcmi, səth sahəsi və məhluldakı davranışı. Dendrimerlərin katalitik xassələri – homogen və heterogen katalizdə tətbiqi. Sensor tətbiqləri – polifenilen dendrimerləri, CO və $CO_2$, $SO_2$ və digər qazların ayırd olunması. Qaz və buxarların ayırd edilməsi – optik və elektrokimyəvi sensorlar. Kation və anionların ayırd edilməsi – ion seçicilik və elektrokimyəvi analiz. Biosensorlarda dendrimerlərin rolu – qlükoza sensorları, hüceyrə və bakteriyaların ayırd edilməsi. Dərman daşınma sistemlərində dendrimerlər – hədəflənmiş çatdırılma və kapsulalar. Dendrimer-karbon kompozitləri – elektron, optik və katalitik tətbiqlər üçün hibrid materiallar. Ultranazik polimer təbəqələri və makromolekulyar quruluşlar – səth modifikasiyası və nanofilm istehsalı. Supramolekullu dendrimerlər – molekulyar özünü yığma, çoxfunksiyalı sistemlər və gələcək perspektivlər.

**Molekulyar mühərriklər və polimer nanoreaktorlar: sintezi, xassələri və tətbiqi**

Molekulyar mühərriklərin tərifi və anlayışı – molekulyar ölçülü maşınlar, mexaniki funksiyalar. Katenanlar: quruluşu və əsas anlayışları – ikihəlqəli və çoxhəlqəli katenanlar. Katenanların sintezi – supramolekulyar kimya, hidrogen rabitəsi, template üsullar. Katenanların xassələri və funksional xüsusiyyətləri – çevrilmə, dönmə, mexaniki iş. Rotaksanlar: quruluşu və tipləri – psevdorotaksanlar, yüksək molekullu rotaksan sistemləri. Rotaksan molekullarının sintezi – hidrogen rabitəsi ilə molekulların birləşdirilməsi, makro-tsikllərin hazırlanması. Knotanlar və polimer nanokompozitlər – həlqə formalı budaqlanmış strukturların sintezi və tətbiqi. Molekulyar mühərriklərin işləmə prinsipi – stimuli (işıq, elektrik, kimyəvi) ilə hərəkət mexanizmləri. Molekulyar mühərriklərin xassələri – çevrilmə sürəti, çevikliyi, stabilləşməsi, termiki və kimyəvi dayanıqlıq. Molekulyar mühərriklərin tətbiqi – nanoelektronika, kataliz, nanomaterialların yığılması və dərman daşınma mexanizmi. Polimer nanoreaktorların anlayışı və strukturu – polimer matrisində nanoölçülü reaksiya mühiti. Metal nanoreaktorların formalaşması – metal nanohissəciklərin polimer matrisində böyüməsi və dispersiyası. Metalın blok sopolimerə daxil edilməsi və polimer səthinə bərkidilməsi – funksional səthlərin hazırlanması, nanoölçülü katalizatorlar. Supramolekullu yanaşmalar və hibrid nanoreaktorlar – katenan, rotaksan və knotanların nanoreaktor dizaynında rolu. Tədqiqat metodları və perspektiv tətbiqlər – spectroskopiya, TEM/SEM, optik və mexaniki sensorlar, dərman daşıyıcıları, nano-mexanik sistemlər.

**Kataliz və Nanokataliz: Mexanizmlər, Fotokataliz və Müasir Tətbiqlər**

Katalizatorların əsas anlayışları və təsnifatı — katalizator nədir, niyə istifadə olunur. Nanokatalizatorlar: üstünlükləri — nanoölçünün katalitik fəaliyyətə təsiri. Homogen və heterogen katalizatorlar — fərqlər, üstünlüklər və məhdudiyyətlər. Fotokataliz: əsas prinsiplər və tarixi inkişaf — işıqla aktivləşmə və katalitik proseslər. Fotokatalitik reaksiyaların mexanizmi — foton absorbsiyası, elektron–deşik cütləri və reaktiv növlər. Eley–Rideal mexanizmi — adsorbsiya olunmuş substratların reaktivləşməsi. Langmuir–Hinshelwood mexanizmi — iki adsorbsiya olunmuş reaktantın reaksiya gedişi. Birbaşa və dolayı fotokatalitik reaksiyalar — birbaşa elektron transferi və hidroksil radikallarının rolu. Suyun parçalanması ilə fotokatalitik hidrogen istehsalı — enerji çevrilməsi və təmiz enerji perspektivləri. Fenton və Fenton-tip reaksiyaları — $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ katalizində hidroksil radikallarının yaranması. Dəmir və serium oksidlərinin qabaqcıl oksidləşmə proseslərində rolu. Polimerlərin fotokatalizdə tətbiqi — səthi funksional materiallar və çevik strukturlar. Polimer nanokompozitlərin fotokatalitik fəaliyyəti — qrafen, $TiO_2$, ZnO, CdS ilə hibrid sistemlər. Son illərdəki yeniliklər və qabaqcıl nanofotokatalizatorlar — plasmonik metal nanostrukturlar, dopinq, heterostrukturlar. Tətbiq sahələri və perspektivlər — su təmizlənməsi, $H_2$ istehsalı, $CO_2$ azaldılması, antibakterial səthlər.

**Tədqiqat metodları**

Atom Qüvvət Mikroskopu (AQM / AFM). Skanedici Tunel Mikroskopu (STM). Skanedici Elektron Mikroskopu (SEM) . Transmission Elektron Mikroskopu (TEM). Rentgen Toz Difraktometri (XRD). Dinamik İşıq Səpələmə (DLS). Zeta Potensial Ölçümü. Fourier Transform Infraqırmızı Spektroskopiyası (FTIR). Raman Spektroskopiyası . Termogravimetrik Analiz (TGA). Diferensial Termal Analiz (DTA). Ultrabənövşəyi-görünən Spektroskopiya (UB-Gör). X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). Indüktivlə Bağlanmış Plazma – Kütlə Spektrometriyası (ICP-MS). Brunauer–Emmett–Teller (BET) Səth Sahəsi Analizi.

**Ədəbiyyat.**


1. Alosmanov R.M. Mühazirə mətnləri.
2. Balayeva O.O. Mühazirə mətnləri.
3. Князев А.В., Кузнецова Н.Ю. «Нанохимия». Электронное учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский Государственный Университет, 2010, 102 с.
4. Н.И.Минько и др. Методы получения и свойства нанообъектов: учебное пособие. М.:Флинта: Наука, 2009,163 с.

5. О.В.Сергеева, С.К.Рахманов. Введение в нанохимию: пособие для студентов химического факультета. Мн.: БГУ.2009.
6. Г.Б.Сергеев. Нанохимия. М.: Из-во Московского ун-та. 2003.
7. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночас- тицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000, 672с.