

ResearchGate

Google Scholar

I^{WORLD}
I^{of}
JOURNALS

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN

e-ISSN(Online) 2709-1201



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE

NO 4

31 МАЯ 2025

Астана, Казахстан



lrc-els.com

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «Endless Light in Science», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «Endless Light in Science», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

31 мая 2025 г.
Астана, Казахстан

DOI 10.24412/2709-1201-2025-31-3-9

SUYUN TƏMİZLƏNMƏSİNİN FİZİKİ-KİMYƏVİ ÜSULLARI

İRZAYEV VÜSAL CƏLAL OĞLU

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Elektronika və avtomatika” kafedrasının magistrantı

Xülasə: Son bir neçə əsrdə şəhərlərin intensiv inkişafı, sənayenin inkişafı və kənd təsərrüfatı fəaliyyəti əhalinin təmiz şirin su ilə təminatında ciddi problemlərə səbəb olmuşdur. Suda olan çirkləndiricilər istənilən yığılma vəziyyətində ola bilər: bərk, maye, qaz halında. Suda xarici çirkləri çıxarmaq üçün sadə filtrasiya həmişə kifayət deyil. Suyun təmizlənməsinin fiziki-kimyəvi üsulları incə dayandırılmış hissəcikləri, həll olunmuş qazları və metalları, oksidləşməyə davamlı və üzvi birləşmələri çıxarmağa imkan verir. Suyun geniş və müxtəlif çirklənməsi səbəbindən gündəlik həyatda suyun təmizlənməsinin bu cür üsullarından tez-tez istifadə olunur. Bununla belə, onlar sənayedə ən çox istifadə olunur. Bir neçə fiziki və kimyəvi üsul var suyun təmizlənməsi. Avtomatlaşdırılmış texnologiyaların suyun təmizlənməsi və təmizlənməsi proseslərinə integrasiyası sənaye və bələdiyyə obyektlərində səmərəli idarəetmə və nəzarəti təmin edir. Belə sistemə sensorlar, monitoring sistemləri və proqramlaşdırıla bilən məntiq nəzarətçiləri (PLC) daxildir ki, bu da quraşdırmaların dəqiqliyini və etibarlılığını artırarkən insan müdaxiləsini minimuma endirir.

Açar sözlər: fiziki və kimyəvi üsul, kimyəvi reagentlər, təmizlənmiş suyun pH səviyyəsi, qeyri-üzvi çirklər, Sorbsiya üsulu, flokulyant reagentlər

Аннотация: За последние несколько столетий интенсивное развитие городов, развитие промышленности и сельского хозяйства привели к серьезным проблемам в обеспечении населения чистой пресной водой. Загрязняющие вещества в воде могут находиться в любом агрегатном состоянии: твердом, жидком или газообразном. Для удаления посторонних примесей из воды не всегда достаточно простой фильтрации. Физико-химические методы очистки воды позволяют удалять из нее мелкодисперсные взвешенные частицы, растворенные газы и металлы, устойчивые к окислению и органические соединения. В связи с широким и разнообразным загрязнением воды подобные методы очистки воды часто применяются в быту. Однако чаще всего они используются в промышленности. Существует несколько физических и химических методов очистки воды. Интеграция автоматизированных технологий в процессы водоподготовки и водоочистки обеспечивает эффективное управление и контроль на промышленных и муниципальных объектах. Такая система включает в себя датчики, системы мониторинга и программируемые логические контроллеры (ПЛК), которые сводят к минимуму вмешательство человека, одновременно повышая точность и надежность установок.

Ключевые слова: физико-химический метод, химические реагенты, уровень pH очищенной воды, неорганические примеси, сорбционный метод, флокулянты

Hazırda Azərbaycanda yerüstü su mənbələrinin təxminən 75%-i və yeraltı su mənbələrinin 30%-i içmək üçün yararlı deyil. Şəhərlərdə və kənd yerlərində mərkəzi su təchizatı kommunal xidmətlərinin bütün səylərinə baxmayaraq, mənzillərimizdə və evlərimizdə kranlardan gələn içməli su nadir tərəfindən tərkibindəki qeyri-üzvi çirkləri zərərsizləşdirmək, ətraf mühiti rəngsizləşdirmək və dezinfeksiya etmək üçün fəal şəkildə istifadə olunur.

Filtrləmə üçün uyğun kimyəvi reagentlərin təsnifatı

Kimyəvi reagentlərin ən çox yayılmış üç kateqoriyası aktiv neytrallaşdırıcı maddələr kimi istifadə olunur. Eyni şey özəl su təchizatı sistemlərinin təşkili üçün istifadə olunan ilkin təbii mənbələrə də aiddir.

Çirklənmə problemləri ilə mübarizənin birinci qaydası filtrasiya sistemlərinin, onların texniki, fiziki və istismar xüsusiyyətlərinin səlahiyyətli seçilməsidir. Hansı çirkləri və birləşmələri aradan

qaldırmaq lazım olduğunu dəqiq başa düşmək üçün suyun ətraflı laboratoriya təhlili tələb olunur. Əldə edilən nəticələrə əsasən, mütəxəssislər müəyyən bir vəziyyətdə neçə və hansı təmizlənmə mərhələlərinin olması lazım olduğuna qərar verirlər.

Orijinal mayenin keyfiyyətini artırmaq üçün ən təsirli üsullardan biri suyun kimyəvi təmizlənməsi hesab olunur. Orijinal mühitdə dayandırılmış bərk maddələrin icazə verilən konsentrasiyası 1 mq / litrdən 30 q / litrə qədər dəyişə bilər. Nəzərə alın ki, suyun kimyəvi təmizlənməsi üsulları suyun təmizlənməsi üzrə mütəxəssislərin ciddi nəzarəti altında həyata keçirilməlidir. Onlar əsasən sənaye müəssisələrində istifadə olunur. Müvafiq bilik, təcrübə və avadanlıq olmadan evdə reagentlərlə işləmək son dərəcə təhlükəlidir.[1]

Suyun təmizlənməsinin kimyəvi üsulları

İndi üsulları çeşidlədikdən sonra suyun təmizlənməsinin iş üsullarına və onların xüsusiyyətlərinə keçək. Bu təsnifatda ümumilikdə 8 xal var. Onların hər birinə daha ətraflı baxaq.

Neytrallaşdırma. Patogen mikrofloranın və digər daxilolmaların tamamilə məhv edilməsi. Eyni zamanda, təmizlənmiş suyun pH səviyyəsinin 6,5-8,5 aralığında standart dəyərlərə çatdırılmasını nəzərdə tutur. Metodun mahiyyəti turşuların və qələvilərin müvafiq duzların və suyun sonrakı əmələ gəlməsi ilə faydalı qarşılıqlı təsirindən ibarətdir.

Oksidləşmə. Metodun istifadəsi əvvəlcədən filtrlərin istifadəsi görünən nəticələr vermədiyi hallarda uyğundur. Davamlı çirkərlərin çıxarılması ozon, xlor, piroluzit və ya kalium dikromatdan istifadə etməklə həyata keçirilir. Müxtəlif zəhərli maddələrin, eləcə də suyun orijinal tərkibinin digər üsullarla çıxarılması çətin olan digər komponentlərinin zərərsizləşdirilməsi üçün uyğundur.

Bərpa. Bu üsul ətraf mühitdə mövcud olan bütün daxilolmaların ilkin fiziki vəziyyətinə qaytarılması proseslərinə başlamağı nəzərdə tutur. Onun əsas məqsədi fiziki və kimyəvi üsullardan birini istifadə edərək əmələ gələn birləşmələri çıxarmaqdır: çökmə, floresans və ya filtrasiya. Arsen, cıvə, xrom və həyat üçün təhlükəli olan digər hissəciklərlə effektiv mübarizə aparır. İstifadə olunan reagentlər dəmir sulfat, kükürd dioksid, aktivləşdirilmiş kömür, hidrogen və oxşar kimyəvi xüsusiyyətlərə malik analoqlardır.

Suyun təmizlənməsinin effektiv üsulları arasında çirkəndiricilərin çıxarılması proseduru da qeyd etmək lazımdır. Onun istifadəsi suda həll olunan çirkərlərin texniki və ya kimyəvi dəyəri olduğu hallarda məqsəduyğundur. Orijinal mayeyə daxil edilən ekstraktor, xarici daxilolmaların tam konsentrasiyasına cavabdehdir. Kimyəvi reaksiya başa çatdıqdan sonra meydana gələn birləşmələr sudan asanlıqla ayrılır. Ekstraktor sonradan təkrar istifadə edilə bilər.

Suyun kimyəvi təmizlənməsinin faydaları. Müxtəlif reagentlərin istifadəsinə əsaslanaraq suyun kimyəvi təmizlənməsinin müasir üsulları haqlı olaraq ən təsirli və tez təsir edən üsullardan biri hesab olunur. Müvafiq reaksiyanın əldə edilməsindən məsul olan aktiv maddələr həll olunmuş çirkərləri bərk həll olunmayan vəziyyətə çevirir. Gələcəkdə bu cür daxilolmalar daha kiçik hissəciklər və dayandırılmış maddələrdən daha asan çıxarılır.

Suyun təmizlənməsinin fiziki-kimyəvi üsulları

Son bir neçə əsrdə şəhərlərin intensiv inkişafı, sənayenin inkişafı və kənd təsərrüfatı fəaliyyəti əhalinin təmiz şirin su ilə təminatında ciddi problemlərə səbəb olmuşdur. Suda olan çirkəndiricilər istənilən yığılma vəziyyətində ola bilər: bərk, maye, qaz halında. Sudan xarici çirkərləri çıxarmaq üçün sadə filtrasiya həmişə kifayət deyil. Suyun təmizlənməsinin fiziki-kimyəvi üsulları incə dayandırılmış hissəcikləri, həll olunmuş qazları və metalları, oksidləşməyə davamlı və üzvi birləşmələri çıxarmağa imkan verir.

Suyun geniş və müxtəlif çirkənlənməsi səbəbindən gündəlik həyatda suyun təmizlənməsinin bu cür üsullarından tez-tez istifadə olunur. Bununla belə, onlar sənayedə ən çox istifadə olunur. Bir neçə fiziki və kimyəvi üsul var suyun təmizlənməsi [2].

Suyun laxtalanması

Suya xüsusi koagulyant məhlulunun, məsələn, alüminium sulfatın (alüminium sulfat) dozasına əsaslanır. Bu maddələr suda incə səpələnmiş süspansiyonların yığılmasına və beləliklə, genişlənməsinə kömək edir. Bir-birinə yapışmış kir çökür və sonra asanlıqla çıxarılır. sorbsiya-təmizləyici təmizləyici qurğular və ya incə mexaniki təmizləyici filtrlər.

Su flokulyasiyası. Flokulyasiya laxtalanma növlərindən biri hesab olunur. Flokulyant reagentlər müxtəlif hissəciklər üzərində eyni vaxtda filiform makromolekulları adsorbsiya edən yüksək molekullu birləşmələrdir. Bundan sonra onlar suyun filtrasiyası prosesində asanlıqla saxlanılan böyük boş lopalara çevrilirlər. Təbiətin nişasta, dekstrin, sellüloza efirləri, natrium alginat və guar saqqızları kimi öz flokulyantları da var .

Su sorbsiyası

Sorbsiya üsulu bəzi maddələrin suda müxtəlif çirkələri udmaq qabiliyyətinə əsaslanır.

Fəaliyyət üsulundan asılı olaraq aşağıdakılar fərqləndirilir:

adsorbsiya (sorbentin səthində udulma);

udma (diffuz udma);

kimyosorbsiya (sorbent və çirkələrin kimyəvi qarşılıqlı təsiri).

Ən məşhur sorbentlər: aktivləşdirilmiş karbon, alüminosilikatlar, seolitlər və s. Onlar xüsusilə sudan xlor, flüor, üzvi maddələr, bulanıqlıq və qoxuların çıxarılmasında təsirli olurlar.

İon mübadiləsi

İon mübadiləsi üsulu, çirkləndirici ionların neytral olanlarla əvəz olunduğu geri dönmə kimyəvi reaksiyadır . Bu sərt suyu yumşaltmaq üçün ən təsirli və qənaətcil üsuldur. Filtr mühiti kimi xüsusi polimer qatranları istifadə olunur, onlar kalsium və maqnezium duzu ionlarını natrium ionları ilə əvəz edir.

Havalandırma – suyun hava ilə sıx təmasda olduğu və oksigenlə doyduğu bir prosesdir. Bu üsul ən çox suda həll olunan dəmiri oksidləşdirmək üçün istifadə olunur. Eyni zamanda, suyun aerasiyası onun orqanoleptik xüsusiyyətlərini pisləşdirən bəzi həll edilmiş qazların çıxarılmasına kömək edir: hidrogen sulfid, karbon qazı, karbon qazı, ammoniyak, metan və s. Suyun aerasiyası üç yolla baş verə bilər:

Suyun cazibə qüvvəsi ilə aerasiyası – mayenin açıq çənlərdə çökdürülməsi;

Təzyiqli havalandırma – aerasiya sütunları (təzyiq altında olan su kompressorun havanı vurduğu sütuna daxil olur); ejektorlar (Venturi boru qurğusunda suyun oksigenlə qarışdırılması); statik qarışdırıcılar (bıçaqları olan xüsusi bir boruda suyun hava və ya reagentlə qarışdırılması);

Əks osmos. Osmotik təzyiq aşan təzyiq altında yarıkeçirici membrandan süzülməsi prosesidir. Bu üsuldan istifadə olunur tərs osmos qurğuları dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması, həmçinin praktiki olaraq ideal distillə edilmiş suyun alınması üçün. Əks osmos həlledici molekulundan böyük olmayan hissəcikləri ayırır. Təmizləmə nəticələri istifadə olunan membranların növündən, onların keçiriciliyindən, seçiciliyindən, fiziki və kimyəvi müqavimətindən asılı olaraq müəyyən edilir. Fiziki və kimyəvi su üsullarının əsas üstünlüyü onların yüksək məhsuldarlığıdır. Onlar həm suyun ilkin təmizlənməsi mərhələsində, həm də dərin suyun təmizlənməsinin son mərhələlərində istifadə edilə bilər. Hal-hazırda suyun təmizlənməsinin fiziki-kimyəvi üsulları geniş tətbiq olunduğu üçün xüsusilə geniş yayılmışdır [3].



Şəkil1. Kimyəvi maddələr üsulu ilə təmizlənmiş su qurğusu

Statistikaya görə, sualtı mənbələrdən gələn suyun təxminən 1/3 hissəsi və quru mənbələrindən gələn mayenin 70%-dən çoxu müxtəlif çirkərlə çirklənmişdir. Təmiz su əldə etmək üçün müxtəlif texnologiyalardan istifadə olunur. Sadə karbon əsaslı filtrlərdən çoxmərhələli tərs osmos sistemlərinə qədər. Kimyəvi suyun təmizlənməsi üsulları çirklənmiş mayələrin müxtəlif sənaye proseslərində təkrar istifadə oluna bilməsi üçün onları təmizləmək üçün effektiv üsullardır.

İçməli/sənaye suyunun təmizlənməsində, eləcə də çirkab suların təmizlənməsində suyu lazımi keyfiyyətə çatdırmaq üçün çoxlu müxtəlif texnologiyalar mövcuddur. Bu texnologiyalar arasında kimyəvi, fiziki, birləşmiş üsulları və həmçinin bioloji üsulları sadalaya bilərik. İlk üç üsulla müqayisədə bioloji təmizləmə üsulları ən yenisidir. Bu istiqamət davamlı inkişafa və ekoloji təmizliyə doğru ümumi tendensiya görə fəal şəkildə inkişaf edir və buna görə də bir çox müxtəlif üsullar mövcuddur. Suyun bioloji təmizlənməsi üsullarının əsas fəaliyyət prinsipi canlı orqanizmlərin arzuolunmaz elementləri çıxarmaq və məhv etmək qabiliyyətinə əsaslanır. Bu texnologiyaların istifadəsi digər ənənəvi üsullarla müqayisədə üstünlüklərə malikdir: Arzuolunmaz maddələri parçalamaq üçün daha inkişaf etmiş qabiliyyətlərə malik olan daim yeni növ mikroorqanizmlər istehsal etmək bacarığı; Yoxluq ikinci dərəcəli çirklənmə su ; Xüsusi şərait yaratmağa ehtiyac yoxdur (yüksək/aşağı temperatur, yüksək/aşağı təzyiq).

Suyun bioloji təmizlənməsi aerob və anaerob şəraitdə baş verə bilər . Bu şərtlər arasındakı fərq ondan ibarətdir ki, sudan zərərli maddələrin çıxarılması prosesi oksigenin iştirakı ilə və onsuz həyata keçirilir. Aerob şəraitdə bakteriyalar üzvi maddələri karbon qazına və biokütləyə parçalayır. Bu tip təmizləmə aerasiya çənlərində baş verir. Anaerob təmizləmə zamanı, əksinə, oksigenin girişini maneə törətmək lazımdır, çünki anaerob bakteriyaların buna ehtiyacı yoxdur. Çirkləndiricilərin parçalanması zamanı mikroorqanizmlər metan və karbon qazı yaradır. Yaranan metan bioqazdır və lazımi avadanlıqla yaşıl enerji mənbəyinə çevrilə bilər. Həmçinin, bir çox mikroorqanizmlər ağır metalları udmaq qabiliyyətinə malikdir və onlar bu maddələrin yüksək konsentrasiyalarını aradan qaldırmaq üçün fəal şəkildə istifadə olunur[4].

Yalnız mikroorqanizmlər sudan zərərli maddələri çıxarmaq qabiliyyətinə malik deyil, həm də fitoremediasiya (yunan “ fiton ” – bitki və latınca “remedium” – bərpa etmək) istiqaməti var. Adından da göründüyü kimi, bu tip texnologiya bitkilərin torpağı, suyu və havanı bərpa etmək qabiliyyətinə əsaslanır. Bu , çirkəli toplamaq və onları çıxarmaq qabiliyyətinə görə baş verir . Fitoremediasiya gələcəyin ekoloji cəhətdən təmiz texnologiyası hesab olunur, çünki o, kimyəvi üsullara effektiv alternativdir və daha sərfəli olur. Fitopsorbsiya , fitodeqradasiya , fitobuxarlanma , rizodeqradasiya fitoremediasiyanın ayrı-ayrı yarımnövləridir və hər bir alt növün özünəməxsus üstünlükləri vardır. Suyun təmizlənməsində istifadə edin iki növü bitkilər :Hidrofitlər suya batan, lakin səthdə tapıla bilən bitkilərdir;Helofitlər bataqlıqlarda tapıla bilən bitkilərdir.Bu bitkilər mexaniki filtr rolunu oynaya bilər. Onların filtrasiya qabiliyyəti bitkinin "sıxlığı" ilə izah olunur (yəni yarpaqların, köklərin, gövdələrin ölçüsü). Onlar həmçinin ağır metalları və digər elementləri udurlar və həmçinin suda dayandırılmış çirkəlin çökməsini sürətləndirməyə qadirdirlər.

Suyun təmizlənməsi göbələklərin köməyi ilə edilə bilər. Onlar ağır metalları, eləcə də boyaları çıxarmaq qabiliyyətinə malikdirlər və buna görə də tez-tez toxuculuq çirkab sularının təmizlənməsində istifadə olunur. Boyaların parçalanması xüsusi bir fermentin (qlutasyon peroksidaza) köməyi ilə baş verir . Bəzi boyalar göbələklər tərəfindən tez emal edilə bilər, digər növlər isə daha uzun çəkir. Trametes versicolour, Inonotus hispidus, Aspergillus flavus və Hirschioporus larincinus yaxşıdır . misallar göbələklər , onlar bilər silin turşu qəhvəyi boya 50 saat ərzində . Bununla belə, bu metodun öz əhəmiyyətli çatışmazlığı var: heç bir xüsusi göbələk növü hər hansı bir boyanı çıxara bilməz.

Ozonlama. İnsanların standartın tələblərinə cavab verən içməli su ilə təmin edilməsi problemi Rusiyada su təchizatı müəssisə və təşkilatlarının qarşısında duran ən mühüm problemlərdən biridir.Çayların tənzimlənməsi və onların üzərində su anbarlarının salınması prosesində planktonun yaranmasına şərait yaranır ki, bu da suda rəngin artmasına, dad və qoxuların yaranmasına təsir göstərir. Üzvi çirkərlər və kimyəvi çirkləndiricilər yaşayış məntəqələrindən və sənaye müəssisələrindən təmizlənməmiş tullantı suları ilə su obyektlərinə daşınır. Nəticədə, bir çox su hövzələrində, xüsusən

də böyük məskunlaşan ərazilərə yaxın ərazilərdə təbii suyun tərkibində fenollar (2-7 MAC-ə qədər), xlor üzvi pestisidlər, ammonium və nitrit azot (10-16 MAC-ə qədər), neft məhsulları və bir çox başqa çirkləndiricilər var.

Dövri olaraq baş verən fəvqəladə hallar təbii mənbələrdən alınan suyun keyfiyyətinin və müvafiq olaraq içməli suyun keyfiyyətinin əhəmiyyətli dərəcədə pisləşməsinə səbəb olur. Mövcud sutəmizləyici qurğuların maneə əhəmiyyəti əhəmiyyətsizdir və insanların istehlak etdiyi içməli suyun tərkibində təbii su ilə praktiki olaraq eyni çirkləndiricilər var. Suyun yuxarıda qeyd olunan çirkləndiricilərdən təmizlənməsinin ən əhəmiyyətli və yüksək effektiv üsullarından biri ozonlaşdırma hesab olunur. Suyun ozonlanması içməli və təmizlənmiş tullantı suyun keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır və sağlamlıq və ekoloji problemləri həll edə bilər [5].

Təbii suların hazırlanması texnologiyasını sadələşdirməyə imkan verir. Ozonlama texnologiyası ilk növbədə içməli su istehsalı sahəsində geniş istifadə edilmişdir. Suyun yüksək keyfiyyətli təmizlənməsi və dezinfeksiya edilməsi problemlərini həll etmək üçün mövcud müxtəlif üsul və yollarda ozonlama üstünlük təşkil edir, bu da aşağıdakılarla əlaqələndirilir: təmizlənmiş suda onun xlorlaşdırılması nəticəsində zəhərli xlor üzvi birləşmələrin əmələ gəlməsi ilə bağlı problemlərin həlli problemləri; istifadə nöqtəsində ozon istehsalının mümkünlüyü; suyun bakteriya və viruslardan dezinfeksiya edilməsi ilə əlaqədar ozonun aktivliyinin artması.

Klassik xlorlama əvəzinə ozonlama suyun təmizlənməsinin əlavə üsulu kimi, xlor, hidrogen peroksid və digər oksidləşdiricilərlə birlikdə, UV şüalanması, ultrasəs müalicəsi, qum, aktivləşdirilmiş karbon, ion dəyişdirici qatranlardan istifadə edərək filtrasiya ilə birlikdə istifadə edilə bilər.

Ozonlamanın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, ozonun təsiri altında su eyni vaxtda dezinfeksiya edilir və rəngsizləşir, sudan qoxular və dadlar çıxarılır və ümumiyyətlə onun dadı yaxşılaşır. Ozon suyun təbii xüsusiyyətlərini dəyişmir, çünki onun artıqlığı (reaksiya olunmamış ozon) bir neçə dəqiqədən sonra oksigenə çevrilir. Geosmin konsentrasiyasını 5-10 dəfə azaltmaqla suyun torpaq dadını aradan qaldırır. Ozonla emal edildikdən sonra suda yeni ləzzət komponentinin yaranmasına baxmayaraq, ozonlaşdırılmış suyun ümumi dad keyfiyyətləri yaxşılaşır.

Xlorun əvvəl içməli suyun dezinfeksiyası üçün ozondan istifadə olunurdu. Ancaq buna baxmayaraq, ozon hələ də suyun təmizlənməsi üsullarında, xüsusən də Rusiyada lazımi tətbiq tapmamışdır. Bunun əsas səbəbləri, görünür, elektrik enerjisinin olmaması, eləcə də sulu ozon məhlulunun kimyəvi və fiziki xüsusiyyətlərinin hələ də çox öyrənilməməsi idi. Hal-hazırda, istilik energetikasında bir sıra su təmizləyici qurğular da biokütlə ilə ion mübadiləsi filtrlərinin intensiv böyüməsi problemi ilə qarşılaşmışdır. Yatağın ion mübadiləsi xüsusiyyətlərini dəyişdirmədən, biokütlə yatağın müqavimətini artırır, bu da filtrasiya dərəcəsinin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olur [6].

Ədəbiyyat mənbələrinə görə, qarşısını almaq üçün Biokütlənin formalaşması və filtrlərin sterilizasiyası üçün müxtəlif oksidləşdirici maddələrdən istifadə olunur, məsələn, natrium xlorid, formaldehid, perasetik turşu, xloramin T və s.

Xlorun və onun oksigen tərkibli birləşmələrinin bakterisid təsiri prosesi mikroorqanizm hüceyrəsinin tərkib elementləri ilə, ilk növbədə hüceyrədə maddələr mübadiləsinə və mikroorqanizmlərin ölümünə təsir edən fermentlərlə qarşılıqlı təsirdən ibarətdir. Suyun emalı praktikasında sərbəst xlor, hipoklor turşusunun duzları (hipokloritlər) və xlor dioksidi ClO_2 istifadə olunur. Xlor suda həll edildikdə, hipoklor və hidroklor (xlorid) turşularının görünüşü ilə hidroliz baş verir.

Suyun təmizlənməsi və suyun təmizlənməsi sistemlərinin avtomatlaşdırılması

Avtomatlaşdırılmış texnologiyaların suyun təmizlənməsi və təmizlənməsi proseslərinə inteqrasiyası sənaye və bələdiyyə obyektlərində səmərəli idarəetmə və nəzarəti təmin edir. Belə sistemə sensorlar, monitoring sistemləri və proqramlaşdırıla bilən məntiq nəzarətçiləri (PLC) daxildir ki, bu da quraşdırmaların dəqiqliyini və etibarlılığını artırarkən insan müdaxiləsini minimuma endirir.

Avtomatlaşdırılmış suyun təmizlənməsi sistemlərinin texnoloji avadanlıqlarına sistemdə yerləşən və suyun təmizlənməsinin hər bir mərhələsində suyun keyfiyyəti haqqında fəal şəkildə

məlumat toplayan müxtəlif qurğular və sensorlar daxildir. Məlumatlar, proseslərin avtomatik tənzimlənməsinə imkan verən daxili məntiqi alqoritmlər əsasında PLC tərəfindən işlənir. Nəzarət sistemləri operatorlara idarəetmə funksiyalarına, hətta çox vaxt uzaqdan nəzarət etmək imkanına malik olmaq imkanı verir. Suyun təmizlənməsi proseslərinə avtomatlaşdırılmış sistemlərin tətbiqi əməliyyatların əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasına kömək edir[7,8,9].

Dəqiqlik və etibarlılıq. Avtomatlaşdırma sənaye obyektləri üçün vacib olan pH, sərtlilik və çirkləndirici səviyyələr daxil olmaqla su parametrlərinə dəqiq nəzarət etməyə imkan verir.

Səmərəlilik və xərclərin azaldılması. Avtomatlaşdırma insan səhvi riskini aradan qaldırır və ümumi əməliyyat xərclərini azaldır.

Reaksiya sürəti. Sistemlər su parametrlərindəki dəyişikliklərə dərhal reaksiya verə bilər, prosesləri avtomatik uyğunlaşdırır ki, bu da riskləri minimuma endirir və xüsusilə qazanxanalarda və sənaye qurğularında yaranan problemlərin həllini sürətləndirir.

Artan təhlükəsizlik. Proseslərdə insanların birbaşa iştirakını minimuma endirmək sağlamlıq risklərini azaldır.

Baxım və diaqnostikanı asanlaşdırın. Avtomatlaşdırılmış sistemlər nasazlıqları vaxtında aşkar edir və təmir xərclərini azaldır.

Suyun keyfiyyətinin sabitliyi. Parametrlərin davamlı monitorinqi və tənzimlənməsi daimi suyun keyfiyyətini təmin edir.

Su təmizləmə sistemlərində avtomatlaşdırma suyun yüksək keyfiyyətini, prosesin səmərəliliyini, təhlükəsizliyini və xərclərin azaldılmasını təmin edən müasir sənaye və kommunal proseslərin əsas aspektidir.

Avtomatlaşdırılmış suyun təmizlənməsi sistemlərinin əsas elementləri

Sensorlar və çeviricilər suyun təmizlənməsi proseslərinin effektiv keyfiyyətinə nəzarət və idarə olunması üçün zəruri olan suyun parametrlərinin monitorinqinin mühüm funksiyasını yerinə yetirərək avtomatlaşdırılmış suyun təmizlənməsi sistemlərində mərkəzi rol oynayır. Onlar optimal su xüsusiyyətlərini saxlamaq üçün vacib olan dəqiq və etibarlı ölçmələri təmin edirlər.

Elementlər:

1. PH sayğacları: tələb olunan texnoloji parametrləri saxlamaq üçün vacib olan suyun turşuluq və ya qələvilik səviyyəsini ölçün;

2. turbidimetrlər: suyun bulanıqlığını ölçün, bu da asılı hissəciklərin saflığını və tərkibini idarə etməyə kömək edir;

3. konduktorlar: suyun minerallaşması və duz səviyyələrini haqqında məlumat verən elektrik keçiriciliyini qeyd edin;

4. Xlor üçün amperometrik sensorlar: dezinfeksiya təhlükəsizliyini təmin edən sərbəst və birləşdirilmiş xlorun tərkibini izləmək üçün lazımdır.

ƏDƏBİYYATLARIN SİYAHISI

1. Anastasi G, Conti M, Di FM. A comprehensive analysis of the MAC unreliability problem in IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics [Internet]. 2011;7(1):52-65. DOI:10.1109/TII.2010.2085440. Available from: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5613224
2. Chen R, Speer AP, Eltoweissy M. Adaptive fault-tolerant QoS control algorithms for maximizing system lifetime of query-based wireless sensor networks. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. 2011;8(2):161-176. DOI: 10.1109/TDSC.2009.54
3. Ali MO, Ahmed MM. Design of a Dependable Automatic Water Treatment Wireless Sensing Process Control System. Unpublished Ph.D. Thesis, University of AL-Neelain, Sudan; 2017
4. Haule J, Michael K. Deployment of wireless sensor networks (WSN) in automated irrigation management and scheduling systems: A review. In: 2014 Pan African Conference on Science, Computing and Telecommunications (PACT); IEEE; July 14, 2014. pp. 86-91
5. <https://www.oleumtech.com/what-is-scada/>
6. CinqueM, Cotroneo D, DiMC, Russo S, Federico N. Dependability evaluation of wireless sensor networks: A hybrid simulation tool. 2014;2(1):12. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.608.5801&rep=rep1&type=pdf>
7. Mainetti L, Patrono L, Vilei A. Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. In: 2011 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM); IEEE; September 15, 2011. pp. 1-6
8. <http://www.ijecct.org/v4n4/694-700CRP0404M14.pdf>
9. Puccinelli D, Haenggi M. Wireless sensor networks: Applications and challenges
10. Agrawal DP, Zeng QA. Introduction to Wireless and Mobile Systems. CENGAGE Learning Custom Publishing; 2015
11. Tranquillini S, Spiess P, Daniel F, Karnouskos S, Casati F, Oertel N, et al. Process-based design and integration of wireless sensor network applications. Business Process Management. 2012;7481:134-149
12. Viani F, Rocca P, Oliveri G, Massa A. Pervasive remote sensing through WSNs. In: 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP); IEEE; March 26, 2012. pp. 49-50. DOI: 10.1109/EuCAP.2012.6206049

DOI 10.24412/2709-1201-2025-31-10-19

УДК 539.234; 537.533.2

ПОРОГ ЭМИССИИ ИЗ НЕКОТОРЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

ЮРОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ

Кандидат физико-математических наук, доцент, ТОО «Восток», Караганда, Казахстан

ПОРТНО ВАСИЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Доктор технических наук, профессор, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, Караганда, Казахстан

ЖАНГОЗИН КАНАТ НАКОШЕВИЧ

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «Восток», Астана, Казахстан

Резюме: Предлагается новая модель полевой электронной эмиссии из известных полупроводников, в которых порог эмиссии определялся другими авторами в высоком вакууме с помощью сканирующей туннельной микроскопии. В основе модели лежит понятие о толщине поверхностного слоя твердого тела, включая и полупроводники, для которых размер этого слоя меньше 10 нм и представляет собой квантовую наноструктуру, отличную от объемной фазы. Эта наноструктура проявляется экспериментально, давая число монослоев, равное от 4 до 11. Поверхностный слой сопровождается реконструкцией поверхности полупроводника, возникновением внутренних напряжений, приводящих к деформации межфазовой границы. Именно энергия деформации при внешнем воздействии, а у нас электрическое поле, преобразуется в полевую эмиссию. Полученная нами формула, включающая энергию деформации, соответствует экспериментальным данным и открывает путь к разработке новых электронных приборов.

Ключевые слова: поверхностный слой, наноструктура, полупроводник, электрон, модель, полевая эмиссия.

Введение

Испускание электронов из конденсированных сред называют электронной эмиссией (ЭЭ), схема которой представлена на рис. 1

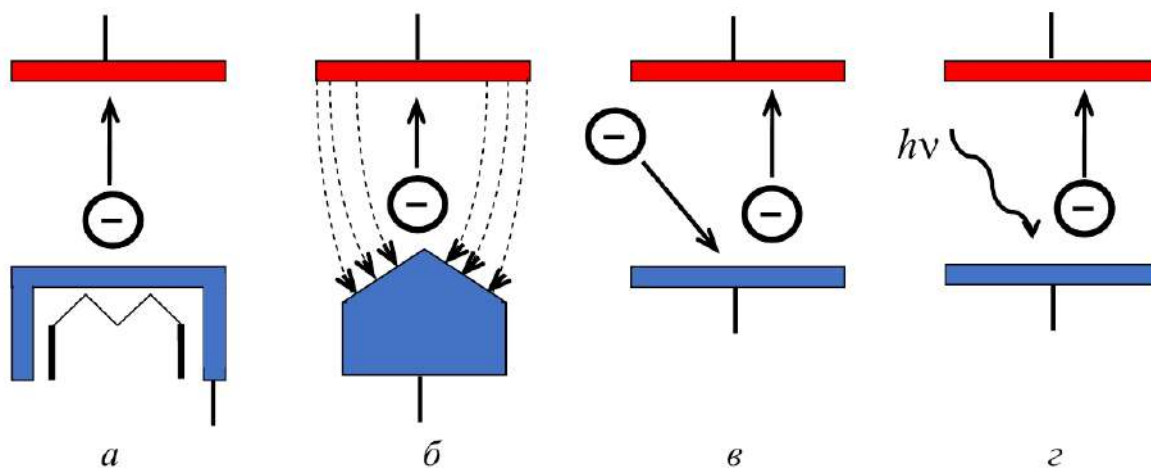


Рисунок 1. – Схематическое представление электронной эмиссии: термоэлектронная (а); полевая (автоэлектронная) (б); вторичная (в); фотоэлектронная (г) [1].

Термоэлектронная ЭЭ была обнаружена в середине XVIII века Эльстером Ю. и Гейтелем Г. (1882-89), Эдисоном Т. (1884), Томсоном Дж. (1887). Первую теоретическую модель термо ЭЭ предложил Ричардсон О. (1902). Полевую ЭЭ открыл Вуд Р. (1897). Вторичную ЭЭ открыли Остин Л. и Штарке Г. (1902). Фотоэлектронную ЭЭ открыли и исследовали Герц Г. (1887), Гальвакс В., Риги А., Столетов А.Г. (1885), Ленард Ф. и Томсон Дж. (1898). Обо всем этом можно прочитать в учебных пособиях [1-4].

Чтобы произошел выход электрона из твердого тела (эмиттера) в вакуум или среду, нужно преодолеть энергетический барьер определенных размеров и затратить энергию, названную работой выхода электрона. Теоретические модели ЭЭ начали предлагаться в 20-х годах прошлого столетия после создания квантовой механики и продолжают до сих пор. Приведем несколько диссертаций по ЭЭ [5-12], где представлена обширная библиография по ЭЭ. Представим теоретические модели ЭЭ углеродных структур, изложенные в работе [12].

Таблица 1. – Модели автоэмиссии (полевой ЭЭ) углеродных наноструктур [12].

Разновидности углеродных наноструктур	Модели	Свойства автоэмиссии из углеродных наноструктур								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
нанотрубки, проводящие пленки	модель концентрации поля (модель с β -фактором)	+	-	-	$\pm$	+	$\pm$	-	-	-
Толстые пленки	Модель оптимального вакуума	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Легированные пленки	Модель поверхностных уровней	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Легированные пленки	Модель резонансного туннелирования	+	+	-	-	+	-	+	+	+
Рыхлые материалы	Лестничная модель	+	+	-	+	+	+	-	-	-
Проводящие пленки	Двухбарьерная модель	+	+	+	+	-	+	-	-	+
Тонкие пленки	Термоэлектрическая модель		+	+	+	+	+	+	+	-
Тонкие пленки на проводящей подложке	Островковая модель	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Цель исследования

Построение новой модели полевой (автоэмиссии) ЭЭ из полупроводников и сравнение ее с существующимися моделями.

Модель и число слоев поверхности полупроводников

Мы будем рассматривать известные полупроводники - Si, InAs, GaAs, InSb, структура и свойства которых подробно исследована [13-16]. За основу берем модель, изложенную в работе [17]. Для толщины поверхностного слоя $R(I)$ справедлива формула:

$$R(I) = \alpha \cdot v \text{ (}\text{нм}\text{)}, \quad (1)$$

где $\alpha = 0,17 \cdot 10^{-9}$ моль/м²; $v = M/\rho$ (M – молярная масса, ρ – плотность) – молярный объем элемента; $S = 1 \text{ м}^2$ – площадь поверхности полупроводника.

Используя уравнение (1) и справочные данные по молярной массе и плотности указанных полупроводников, вычислим толщину слоя $R(I)$ и представим их в таблице 2.

Таблица 2. - Толщина поверхностного слоя полупроводника (ПП)

Полупроводник	M , г/моль	ρ , г/см ³	$R(I)$, нм
Si	28,086	2,330	2,05 (4)
GaAs	144,64	5,3176	4,62 (8)
InAs	189,74	5,630	5,73 (9)
InSb	236,578	5,775	6,96 (11)

Из табл. 2 видно, что толщина поверхностного слоя $R(I) < 10$ нм, то есть представляет собой наноструктуру. Число слоев в ПП (обозначено в скобках) равно величине $n = R(I)/a$ (a – постоянная кристаллической решетки) и изменяется от 4 до 11. Количество слоев ПП можно определять экспериментально различными методами и некоторые из них показаны на рис. 2.

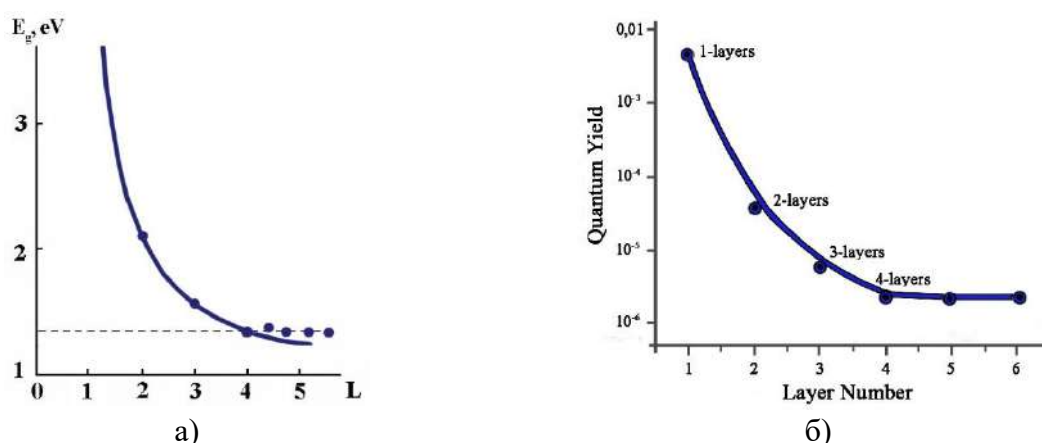


Рисунок 2. – Зависимость ширины запрещенной зоны кремния от числа слоев L (а) [18]; зависимость квантового выхода люминесценции MoS_2 от числа слоев (б) [19].

На рис. 2б показана зависимость люминесценции MoS_2 от числа слоев. Кристалл MoS_2 также является полупроводником, но имеет слоистую структуру, как и графит. Его можно расщепить на отдельные слои и исследовать их свойства. Толщина поверхностного слоя кристалла MoS_2 , определенная по формуле (1) равна $R(I)_a = 1,93$ нм и содержит 4 монослоя. Эти характеристики соответствуют кремнию с приемлемой точностью, но который расщепить на однослойные листы просто невозможно, потому что его структура соответствует алмазному типу. Кристалл арсенида галлия имеет структуру цинковой обманки и также не способен к расщеплению.

Из рис. 2 следует, что число слоев ПП изменяется от 4 до 11 в соответствии с таблицей 2 и подтверждает предложенную модель поверхностного слоя и уравнение (1).

Чтобы расщепить слой $R(I)$ от остального кристалла, нужно затратить энергию адгезии W_a :

$$W_a = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} = \beta \cdot T_m, \quad (2)$$

где γ – поверхностная энергия нанослоя кристалла и межслоевой поверхности $\gamma_{12} = 0$; $\beta = 1.1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м² К = const; T_m – температура плавления (К).

Нанослой $R(I)$ подвержен реконструкции поверхности. В связи с этим, на межфазной границе возникают внутренние напряжения σ_{is} :

$$\sigma_{is} = \sqrt{W_a \cdot E / R(I)}, \quad (3)$$

где E – модуль Юнга.

Эти напряжения приводят к деформации слоя, энергия которых равна E_d :

$$E_d = W_a \cdot a^2 \quad (4)$$

где a – постоянная кристаллической решетки.

Размерные эффекты в нанослое R(I) и в мезослое R(II) приводят к тому, что выполняются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} A(z) &= A(\infty) \cdot \left(1 - \frac{R(I)}{R(I) + z}\right), 0 \leq z \leq R(I), \\ A(z) &= A(\infty) \cdot \left(1 - \frac{R(I)}{z}\right), R(I) \leq z \leq R(II), \\ A(z) &= A(\infty) = \text{const}, z > R(II). \end{aligned} \quad (5)$$

Первое уравнение справедливо для нанослая, второе – для мезослая, третье – для объемной фазы. Используя формулы (2)-(4) вычислим упругие постоянные нанослая полупроводников и представим их в табл. 3.

Таблица 3. – Упругие постоянные ПП

Полупроводник (ПП)	W_a , Дж/м ²	σ_{is} , ГПа	E_d , эВ
Si	1,856	12,17	3,41
GaAs	1,662	5,45	3,31
InAs	1.337	4,72	3,06
InSb	0,878	2,64	2,30

Различие полупроводников и металлов.

Металлы отличаются от других веществ тем, что при $T = 0$ К у них есть свободные электроны проводимости (наличие частично заполненной энергетической зоны). Все остальные вещества при $T = 0$ К являются диэлектриками (полностью заполненные или совершенно свободные энергетические зоны). При $T > 0$ К есть вероятность $\sim e^{-\Delta/T}$ переброса электрона из валентной зоны в зону проводимости. В качестве некоторой численной оценки можно привести концентрацию свободных носителей заряда при комнатной температуре. В хороших металлах она составляет $10^{22} \dots 10^{23}$ 1/см³, в полуметаллах выше 10^{17} 1/см³, в «хороших» диэлектриках ниже 10^{10} 1/см³, а в полупроводниках обычно от 10^{13} до 10^{17} 1/см³ (рис. 3а).

В металлах уровень Ферми находится в зоне проводимости, в химически чистом полупроводниковом материале уровень Ферми располагается вблизи середины запрещенной зоны. Энергетические диаграммы металла и полупроводника представлены на рис. 3б. В металлах носителями тока являются электроны, а в полупроводниках существуют носители тока разных знаков, а именно – электроны и дырки, которые могут также отличаться и массой. Если отсчитывать уровень Ферми от дна зоны проводимости, то получим формулу:

$$E_F = \frac{\Delta E_g}{2} - \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p^*}{m_n^*} \quad (6)$$

где E_F – энергия (уровень) Ферми; $\Delta E_g = E_C - E_V$ – ширина запрещенной зоны; E_C , E_V – зоны проводимости и валентной зоны; k – постоянная Больцмана; T – температура; m_p^* , m_n^* – массы дырок и электронов, соответственно.

Для полупроводниковых приборов при температурах $T > 200$ К значение ширины запрещенной зоны выглядит следующим образом:

$$\Delta E_g = \Delta E_{g\beta} - \alpha T, \quad (7)$$

где $\Delta E_{g\beta}$ – экстраполированный член, α – температурный коэффициент.
В табл. 4 приведены значения ΔE_g некоторых ПП.

Таблица 4. – Ширина запрещенной зоны некоторых ПП

ПП	Si	GaAs	InAs	InSb
ΔE_g , эВ	1,12	1,42	0,36	0,23

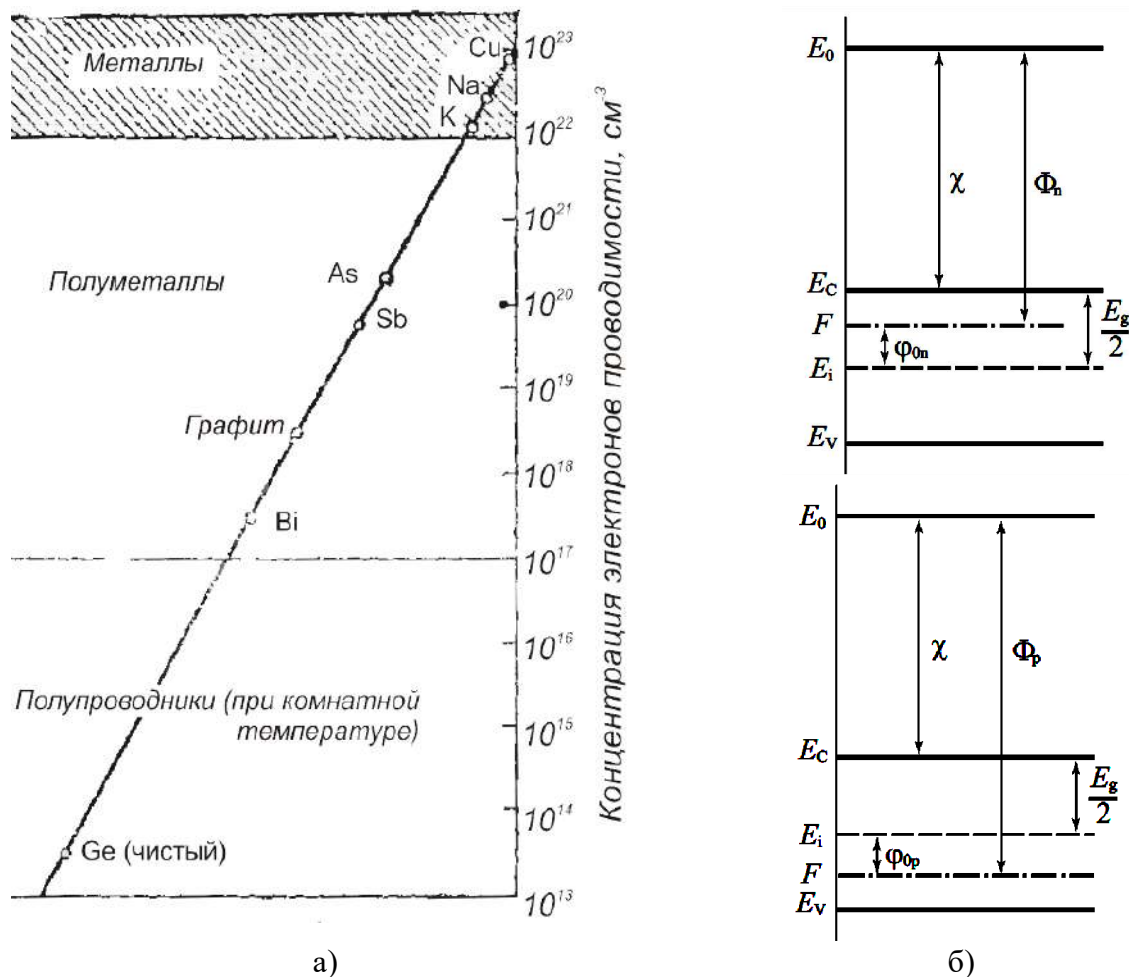


Рисунок 3. Концентрации электронов проводимости в металлах и полупроводниках [20] (а); энергетическая диаграмма полупроводника. Возникновение пары электрон-дырка. Функция Ферми-Дирака для температур, отличных от 0 К (вверху); энергетические диаграммы металла и полупроводника (внизу) [21] (б).

В работе [22] мы сравнили энергию деформации с энергией Ферми металлов. Эти величины приведены в табл. 5.

Таблица 5. Энергия деформации E_d и энергия Ферми E_F некоторых металлов [22].

Металл	E_d , (E_F) эВ	Металл	E_d , (E_F) эВ	Металл	E_d , (E_F) эВ
Cu	7,68 (7,93)	Mo	7,16 (6,57)	Re	9,38 (10,80)
Ag	5,64 (6,15)	W	12,23 (10,42)	Fe	12,0 (12,72)
Au	6,10 (6,23)	Mn	9,73 (12,25)	Co	12,9 (13,22)
Cr	7,26 (7,80)	Tc	6,08 (9,91)	Ni	13,06 (13,22)

Из табл. 5 видно, что энергия $E_F \approx E_d$. Это означает, что на межфазной границе, т.е. при $z = R(I)$, собираются электроны с энергией деформации E_d , равной энергии Ферми E_F .

Другая ситуация наблюдается для полупроводников. На уровне Ферми в ПП нет электронов, поэтому нет поверхности Ферми, как у металлов. Вообще, многие процессы в ПП противоположны процессам в металлах, например, в зависимости их проводимости. На рис. 4 представлена зависимость энергии E_n для металлов (а) и полупроводников (б).

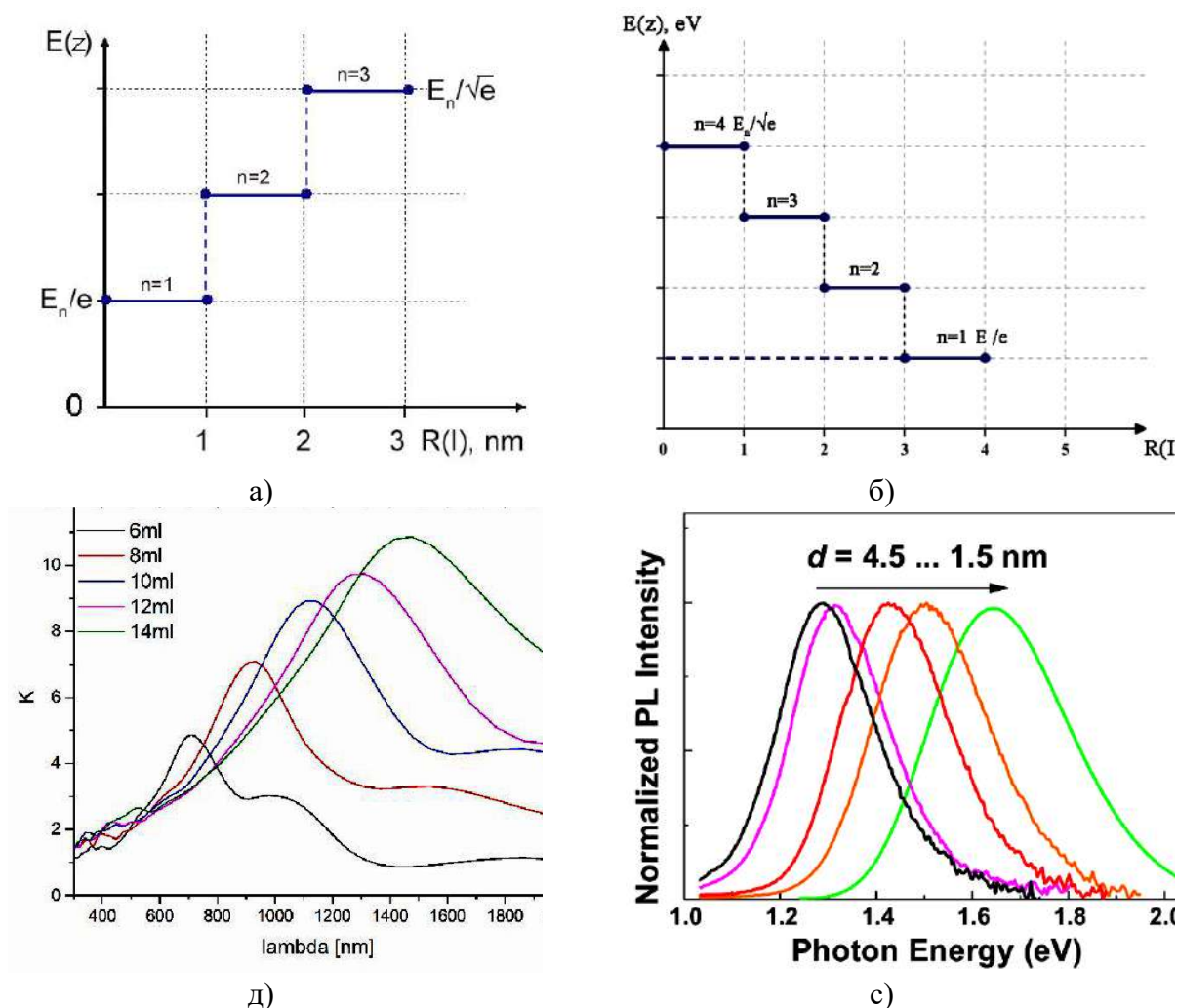


Рисунок 4. Схема зависимости уровня энергии E_n в нанослое металла (а) и полупроводника (б); зависимости коэффициента поглощения k от размеров свободных пленок меди [23] (д); положение полосы фотолуминесценции определяется размером нанокристаллов Si в SiO_2 матрице [24] (с)..

Рис. 4д и с подтверждают рис. 4 а и б и отличие металлов и полупроводников.

Модель полевой эмиссии из полупроводников

Для эмиссии электронов из металлов и полупроводников применяют теорию Фаулера-Нордгейма (рис. 5а), формула которой выглядит так [25]:

$$j \approx \frac{a \cdot E^2}{\hat{O}} \cdot \exp\left(-\frac{b \cdot \hat{O}^{3/2}}{E}\right) \quad (8)$$

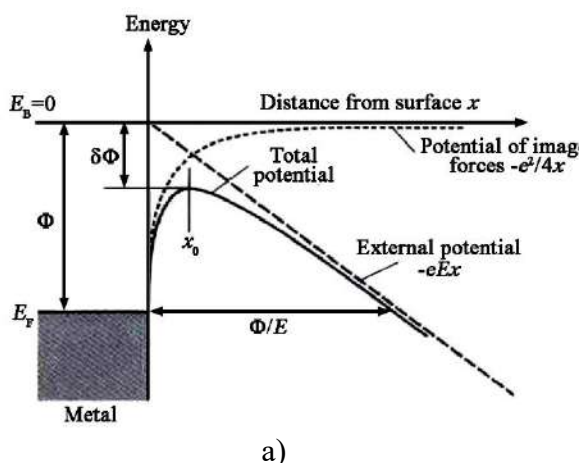
Здесь j – плотность тока (А/см^2), E – локальное электрическое поле у поверхности эмиттера (В/см), Φ – работа выхода (эВ), a, b – постоянные.

Вольт-амперная кривая изображена на рис 5б. Теория Фаулера-Нордгейма хорошо описывает экспериментальные результаты для металлических и полупроводниковых эмиттеров в форме острья, когда его радиус больше 100 нм. Когда радиус эмиттера меньше 10 нм, то теория Фаулера-Нордгейма дает слишком завышенные результаты. В нашем случае, как следует из табл. 2, имеем $R(I) < 10$ нм.

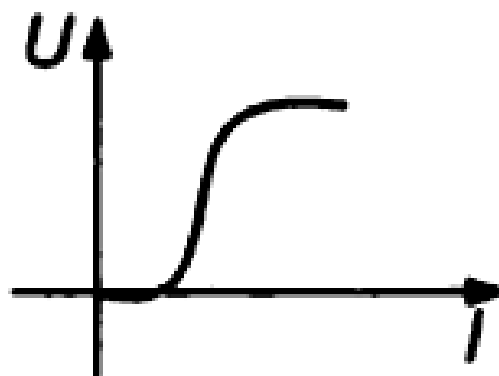
Экспериментальные значения работы выхода из полупроводников показаны в табл. 6. Эти измерения, в основном, проводились на сколах ПП в вакууме методом Кельвин-зонд микроскопии.

Таблица 6. – Работа выхода электронов из ПП [26]

ПП	Si	GaAs	InAs	InSb
Φ , эВ	4,8	5,5	5,3	4,75



а)



б)

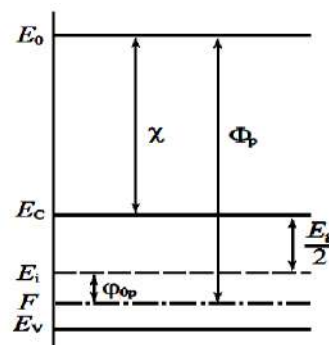
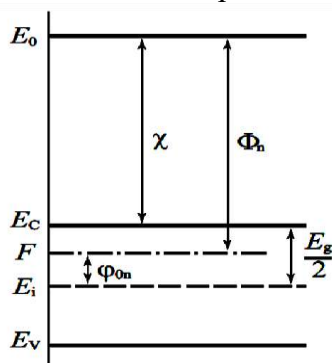
Рисунок 5. - Потенциальная энергия электрона около поверхности из-за наложения электрического поля напряенностью E . Суммарный потенциал (сплошная линия) складывается из потенциала сил изображения и внешнего потенциала, Φ – работа выхода без поля, $\Delta\Phi$ – изменение работы выхода с полем (а); ВАХ модели слоя $R(I)$.

Сравнивая табл. 6 с табл. 1 и 2 имеем эмпирическую формулу:

$$\hat{O} \approx \frac{E_d \cdot \ell}{a}. \quad (9)$$

где $\ell = 1$ нм.

Из уравнения (9) следует, что энергия деформации $E_d \approx \Phi a/\ell$ – термодинамической работе выхода, показанной на рис. 6.



а) б)
Рисунок 6. - Зонные диаграммы полупроводников а) n-типа, б) p-типа

Для металлов $E_d \approx E_F \approx 2 \Phi$. Из рис. 5а и формулы (9) следует, что порог эмиссии носителей заряда $\delta\Phi$ из ПП равен:

$$\delta\hat{O} = \frac{E_d \cdot \ell}{2e \cdot \dot{r}^2} \quad (10)$$

Для искомым ПП величина порога эмиссии представлена в таблице 7.

Таблица 7. – Порог эмиссии носителей заряда из ПП

ПП	Si	GaAs	InAs	InSb
$\delta\Phi$, В/см	$3,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$
$\delta\Phi$, В/см [27]	$\sim 5 \cdot 10^6$	$\sim 7 \cdot 10^6$	$\sim 3 \cdot 10^6$	$\sim 1,5 \cdot 10^6$

Из табл. 7 следует соответствие нашей модели экспериментальным данным, но полученной на основе известных величин, которые даны в многочисленных таблицах величин и которые не так трудно измерить в обычной лаборатории.

В работе [27] изучена полевая эмиссия из ПП Si, GaAs, InAs, InSb методом сканирующего туннельного микроскопа (их данные приведены в табл. 7). По ВАХ определен механизм полевой эмиссии: при напряжениях $V < 1\text{В}$ – прямое туннелирование через обедненный или обогащенный приповерхностный слой; $V > 1\text{В}$ — туннельная эмиссия из приповерхностных электронных состояний. Определяющими факторами предложенного механизма являются эффекты Шоттки, локализации и размерного квантования «легких» электронов в приповерхностной зоне полупроводников.

В нашей модели, описанной формулой (10), порог эмиссии зависит от двух параметров – энергии деформации и постоянной кристаллической решетки, которая связана с $R(I)$, который представляет собой потенциальную яму и потому квантуется (рис. 4а, б). В свою очередь энергия деформации $E_d = 1,5 \gamma a^2$, где $\gamma \sim T_m$ – поверхностная энергия ПП, T_m – температура плавления; a – постоянная кристаллической решетки. Итак, чтобы снизить порог эмиссии носителей заряда из ПП нужно взять ПП с высокими температурой плавления и постоянной кристаллической решетки. Самой высокой T_m обладают углеродные материалы, свойства которых представлены в табл. 8.

Таблица 8. - Эмиссионные характеристики углеродных структур [12]

Материал	Порог эмиссии, В/см	Плотность тока, мА/см ²	Фактор усиления
Наноалмаз	$2,20 \cdot 10^4$	0,7	-
Одностенные нанотрубки	$(1,5-4,0) \cdot 10^4$	10,0	1000-2500
Многостенные нанотрубки	$(4,0-5,0) \cdot 10^4$	10-100	2000-10000
Угленаностенки	$(0,9-20) \cdot 10^4$	3-10	1000-62900

Чтобы увеличить величину постоянной кристаллической решетки нужно обратиться к метаматериалам [28, 29]. Чтобы увеличить величину толщину поверхностного слоя эмиттера нужно использовать пористые материалы. Нами показано [30], что для пористого кремния слой $R(I)$ можно увеличить в 3 раза.

Заключение

Чтобы исследовать полевую эмиссию различных материалов или их соединений нужны вакуумные установки: высоковакуумные с давлением около 10^{-7} Торр и сверхвысоковакуумные с давлением до 10^{-10} Торр. Нужны также методы исследования: сканирующий туннельный микроскоп, Кельвин-зонд микроскопия и другие. Предложенное нами уравнение (10) позволяет теоретически с помощью компьютерных систем искусственного интеллекта создать основы разработки холодных катодов с перспективой их применения при создании различных электронных приборов.

Данная научная статья опубликована в рамках выполнения грантового финансирования на 2024-2026 годы ИРН № AP32488258. Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенин А.А., Казаков А.В., Климов А.С., Окс Е.М. Вакуумная и плазменная электроника. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2020. – 203 с.
2. Владимиров Г.Г. Физическая электроника. Часть I. Термоэлектронная эмиссия. - Санкт Петербург: Изд-во СПбГУ, 2007. – 187 с.
3. Никитин Н.Е., Шешин Е.П. Вторичная электронная эмиссия. – Москва: МФТИ, 2017. -52 с.
4. Никитин Н.Е., Шешин Е.П. Физические основы эмиссионной электроники. - Москва: Изд-во «Интеллект», 2018. – 576 с.
5. Седов А.В. Эмиссия электронов с поверхности полупроводников, стимулированная электрическим полем и гетерогенной химической реакцией. – Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Курск, 2005. – 131 с.
6. Пахневич А.А. Вклады поверхностных и объёмных состояний в фотоэмиссии электронов из $p^+-GaAs(Cs,O)$ и $p-GaN(Cs,O)$. - Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Новосибирск, 2008. – 127 с.
7. Корнилов В.М. Электрофизические свойства субмикронных пленок полигетероариленов. - Диссертация доктора физ.-мат. наук, Уфа, 2010. – 316 с.
8. Сергаева О.Н. Эмиссия электронов и окисление металлов при воздействии ультракоротких лазерных импульсов. - Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Санкт-Петербург, 2013. – 130 с.
9. Смольникова Е.А. Исследование структурных и автоэмиссионных характеристик нанографитных холодных катодов. - Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Москва, 2015. – 146 с.
10. Андрианова Н.Н. Физико-химические закономерности процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств. - Диссертация доктора технических наук, Москва, 2019. – 273 с.
11. Родионова Е.В. Исследование влияния сопряжения p -электронов в углеродных нанотрубках на их эмиссионные свойства. - Диссертация кандидата химических наук, Нижний-Новгород, 2021. – 159 с.
12. Клещ В.И. Эмиссия электронов из углеродных наноструктур. - Диссертация доктора физ.-мат. наук, Москва, 2024. – 323 с.
13. Голенищев-Кутузов В.А., Голенищев-Кутузов А.В., Несмелова И.М. Перспективные материалы и приемники излучения фотоэлектроники и фотоэнергетики. Монография. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. - 171 с.
14. Григорьев Л.В. Кремниевая фотоника. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 94 с.
15. Хлудков С.С., Толбанов О.П., Вилисова М.Д., Прудаев И.А. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами. Монография. - Томск: Издательский Дом ТГУ, 2016. - 258 с.
16. Кириллов А.В., Костылев А.В., Ясенов Н.Д. Основы электроники. - Екатеринбург : Изд-во ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

- Урал. ун-та, 2022. – 103 с.
17. Юров В.М. Толщина поверхностного слоя атомарно-гладких кристаллов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2019. вып. 11. - С. 389-397.
 18. John G.C., Singh V.A. Theory of the photoluminescence spectra of porous silicon // Physical Review B., 1994, Vol. 50, N.8. - P. 5329-5334.
 19. Eda G., Yamaguchi H., Voiry D., Fujita T., Chen M., Chhowalla M. Photoluminescence from Chemically Exfoliated MoS₂ // Nano Lett. 2011. Vol. 11, № 12. P. 5111–5116.
 20. Глазков В.Н. Объёмные полупроводники. – М.: МФТИ, 2018. – 35 с.
 21. Мамыкин А.И. Рассадина А.А. Контактные явления в полупроводниках. - СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 34 с.
 22. Юров В.М., Гончаренко В.И., Олешко В.С., Жангозин К.Н. Открытая квантовая система поверхностного слоя атомно-гладких металлов // Журнал прикладных и фундаментальных наук, 2025, №4. – С. 52-57.
 23. Томилин С.В. Влияние размерных эффектов на свойства электронной подсистемы металлических островковых плёнок. – Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Симферополь, 2018. – 177 с.
 24. Mikhaylov A.N., Tetelbaum D.L, Burdov V.A., et al. Effect of ion doping with donor and acceptor impurities on intensity and lifetime of photoluminescence from SiO₂ films with silicon quantum dots // J. Nanosci. Nanotechnol. 2008. V. 8. P. 780-788.
 25. Fursey G.N. Field Emission in Vacuum Microelectronics. - NY.: Kluwer Academic, 2005. 205 p.
 26. Магомадов, Р.М., Юшаев Р.Р. Влияние проводимости полупроводника на величину барьера Шотки // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика. 2021. – С. 11-14.
 27. Жуков Н.Д., Михайлов А.И., Мосияш Д.С. О механизме и особенностях полевой эмиссии в полупроводниках // Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып. 3. – С. 340-344.
 28. Вендик И.Б., Вендик О.Г. Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот (Обзор) // Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 1. – С. 3-28.
 29. Ларионов М.Ю. Исследование принципов проектирования метаматериалов для радиочастотной идентификации и поглощающих селективных поверхностей. - Диссертация кандидата физ.-мат. наук, Москва, 2024. – 127 с.
 30. Юров В.М. Толщина поверхностного слоя пористого кремния // Вестник КазНУ им. аль Фараби, 2020, №1(72). – С. 60-66.

DOI 10.24412/2709-1201-2025-31-20-22

СУПЕРПОЛИМЕРЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ НАНОТЕХНОЛОГИЯДАҒЫ ҚОЛДАНЫЛУЫ

БАҚТЫҒАЛИЕВА АҚЖҮНІС

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті; Ақтөбе, Қазақстан

Аннотация. Суперполимерлер — сыртқы физикалық немесе химиялық факторларға (жарық, температура, рН, электр өрісі және т.б.) жауап ретінде құрылымын немесе қасиеттерін өзгерте алатын интеллектуалды материалдар. Олардың жоғары икемділігі мен сезімталдығы биомедицина, сенсорика, энергия сақтау және жұмсақ робототехника сияқты нанотехнологиялық салаларда кеңінен қолданылуына мүмкіндік береді. Бұл мақалада суперполимерлердің физикалық-химиялық құрылымы, әрекет ету принциптері және олардың қазіргі ғылымдағы практикалық қолданыстары жан-жақты қарастырылады.

Кілтті сөздер: суперполимерлер, температураға сезімтал гельдер, интеллектуалды материалдар, фазалық ауысу, LCST, дәрі жеткізу жүйелері, рН-сезімтал полимерлер, жарыққа жауап беретін полимерлер, биомедицина, смарт-технологиялар, полимерлік гельдер, жауап беретін жүйелер.

Кіріспе

XXI ғасырда материалтану ғылымы қарқынды дамып, жаңа буын интеллектуалды материалдарға сұраныс артты. Бұл бағыттағы ең маңызды жетістіктердің бірі — суперполимерлердің дамуы. Суперполимерлер — "ақылды" немесе "сезімтал" деп аталатын полимерлер тобына жатады. Олар сыртқы қоздырғыштарға жауап беріп, алдын ала болжанатын өзгерістерге ұшырай алады. Мұндай материалдар классикалық полимерлерге қарағанда күрделі құрылымға ие және нақты функцияларды орындауға бейімделген.

Суперполимерлердің құрылымдық ерекшелігі — олардың құрамында жауап беруші функционалдық топтардың болуы. Мұндай топтар келесі сыртқы факторларға сезімтал:

- Температура (мысалы, Poly(N-isopropylacrylamide) — PNIPAM);
- рН (мысалы, хитозан және полиакрил қышқылы негізіндегі полимерлер);
- Жарық (мысалы, азобензол топтары бар полимерлер).

Температура сезімтал суперполимерлер төменгі (LCST) немесе жоғарғы (UCST) еру температураларына ие. LCST жағдайында температура жоғарылағанда полимер ерітіндіден бөлініп шығады, ал UCST — керісінше.

Полимердің қышқылдық немесе сілтілік ортадағы жағдайы оның иондану дәрежесіне байланысты өзгеріп, кеңейіп немесе жиырылып, молекулаларды босата алады.

Жарықтың әсерінен (әдетте ультракүлгін немесе көрінетін сәуле) полимер құрылымында изомеризация, тотығу немесе фотодеструкция сияқты процестер жүреді.

Зерттеу әдістері

Суперполимерлердің ерекше қасиеттерін анықтау үшін әртүрлі физикалық және химиялық талдау әдістері қолданылды. Мысалы, материалдың химиялық құрамын бағалау үшін инфрақызыл спектроскопия (FTIR) пайдаланылады. Бұл әдіс арқылы функционалдық топтардың құрамындағы өзгерістер мен қосылыстардың пайда болуы анықталады.

Термиялық сипаттамаларды зерттеу үшін дифференциалды сканерлеу калориметриясы (DSC) қолданылады. Осы әдіспен полимердің температураға байланысты фазалық күйінің ауысуы анықталады. Сонымен қатар, динамикалық жарық шашу (DLS) полимер бөлшектерінің орташа өлшемі мен олардың сыртқы орта өзгерістеріне реакциясын бағалауға мүмкіндік береді.

Микроструктура мен бет морфологиясын зерттеуде сканирлеуші электронды микроскопия (SEM) қолданылды. Бұл әдіс материал бетінің құрылымдық ерекшеліктерін көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік береді.

Оптикалық қасиеттерін бақылау үшін ультракүлгін және көрінетін жарық спектроскопиясы (UV-Vis) пайдаланылады. Бұл, әсіресе, жарыққа сезімтал суперполимерлер үшін маңызды.

Зерттеу нәтижелері

Температураға сезімтал суперполимерлердің зерттеуінде олардың төменгі критикалық ерітінді температурасы (LCST) шамамен 32°C деңгейінде орналасатыны анықталды. Бұл температурадан кейін полимер тізбектері гидрофобты күйге ауысып, көлемі кішірейеді. Мұндай қасиет дәрілік тасымалдау жүйелерінде кеңінен қолданылады.

pH-қа сезімтал материалдарда қышқылдық ортада жиырылу, ал сілтілік ортада ісіну байқалады. Бұл ерекшелік, мысалы, асқорыту жүйесіне бағытталған дәрілік жүйелерді жасау үшін маңызды.

Жарыққа сезімтал суперполимерлерде ультракүлгін сәуле әсерінен молекулалық құрылым өзгеріп, бұл физикалық қасиеттердің ауысуына әкеледі. Бұл мүмкіндік оптикалық құрылғылар мен сенсорларда пайдаланылады.

Сонымен қатар, бірнеше сыртқы факторларға бірден жауап бере алатын көпфункционалды суперполимерлер де зерттелуде. Мұндай материалдар биомедициналық құрылғылар мен микрофлюидтік технологияларда перспективалы болып табылады.

Практикада қолдану мысалдары

1. Медицина және фармацевтика

Суперполимерлер қазіргі уақытта мақсатты дәрілік тасымалдау жүйелерін әзірлеуде кеңінен қолданылады. Мысалы, температураға сезімтал полимерлер организм ішіндегі температура өзгерісіне жауап ретінде белсенді затты дәл қажетті жерде босата алады. Бұл тәсіл, әсіресе, қатерлі ісік жасушаларына бағытталған емдеуде тиімді болып саналады, себебі ісік аймағында температура сәл жоғары болуы мүмкін. Сол себепті, мұндай полимерлермен қапталған дәрілер сау ұлпаларға зиян келтірмей, тек қажет жерде әсер етеді.

2. Сенсорлар және диагностика

Жауап беретін полимерлер негізінде жасалған сенсорлар белгілі бір химиялық немесе физикалық факторларға жауап беру арқылы қоршаған ортаның күйін қадағалауға мүмкіндік береді. Мысалы, pH-сезімтал материалдар биосенсорлар құрамында қолданылып, биологиялық ортаның қышқылдық деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе, қандағы өзгерістерді немесе ішек ортасындағы жағдайларды нақты диагностикалауда маңызды.

3. Қоршаған ортаны қорғау

Суперполимерлердің ерекше қасиеттері экологиялық мақсаттарда да тиімді пайдаланылуда. Мысалы, арнайы жасалған полимерлік гельдер ауыр металл иондарын, органикалық ластағыштарды немесе май қалдықтарын өз бойына сіңіре отырып, суды тазартуға көмектеседі. Осындай жүйелерді қолдану суды тазарту технологияларын арзан әрі экологиялық таза етуге мүмкіндік береді.

4. Энергетика саласы

Қазіргі таңда ионөткізгіш қасиетке ие суперполимерлер аккумуляторлар мен отын элементтерінің құрамында пайдаланылады. Олар электр зарядын жоғары тиімділікпен тасымалдауға көмектеседі және батареялардың қызмет ету мерзімін ұзартады. Сонымен қатар, мұндай материалдар күн энергиясын жинауға арналған құрылғыларда да перспективалы болып табылады.

5. Жұмсақ робототехника және биоинженерия

Суперполимерлердің икемділігі мен сыртқы әсерлерге сезімталдығы оларды жұмсақ роботтардың құрылымдық элементі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Мысалы, жарыққа немесе электр өрісіне жауап беретін полимерлер қозғала алатын, пішінін өзгерте алатын құрылғыларды жасауға мүмкіндік береді. Бұл бағыт, әсіресе, адам ағзасымен үйлесімді биомеханикалық жүйелер әзірлеуде маңызды.

Қорытынды

Суперполимерлер – сыртқы орта факторларына (температура, рН, жарық, электр өрісі және т.б.) сезімтал, ерекше құрылымды және бейімделу қабілеті жоғары материалдар. Бұл қасиеттері оларды заманауи ғылым мен техникада кеңінен қолдануға жол ашып отыр. Атап айтқанда, олар биомедицинада (дәрілік заттарды бағытты жеткізу, жара таңғыштар, жасанды тіндер), сенсорлар мен интеллектуалды жүйелер жасауда, экологиялық сүзгілер мен смарт-технологияларда тиімді қолданыс табуда. Зерттеу нәтижелері суперполимерлердің белгілі бір температурада немесе рН мәнінде айқын фазалық ауысу көрсететінін дәлелдеді. Бұл оларды нақты сыртқы стимулға жауап ретінде әрекет ететін басқарылатын жүйелер жасауға мүмкіндік береді. Мысалы, температураға сезімтал полимерлер 32°C маңында көлемін өзгертіп, дәрілік затты дәл жеткізуге мүмкіндік туғызады. Ал рН-қа тәуелді гелидер ішкі мүшелердегі ортаға бейімделіп, дәрінің қажетті жерде босауын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, суперполимерлерді өндіру салыстырмалы түрде қарапайым әрі масштабтауға қолайлы, бұл оларды өнеркәсіптік өндіріс үшін де тартымды етеді. Болашақта бұл материалдарды нанотехнологиялармен, биополимерлермен және жасанды интеллект жүйелерімен интеграциялау арқылы жаңа буын интеллектуалды құрылғылар жасауға мүмкіндік бар. Алайда, олардың ұзақмерзімді тұрақтылығы, биосәйкестілігі және қайталама қолдану мүмкіндігі сынды аспектілер әлі де терең зерттеуді қажет етеді. Осы бағыттағы жүйелі ғылыми ізденістер суперполимерлердің қолданылу аясын одан әрі кеңейтеді және оларды тұрақты даму мен «жасыл технологиялар» жолындағы маңызды элементке айналдырады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Roy, D., Cambre, J.N., & Sumerlin, B.S. (2010). Future perspectives and recent advances in stimuli-responsive materials. *Progress in Polymer Science*, 35(1-2), 278–301. <https://www.researchgate.net/publication/223626778>
2. Stuart, M.A.C., Huck, W.T.S., Genzer, J., Müller, M., Ober, C., Stamm, M., ... & Winnik, F. (2010). Emerging applications of stimuli-responsive polymer materials. *Nature Materials*, 9(2), 101–113. <https://www.nature.com/articles/nmat2614>
3. Chatterjee, S. (2020). Smart Polymer Nanocomposites: Recent Advances and Perspectives. *Revista de Chimie*, 71(4), 497–503. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-97072020000404973&script=sci_arttext
4. Zhao, Q., Wang, C., & Liu, Y. (2019). Smart polymer-based drug delivery systems. *Advanced Healthcare Materials*, 8(1), 1801351. <https://advancedsciencenews.com/smart-polymer-based-drug-delivery-systems/>
5. Thakur, S., Sharma, B., & Thakur, V.K. (2021). Smart polymers and nanocomposites for biomedical applications. *Materials Science for Energy Technologies*, 4, 1–10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004220300053>
6. Hu, J., Meng, H., Li, G., & Ibekwe, S.I. (2014). Stimuli-responsive polymers: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 45, 1–15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493114003269>

DOI 10.24412/2709-1201-2025-31-23-29

УДК: 530.145:004.94

РОЛЬ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГЛОБАЛЬНУЮ НАУКУ

БЕКЕНОВА ГҮЛСЕЗІМ ҚАЙЫРБЕКҚЫЗЫ

Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова
Студент гр. ФО-22-1к

ҚАЗЫТАЙ ЖАНЕРКЕ АНВАРҚЫЗЫ

Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова
Студент гр. ФО-22-1к

ТӨЛЕУБАЙ ДІЛНАЗ ӘСКЕРБЕКҚЫЗЫ

Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова
Студент гр. ФО-22-1к

***Аннотация:** Квантовые технологии сегодня становятся ключевым направлением в развитии современной физики и смежных наук. От квантовой телепортации и квантовых вычислений до квантовой криптографии — все эти инновации меняют не только научную парадигму, но и фундаментальные представления о природе реальности, времени и пространства. В данной статье рассматриваются основные квантовые принципы, лежащие в основе новых технологий, анализируется их роль в развитии физики, а также возможные глобальные последствия внедрения этих достижений. Особое внимание уделено взаимосвязи квантовой механики и теории относительности, квантовой гравитации, а также вопросам безопасности, философским и этическим аспектам.*

***Ключевые слова:** квантовая механика, квантовая запутанность, телепортация, квантовые вычисления, теория относительности, глобальная наука, технология.*

Квантовая революция XXI века

С конца XX века человечество стало свидетелем стремительного роста интереса к квантовым явлениям, ранее считавшимся исключительно теоретическими. Квантовая механика, заложенная трудами Планка, Бора, Гейзенберга и Шредингера, трансформировалась из области чистой теории в практическую основу новых технологий. Развитие лазеров, полупроводников и томографов стало возможным именно благодаря квантовой теории.

Сегодня мы стоим на пороге второй квантовой революции, основанной не просто на понимании квантовых эффектов, но на их управлении и инженерной реализации. Это уже не просто физика — это технологическая платформа, меняющая глобальную науку, экономику и общество.

Основы квантовых технологий: Запутанность, суперпозиция и туннелирование

Квантовые технологии представляют собой революционный сдвиг в понимании и использовании фундаментальных законов природы. В отличие от классических физических систем, описываемых детерминированными уравнениями Ньютона и Максвелла, квантовые системы подчиняются вероятностным законам, что делает их поведение уникальным и крайне перспективным с технологической точки зрения. В основе квантовых технологий лежат три ключевых феномена квантовой механики: **запутанность, суперпозиция и туннелирование.**

1. Квантовая запутанность

Квантовая запутанность (entanglement) — это одно из наиболее загадочных и фундаментальных явлений квантовой физики. Суть его заключается в том, что две (или более) частицы, однажды вступив в квантовое взаимодействие, становятся настолько

взаимосвязанными, что состояние одной частицы мгновенно определяет состояние другой, вне зависимости от расстояния между ними. Это было впервые предсказано в знаменитом парадоксе Эйнштейна – Подольского – Розена (1935), в котором сами авторы считали, что запутанность — это свидетельство неполноты квантовой теории. Однако позже Джон Белл сформулировал неравенства Белла, а Аллен Аспе в 1980-х провёл эксперименты, которые подтвердили реальность запутанности.

В XXI веке квантовая запутанность стала технологической основой таких прорывных направлений, как **квантовая криптография**, **квантовая телепортация** и **квантовая коммуникация**. Современные эксперименты уже позволяют создавать и управлять системами, содержащими десятки, а иногда и сотни запутанных частиц — квантовых битов (кубитов), которые используются в квантовых компьютерах.

2. Суперпозиция

Суперпозиция — это возможность квантовой системы находиться одновременно во всех возможных состояниях, вплоть до момента измерения, когда она «выбирает» одно из них. Иллюстрацией этого явления является мысленный эксперимент с котом Шрёдингера, одновременно живым и мёртвым до открытия коробки.

В технологическом контексте суперпозиция лежит в основе **квантовых вычислений**. Классический бит может находиться только в двух состояниях — 0 или 1. Квантовый бит (кубит) может быть одновременно в состоянии 0 и 1, что позволяет квантовому компьютеру производить экспоненциально больше вычислений по сравнению с классическим. Этот принцип позволяет, например, ускорить факторизацию больших чисел (алгоритм Шора), симуляцию молекулярных взаимодействий, решение задач оптимизации и многое другое.

3. Квантовое туннелирование

Квантовое туннелирование — это эффект, при котором частица может «просочиться» через энергетический барьер, который в классической физике был бы непреодолимым. Этот феномен объясняет, например, ядерный распад и работу транзисторов на наноуровне. Он используется также в сканирующей туннельной микроскопии, позволяя получать изображения поверхности вещества с атомарной точностью.

Сегодня рассматриваются и другие перспективные применения туннелирования — например, в создании **квантовых источников энергии**, новых методов хранения информации и в диагностике на уровне отдельных молекул. Таким образом, туннелирование выходит за пределы «удивительного эффекта» и становится основой точных инструментов и устройств.

Квантовая телепортация: Информационный прорыв

Одним из наиболее ярких и прорывных применений квантовых эффектов стала **квантовая телепортация**. Вопреки фантастическим сюжетам, телепортация в квантовом смысле — это не перемещение материи, а **передача квантового состояния** одной системы на другую без физического переноса самой частицы. Основу этого процесса составляют квантовая запутанность и классический канал связи.

Принцип действия следующий: две частицы заранее подготавливаются в запутанном состоянии. Первая частица взаимодействует с неизвестной частицей, состояние которой мы хотим «передать». В результате этого взаимодействия происходит коллапс системы, а информация о проведённом измерении отправляется по классическому каналу второй частице, после чего к ней применяется соответствующее квантовое преобразование. В результате вторая частица принимает точное квантовое состояние исходной частицы — а сама исходная частица теряет своё состояние.

История и достижения

Первый успешный эксперимент по квантовой телепортации был проведён в 1997 году командой под руководством австрийского физика Антона Цайлингера. Они передали квантовое состояние фотона на расстояние нескольких метров. Этот результат подтвердил не только возможность телепортации, но и реальность нелокальных квантовых взаимодействий.

ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

С тех пор исследования пошли далеко вперёд:

- В 2004 году телепортация была достигнута между двумя ионными ловушками.
- В 2017 году китайские учёные из университета науки и технологий в Хэфэе, используя спутник *Micius*, **передали квантовое состояние фотона с Земли на орбиту** — на расстояние свыше 500 км. Это стало мировым рекордом по дальности телепортации и важным шагом к созданию **квантового интернета**.

Перспективы квантового интернета

Квантовая телепортация лежит в основе концепции **квантового интернета** — сети, в которой узлы соединены не через электромагнитные сигналы, а через запутанные квантовые состояния. Такой интернет обеспечит:

- абсолютную безопасность передачи информации,
- высокую устойчивость к взлому и подделкам,
- возможность распределённой квантовой обработки информации.

Создание квантовых ретрансляторов (повторителей), квантовых сетевых протоколов и распределённых сетей телепортации — всё это находится в стадии интенсивной разработки в ведущих научных центрах мира.

Ограничения и вызовы

Несмотря на фантастические возможности, квантовая телепортация имеет свои **ограничения**:

- требуется наличие запутанных пар частиц, которые необходимо заранее создать и распределить;
- невозможность использовать телепортацию для передачи информации быстрее скорости света — классический канал всё равно необходим;
- чувствительность к декогеренции (разрушению квантовых состояний) при взаимодействии с окружающей средой.

Тем не менее, несмотря на все сложности, квантовая телепортация уже вышла за рамки теории и вошла в фазу практической реализации.

Квантовые вычисления: Прорыв в обработке информации

Современный мир всё больше зависит от обработки и хранения гигантских массивов информации. Классические компьютеры, несмотря на их колоссальное развитие, подходят к пределу своих возможностей при решении определённых задач, таких как моделирование сложных химических реакций, декодирование шифров или оптимизация логистических процессов в реальном времени. Здесь на сцену выходят **квантовые вычисления**, как качественно новый подход к обработке информации.

Квантовые компьютеры опираются на кубиты — квантовые аналоги классических битов. В отличие от битов, которые принимают значение только 0 или 1, кубит может находиться в состоянии **суперпозиции**, одновременно представляя и 0, и 1. Более того, несколько кубитов могут быть **запутанными**, что позволяет использовать **квантовую интерференцию** для параллельной обработки огромного количества вариантов решения задачи.

Эта особенность делает квантовые вычисления незаменимыми для:

- **моделирования молекулярных структур** и химических реакций, где необходимо учитывать квантовые взаимодействия между частицами;
- **взлома или усиления шифрования**, включая разложение больших чисел на простые множители с помощью алгоритма Шора;
- **решения задач оптимизации**, характерных для экономики, транспортной логистики, проектирования и даже экологии.

Компании Google, IBM, D-Wave и Rigetti уже разработали **работающие квантовые процессоры**, каждый со своими подходами: от сверхпроводников до ионных ловушек. В 2019 году Google объявила о достижении **квантового превосходства**, то есть о выполнении задачи, которую классический суперкомпьютер решал бы тысячи лет, за считанные минуты на квантовом устройстве.

Тем не менее, на пути к универсальному квантовому компьютеру ещё предстоит преодолеть множество барьеров: проблемы декогеренции, масштабируемости, ошибок при измерениях и необходимость в поддержании сверхнизких температур.

Влияние квантовых технологий на развитие физики

Развитие квантовых технологий оказывает мощное обратное влияние на **саму физику**, особенно на её фундаментальные направления. Мы наблюдаем уникальную ситуацию, когда практические инженерные задачи подталкивают к решению глубочайших философских и теоретических проблем.

1. Квантовая гравитация

Одним из важнейших вызовов современной науки остаётся объединение **общей теории относительности (ОТО)** и **квантовой механики** в единую теорию — квантовую гравитацию. Теории струн и петлевая квантовая гравитация являются ведущими кандидатами. Они используют квантово-информационные принципы, в том числе квантовую телепортацию и запутанность, чтобы объяснить, как пространство и время могут возникать как следствие квантовых процессов.

2. Чёрные дыры и горизонт событий

Исследования вблизи чёрных дыр стали полем столкновения двух теорий: по Эйнштейну, информация может быть потеряна внутри сингулярности, в то время как квантовая механика утверждает, что информация не может исчезнуть. Излучение Хокинга и гипотеза голографического принципа пытаются примирить эти взгляды. Квантовые технологии — в частности квантовые детекторы — дают возможность моделировать поведение материи при экстремальных условиях, приближаясь к пониманию границ самой реальности.

3. Гравитационные волны и квантовые интерферометры

С момента открытия гравитационных волн (LIGO, 2015), квантовые технологии сыграли ключевую роль в их детектировании. Интерферометры, использующие квантово-механические принципы для минимизации шума, позволяют фиксировать едва заметные колебания пространства-времени, вызванные коллизией чёрных дыр или нейтронных звёзд. Это открывает новое окно в изучении космоса, невидимого для обычного электромагнитного наблюдения.

Глобальное влияние квантовых технологий

1. Наука и образование

Появление квантовых технологий вызвало **настоящую образовательную трансформацию**. Университеты по всему миру открывают магистерские и докторские программы по квантовой инженерии, квантовой информатике, квантовому программированию. В школах появляются элективные курсы, на YouTube выходят миллионы просмотров видеолекций о кубитах и телепортации. Квантовое мышление требует новой когнитивной гибкости: работы с неопределённостями, парадоксами и многоуровневым причинно-следственным анализом.

2. Экономика

Инвестиции в квантовые технологии превысили десятки миллиардов долларов. Крупнейшие государства и компании вступили в **технологическую гонку**: кто первым получит квантовое превосходство в вычислениях, связи или безопасности. Это влияет на:

- **Финансовый сектор**, где квантовая криптография может обеспечить абсолютную защищённость транзакций;
- **Фармацевтику и биотехнологии**, где моделирование молекул на квантовых компьютерах может ускорить создание новых лекарств;
- **Индустрию 4.0**, включая автономное управление производством, логистикой и цепочками поставок.

3. Глобальная безопасность

Квантовая криптография (например, протокол BB84) гарантирует невозможность перехвата данных без изменения самого сообщения. Однако одновременно квантовые компьютеры угрожают всем существующим методам шифрования на базе факторизации и дискретного логарифма. Это вызывает тревогу у банков, военных структур и государств: потребуется переход на **постквантовые** методы защиты данных. Появляется новое поле геополитического соперничества — **квантовая кибербезопасность**.

Этические и философские вызовы

С ростом возможностей квантовых технологий встаёт всё больше **фундаментальных вопросов**, лежащих на стыке науки, философии и гуманитарных знаний.

- **Что такое информация и сознание**, если квантовое состояние может быть передано между системами, а значит — и потенциально "копировано"? Можно ли представить перенос сознания как форму телепортации?

- **Существуют ли множественные реальности?** Некоторые интерпретации квантовой механики (например, многомировая интерпретация Эверетта) предполагают, что каждый акт измерения создаёт новую ветвь реальности. Тогда каждый выбор человека потенциально ведёт к альтернативной вселенной.

- **Можно ли сохранить личность при телепортации?** Если технология телепортации будет разрушать тело и восстанавливать его в другом месте, будет ли восстановленный человек тем же самым? Или это будет копия с теми же воспоминаниями?

Эти вопросы переходят рамки физики. Они требуют взаимодействия с этикой, правом, культурологией, и, возможно, формируют **новую онтологию науки будущего**.

Развитие квантовых технологий в последние десятилетия стало важнейшим шагом в эволюции научного мышления и прикладной физики. Мы стали свидетелями уникального исторического процесса, когда фундаментальные открытия, сделанные в начале XX века, обрели прикладную реализацию в виде конкретных технологических решений. Квантовые технологии перестали быть сферой исключительно теоретических моделей и научных гипотез — они вышли на уровень реального практического применения, охватывая такие области, как телекоммуникации, вычисления, энергетика, медицина, безопасность и даже философия.

Квантовая механика, будучи изначально наукой о поведении микрочастиц, таких как электроны, фотоны и атомы, продемонстрировала невероятную точность в описании мира, который лежит за пределами нашего восприятия. Принципы неопределённости Гейзенберга, суперпозиции состояний, квантовой запутанности и туннелирования стали не только частью теоретического аппарата, но и основой новых технологических прорывов. Современные квантовые технологии опираются именно на эти фундаментальные идеи и при этом продолжают развивать физику как на уровне эксперимента, так и на уровне теории.

Огромное значение квантовых технологий заключается в их способности решать задачи, которые ранее считались либо нерешаемыми, либо крайне ресурсоёмкими. К примеру, квантовые вычисления, опираясь на явление суперпозиции и квантовой интерференции, потенциально способны обрабатывать огромные массивы информации с невиданной скоростью. Квантовые компьютеры открывают путь к моделированию сложных молекулярных структур, химических реакций, материалов будущего и даже космологических процессов, где классические компьютеры оказываются бессильны. Это означает не просто ускорение научных открытий, но и пересмотр способов научного познания как такового.

Особого внимания заслуживает квантовая криптография, обеспечивающая принципиально новый уровень безопасности. Она основана на невозможности незаметного перехвата квантового сигнала: любое измерение неизбежно нарушает состояние системы. Это даёт уникальную возможность построения абсолютно защищённых каналов связи, что особенно актуально в эпоху цифровых угроз, киберпреступности и шпионских технологий. На базе квантовой криптографии строятся концепции квантового интернета, который может полностью трансформировать сферу цифровых коммуникаций.

Квантовая телепортация, несмотря на свою кажущуюся фантастичность, также стала предметом успешных экспериментов. Перенос квантового состояния с одной частицы на другую через квантово-запутанное состояние продемонстрирован не только в лабораторных условиях, но и в межпланетной связи (например, телепортация с Земли на спутник в Китае). Хотя речь не идёт о переносе материи в буквальном смысле, подобные эксперименты создают прочный фундамент для создания квантовых сетей и коммуникационных систем будущего.

Одним из важнейших последствий развития квантовых технологий стало стимулирование поиска **единой теории** — объединения квантовой механики и общей теории относительности. Эти две научные парадигмы прекрасно работают в своих масштабах: квантовая механика — в мире микрочастиц, теория относительности — в макром мире. Однако между ними существует глубокий разрыв. Современные физики, разрабатывая теории квантовой гравитации (например, теорию струн, петлевую квантовую гравитацию), опираются на квантовые принципы для объяснения таких явлений, как чёрные дыры, гравитационные волны, кротовые норы. Это не только расширяет горизонты понимания устройства Вселенной, но и позволяет предполагать возможности манипулирования пространством и временем.

Более того, квантовые технологии трансформируют не только науку, но и **глобальную экономику**. Крупнейшие государства и корпорации инвестируют миллиарды долларов в разработку квантовых решений. Формируется новый рынок — квантовая экономика, в котором доминирование означает технологическое и политическое лидерство. Становится очевидным, что квантовое превосходство — это не абстрактное понятие, а стратегическая цель для национальной безопасности, здравоохранения, энергетики, финансов и обороны.

Влияние квантовых технологий на **образование** также невозможно переоценить. Появление междисциплинарных программ по квантовой инженерии, создание школьных и университетских курсов по квантовой информатике, массовое открытие лабораторий и акселераторов исследований говорят о начале новой образовательной эпохи. Молодое поколение учёных и инженеров формируется уже с учётом квантового мышления и подготовлено к работе с нелинейными, вероятностными, нелокальными системами.

Помимо технологического и научного прогресса, квантовые технологии влекут за собой **философские и этические вызовы**. Например, концепция квантовой телепортации порождает вопросы о природе сознания, идентичности и "Я". Если можно скопировать состояние объекта, остаётся ли этот объект тем же самым? Появляется также вопрос о возможности множественных реальностей (миров) — одна из интерпретаций квантовой механики. Введение квантовых технологий в повседневную жизнь потребует осмысления их социального и культурного воздействия, а также установления международных правовых и этических стандартов использования.

Также стоит подчеркнуть, что квантовые технологии не лишены **рисков**. Во-первых, они сложны в реализации: квантовые системы чрезвычайно чувствительны к внешним воздействиям, что требует изоляции, сверхнизких температур и точной настройки. Во-вторых, возможны злоупотребления, особенно в области квантовой разведки, криптоанализов, информационного контроля. Наконец, квантовая гонка может спровоцировать новый виток глобального технологического соперничества между странами.

С учётом сказанного можно утверждать, что квантовые технологии стали неотъемлемой частью современного научного и технологического прогресса. Они дают не просто новые инструменты, но и новый способ восприятия мира, в котором пространство и время перестают быть абсолютными, причинность — линейной, а информация — статичной. Мы учимся жить в вероятностной Вселенной, управляемой законами, которые раньше казались парадоксальными, а теперь становятся технологической нормой.

Современная физика получает небывалые возможности для познания и преобразования реальности. Будь то создание квантовых компьютеров, телепортация информации, моделирование гравитационных процессов или дешифровка тайн чёрных дыр — всё это

говорит о наступлении новой эры. Эры, где квантовые технологии не просто развивают физику, но становятся ядром научной картины мира, заставляя нас переосмыслить понятия истины, измерения, реальности и самосознания.

Перспектива на ближайшие десятилетия заключается в постепенном, но устойчивом внедрении квантовых технологий в разные сферы жизни. Мы будем наблюдать переход от экспериментов в лабораториях к промышленным образцам, от теоретических моделей — к прикладным решениям. Создание надёжных квантовых каналов связи, доступных квантовых процессоров, устойчивых квантовых сенсоров и детекторов, а также дальнейшее развитие фундаментальной физики — вот путь, по которому движется наука сегодня.

Можно с уверенностью сказать, что влияние квантовых технологий на глобальную науку и цивилизацию будет не менее масштабным, чем влияние открытия электричества или изобретения интернета. Мы стоим на пороге квантовой эпохи, где способность управлять микромиром открывает дорогу к изменениям в макромире.

Квантовые технологии — это не просто шаг вперёд. Это **квантовый скачок** в будущее человечества. И лишь от нас зависит, каким это будущее станет — эпохой гармонии науки и разума или временем неконтролируемой гонки и конфликтов. В любом случае, это будущее начинается уже сейчас — и его фундаментом становится квантовая физика, перерастающая в технологию и мировоззрение XXI века.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press.
2. Zeilinger, A. (2003). Quantum teleportation and the quantum internet. *Scientific American*, 4(289), 42-49.
3. Haroche, S., & Raimond, J.-M. (2006). *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities, and Photons*. Oxford University Press.
4. Preskill, J. (2018). Quantum Computing in the NISQ era and beyond. *Quantum*, 2, 79.
5. Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47(10), 777.
6. Pan, J.-W., Chen, Y., Lu, C.-Y., Weinfurter, H., Zeilinger, A., & Zukowski, M. (2012). Multiphoton entanglement and interferometry. *Reviews of Modern Physics*, 84(2), 777.

DOI 10.24412/2709-1201-2025-31-30-34

УДК 514.113.4

МАТЕМАТИКА САБАҚТАРЫНДА КЕҢІСТІКТІК ОЙЛАУДЫ ДАМУДАҒЫ ҚАЖЕТТІЛІК ПЕН ШЕШІМДЕР

НАЗАРОВА ДИНА ТАЛАСҚЫЗЫ

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, 1-курс студенті

Ғылыми жетекшісі- МАЙБАЗАРОВА БАХЫТКУЛЬ ДЖАНАТБЕКОВНА

Алматы, Қазақстан

Түйіндеме: Зерттеу тақырыбы оқушылардың кеңістіктегі фигураларды елестету қабілетін дамыту кезінде жиі кездесетін қиындықтарға және оларды жеңудің мүмкін жолдары мен стратегияларына арналған. Кеңістіктік ойлау математика, ғылым және дизайн сияқты салаларда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар студенттердің танымдық дамуының негізгі бөлігі болып табылады. Бұл мақалада оқушылардың кеңістіктік ойлауын қалыптастыру кезінде туындайтын негізгі проблема аспектілері қарастырылады. Сондай-ақ осы ойлау түрін дамытуға ықпал ететін әртүрлі әдістер мен педагогикалық тәсілдер талқыланады. Зерттеу нәтижелері педагогтар, психологтар және білім беру саласының мамандары үшін пайдалы болуы мүмкін. Өйткені олар оқу үдерістерін оңтайландыруға және студенттерге кеңістіктік ойлау мен фигураларды қабылдау және талдаудағы қиындықтарды жеңуге көмектесуге бағытталған.

Кілттік сөздер: кеңістіктік ойлауды дамыту, математика, бағдарлану, әдістер.

Өмірде қазанның сыйымдылығын немесе кітап сөресіндегі кітаптар санын қалай анықтаймыз? Әрине, кеңістіктік ойлау арқылы. Кеңістіктік ойлау – бүгінгі таңдағы ең маңызды ойлау түрлерінің бірі. Ол тек математика, география сияқты ғылымның ірі салаларында ғана емес, сонымен қатар күнделікті өмірде де қолданылады. Қарапайым нақты нысандарды елестеткенде, біз олардың пішінін, өлшемдерін және орналасуын көз алдымызға елестетіп қоямыз. Бұл – біздің оң ми жарты шары жауап беретін кеңістіктік ойлаудың қарапайым функциялары. Дегенмен, математика сабақтарында бұл ойлау ерекше орын алады. Бірнеше жылдар бойы геометрия тек теориямен шектелді, ал кеңістіктік ойлауды дамыту әдістері тек қосымша тәсіл ретінде қолданылды. Геометрияны оқытудың мұндай мазмұны математиканы ғылым ретінде тануға көмектесті, бірақ жалпы алғанда, көріністер мен бейнелерді қабылдайтын оқушылардың ойлау жүйесіне сәйкес келмеді. Ойланып көрсек, қарапайым есептеулерде біз дұрыс емес үшбұрышты елестетуге мәжбүр боламыз. Ал кеңістіктік ойлауы жақсы дамыған балалар мұндай процестерде үлкен қиындықтарға тап болады. Сонымен қатар, кеңістіктік масштабтауда жақсы нәтиже көрсететін балалар сандарды сандық түзуде дұрыс орналастыра алады, ал айналдыру арқылы ойлау дағдысы жақсы дамыған балалар жетіспейтін сандары бар есептерді оңай шешеді. Ересектер үшін жақсы дамыған кеңістіктік дағдылар кейбір мамандықтар үшін өте маңызды. Мысалы:

- Инженерлер көпірдің немесе ғимараттың құрылымын елестету үшін,
- Геологтар ландшафтта бағдарлау үшін,
- Дәрігерлер дұрыс орынға укол қою және рентген суреттерін дұрыс оқу үшін,
- Биологтар ас қорыту жүйесінде тамақтың қозғалу жолын түсіну үшін кеңістіктік дағдыларды қажет етеді. Зерттеулер көрсеткендей, жасөспірім кезінде кеңістіктік дағдылары жақсы дамыған адамдар әсіресе Ғылым, Технология, Инженерия және Математика (STEM) салаларында жұмыс істеуге бейім болады [1].

Ғалымдар мен ұстаздардың әрдайым көздейтін маңызды мақсаттарының бірі – адам ойлауын дамыту болып табылады. Бұл адамның ойлау қабілеті жақсы дамыған жағдайда жаңалық ашуға, білімді өз бетінше меңгеруге, қайшылықтарды анықтап, оларды шешу

жолдарын табуға қабілетті болатынына байланысты. Соның арқасында әлеуметтік прогресті қамтамасыз етеді. Сондықтан да ойлауды, соның ішінде кеңістіктік ойлауды дамыту мәселесі қазіргі қоғамда өзекті болып қала береді. Ойлаудың әрбір түрінің өзіне тән ерекшеліктері бар: кеңістіктік, шығармашылық және тағы басқалары. Яғни, осы ойлау түрлеріне тән міндеттер мен ойлау әрекетін жүзеге асыру тәсілдері олардың бір-бірінен ажыратылуына мүмкіндік береді. Бұл тек қабілет түрі ретінде ғана емес, түрлі теориялық міндеттерді шешуге бағытталған ойлаудың бір түрі ретінде қарастырылатын ойлау кеңістіктік ойлау деп аталады. Кеңістіктік ойлау – зияткерлік дамуды айқындайтын маңызды танымдық-психикалық үдеріс, ол ой әрекетінің бір түрі болып табылады. Бұл үдеріс барысында кеңістіктік бейнелер қалыптасып, оларды түрлі міндеттерді шешу үшін қолданылады. Кеңістіктік ойлауы жақсы дамыған адам көптеген шығармашылық мамандықтарда табысқа жете алады, өйткені мұндай қабілет бейнелерді елестетуге, кеңістіктегі объектілерді қиялда өзгертуге мүмкіндік береді [2].

Оқушының ойлау жүйесі терең әрі кең көзқарасқа негізделеді. Яғни, олар тек түсінікті, негізді және логикалық ақпаратты қабылдайды. Осы тұрғыда кеңістіктік ойлауды дамыту — өзекті мәселелердің бірі. Оның маңызын түсіндіру үшін алдымен негізгі функцияларына тоқталайық:

1. **Ойша айналдыру (менталды ротация)** – бұл адамның бейнелерді барлық қырынан елестете алу қабілеті. Яғни, бейнені толық түсініп, талдауға мүмкіндік береді.

2. **Нысанды іріктеп алу** – кеңістіктік қасиеттерге сүйене отырып, жалпы көріністен қажетті объектіні таңдау қабілеті.

3. **Кеңістіктік масштабтау** – таныс бейнелер мен объектілердің өлшемдерін салыстыру мүмкіндігі.

4. **Бағдарлану** – қоршаған ортаның құрылымын анықтай білу қасиеті. Бұл – күнделікті өмірде объектілердің орнын анықтау үшін маңызды функция.

Кеңістіктік ойлау жүйесі көзбен көру арқылы жүзеге асқанымен, ол — біз ойша көріп, бейнелей алатын «ақыл көзі» арқылы қалыптасатын қабілет. Бұл — кеңістікті бағалау, оның түрлі қырларын, пішіндерін, ұсақ бөлшектерін елестету, визуалды бейнелерді танып, есте сақтау қабілеттерімен сипатталады. Демек, бұл қабілет бізді қоршаған ортада болып жатқан құбылыстарды түсініп, кеңістікті жүйелеуге бағыттайды.

Математика сабақтарында кеңістіктік ойлауды тиімді дамыту әдістері мен тәсілдері

Кеңістіктік интеллект – адамның үш өлшемді кеңістікте нысандарды қабылдау, талдау және басқару қабілеті. Кейбір адамдар әртүрлі себептерге байланысты осы интеллектіні дамытуда қиындықтарға тап болуы мүмкін. Міне, олардың негізгі себептері:

1. Генетикалық факторлар: Кейбір жағдайларда кеңістіктік интеллектінің дамуы генетикалық ерекшеліктерге немесе тұқымқуалаушылыққа байланысты болуы мүмкін. Яғни, адамның туа бітті физиологиялық ерекшеліктері кеңістіктік қабылдау қабілетіне әсер етеді.

2. Мидың дамымауы: Кейбір медициналық жағдайлар немесе ми жарақаттары мидың белгілі бір бөліктерінің дамуына немесе қызметіне кері әсерін тигізіп, кеңістікті қабылдау мен өңдеуде бұзылыстар туғызуы мүмкін.

3. Жаттығудың және тәжірибенің жетіспеушілігі: Кеңістіктік интеллектіні дамыту үшін үнемі 3D нысандармен, сызбалармен, карталармен жұмыс істеу, практикалық дағдыларды меңгеру қажет. Егер адам осы бағытта қажетті жаттығулар мен тәжірибеден өтпесе, оның кеңістіктік қабілеттері жеткіліксіз дамиды.

4. Дұрыс емес оқыту әдістері: Кейбір адамдар кеңістіктік интеллектіні дамытуда қиындықтарға ұшырауы мүмкін, егер оқыту әдістері тиімді болмаған жағдайда немесе қажетті педагогикалық қолдау көрсетілмесе.

5. Сезім мүшелерінің зақымдануы: Мысалы, көру немесе есту қабілетінің бұзылуы кеңістіктік ақпаратты қабылдауда және өңдеуде қиындықтар туғызады, бұл кеңістіктік ойлаудың дамуына кері әсер етеді.

6. Дислексия және дисграфия: Бұл бұзылыстары бар адамдарда кеңістіктік қабылдау мен басқаруда қиындықтар болуы мүмкін, олардың кеңістіктік қатынастарды дұрыс түсіну қабілеті әлсірейді.

7. Медициналық жағдайлар: Диспраксия, аутизм сияқты кейбір неврологиялық немесе дамудың ерекшеліктері кеңістіктік интеллектінің дамуына ықпал етуі мүмкін.

Алайда, осы қиындықтардың көпшілігі мамандандырылған жаттығулар, арнайы қолдау және бейімделген оқыту стратегиялары арқылы жеңілдетілуі немесе жойылуы мүмкін. Мәселелерді ерте анықтап, тиісті көмек көрсету кеңістіктік интеллектінің дамуына маңызды үлес қосады.

Осы тұрғыдан алғанда, оқушының кеңістікті ойлау қабілетінің деңгейі оның тұлғалық дамуы үшін аса маңызды болып табылады. Сондықтан мектеп оқушыларын оқытуда жүйелі ұйымдастыру мен үздіксіз практика жасау қажет. Бұл үдеріс түрлі технологияларды, мысалы, компьютерлік бағдарламаларды пайдалану арқылы тиімді жүзеге асады. Сонымен қатар, оқушылардың кеңістіктік ойлауын әр түрлі кезеңдерде үнемі тексеріп, талдау жүргізу аса маңызды, өйткені затты ойша елестете білу, оны әртүрлі бұрыштардан көру және сызу қабілеті – нысандардың кеңістікте қалай орналасатынын түсіну үшін маңызды дағдылар болып табылады. Бұл қабілеттерсіз заттардың қозғалысы мен пішінінің өзгеруін елестету қиын болар еді. Бұрынғы бөлімдерде айтылғандай, сабақ барысында кеңістіктік ойлауды дамыту үшін қолданылатын әдістер келесі топтарға бөлінеді:

Көрнекі және суретті әдістер. Бұл әдістер кеңістіктік түсінікті жақсарту үшін визуалды бейнелер мен нақты заттарды қолданады. Мысалы, түрлі-түсті суреттер, анимациялық бейнелер немесе эмоцияға толы иллюстрациялар оқушылардың кеңістікке қатысты абстракт ұғымдарды қабылдауына көмектеседі. Бұл баланың қабылдауын күшейтіп, оқу процесін тартымды әрі әсерлі етеді.

Абстрактілі әдістер. Абстрактілі әдістер нақты көрнекі құралдарға сүйенбей, тек ойша операциялар жасауға негізделеді. Мұнда оқушылар геометриялық пішіндерді, симметрияны немесе кеңістіктегі өзгерістерді елестетіп, ойша талдайды. Бұл әдіс оқушылардың терең талдау жасау қабілетін дамытады.

Шартты графикада оқушылардың кеңістіктік интуициясын дамыту үшін оларға сұрақтар қою арқылы жұмыс жүргізуге болады. Мысалы, 7-сыныпта келесі сұрақты қоюға болады: «Бір-бірінің үстіне қойылған пішіндерден қандай жаңа пішіндер пайда болады?» Осыдан кейін оқушылар келесі жағдайларды қарастырады:

- а) екі түзу сызық?
- ә) түзу мен үшбұрыш?
- б) екі үшбұрыш?
- в) түзу мен барлық қабырғалары түзу төртбұрыш?
- г) түзу мен кем дегенде бір қабырғасы қисық болатын төртбұрыш?

Кейін оқушылар әр жағдайды талдайды, нәтижесін қорытындылайды немесе жанама сұрақтар қояды.

Осы әдісті 9-сыныптарға да қолдануға болады. Мысалы, үшбұрыштың шеңбер ішіндегі орналасуына байланысты радиустың орнына талдау жасауға болады. Бұл оқушылардың кеңістіктік ойлау қабілетінің алғашқы сатысы болып табылады және қиялды дамытуға ең қолайлы кезең.

Кеңістіктік ойлауды дамытудың келесі құралы — компьютерлік технологиялар. Бұл әдіс көбіне диагностикалық тапсырмаларда қолданылады. Қолдан жасалатын бұйымдардан компьютер арқылы жасалатын модельдеуге біртіндеп, жүйелі көшуіміз керек. Сонымен қатар, тапсырмалар барған сайын күрделене түсуі қажет. Бұл дегеніміз — алдымен 3D нысандарды бейнелеу мен жасауды үйреніп, кейін сол нысандарды түрлі тәсілдермен пайдалануды меңгеру. Бұл бізге көбірек ойлануға, шығармашылық тұрғыдан жұмыс істеуге және айналамыздағы дүниеге басқа қырынан қарауға көмектеседі. Сондықтан бұл алгоритм оқушыларды оқытуда міндетті түрде қолданылуы тиіс.

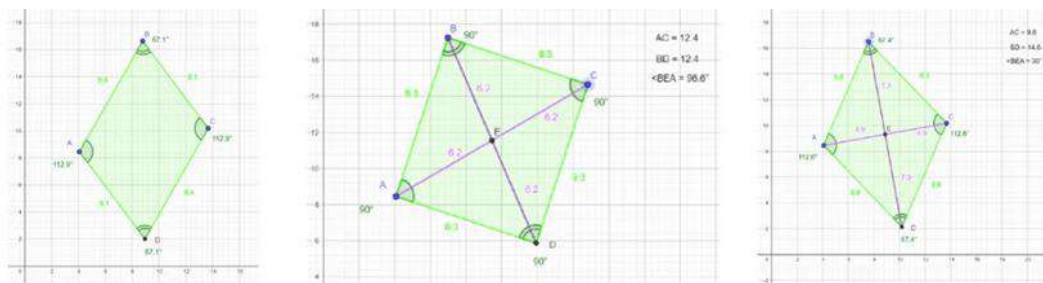
10–11 сынып геометриясында кеңістіктік ойлауды дамыту үшін оригами әдісін қолдануға болады. Қағазды бүту арқылы үшбұрыш, төртбұрыш, тіктөртбұрыш сияқты жазық фигуралар, ал оларды біріктіру арқылы куб тәрізді кеңістіктік пішіндер жасалады. Бастапқыда фигураны бүктеу тәсілі көрсетіліп, кейін оқушы сурет бойынша өз бетімен қайталап жасап көреді немесе жаңа пішін ойлап табады.

8-сыныптағы "Төртбұрыштар" тақырыбында GeoGebra арқылы келесідей жұмыс жүргізілді:

1. Параллелограмм салынады.
2. Measure Segments функциясы арқылы қабырғалардың ұзындығы өлшенеді → қарама-қарсы қабырғалардың теңдігі дәлелденеді.
3. Бұрыштар мен диагональдар салынып, қарама-қарсы бұрыштардың теңдігі мен диагональдардың қиылысу нүктесінде тең екіге бөлінетіні көрсетіледі.
4. Төбелерді қозғалту арқылы жаңа фигуралар жасалады: бұрыш тік болса — тіктөртбұрыш, барлық қабырғалар тең болса — ромб, ал бұрышы тік әрі қабырғалар тең болса — шаршы.

Осылайша оқушылар фигуралардың қасиеттерін көзбен көріп есте сақтайды. Тақырыпты бекіту үшін сұрақтар қоюға болады:

«Параллелограмм деген не?», «Оны қалай саламыз?», «Қандай фигуралар туындайды?»
GeoGebra арқылы фигураларды 3D форматта көру мүмкіндігі кеңістіктік ойлауды дамытудың келесі кезеңіне өтуге көмектеседі.



Кеңістіктік ойлау деңгейін тексеру үшін бақылау срезі өткізілді және оны бастапқы срезбен салыстырмалы талдау жүргізілді. Бақылау срезіне бастапқы срездегі тапсырмаларға ұқсас тапсырмалар енгізілді. Жұмыс нәтижесінде 7-сынып оқушылары кеңістікте жақсы бағдарлай бастағаны, кеңістіктік ұғымдардың қорын кеңейткені, нысандар арасындағы қатынастарды орната алатыны, нысандарды түрлендіре білетіні, кеңістіктік ойлауды дамытатын сандық білім ресурстарын қолдануды үйренгені анықталды. Қолданыстағы тапсырмаларды қайта қарау немесе жаңаларын қосу арқылы, олардың қазіргі заман талабына сәйкес көрнекі бейнелері жетілдіріліп, оқушылардың қызығушылығы артты. Тапсырманы шешуде нәтижеге жетуге ұмтылыс пайда болды, ал бастапқы кезеңде кейбір тапсырмаларды тіпті оқып түсіну қиын болған.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорыта айтқанда, кеңістіктік ойлауды дамыту үшін бірнеше нәрсе істеу қажет. Ең алдымен, қарапайым тапсырмалардан бастап, біртіндеп күрделірек тапсырмаларға көшу керек. Өртүрлі модельдерді пайдалану маңызды — физикалық, қағаздағы немесе компьютердегі модельдер. Сонымен қатар, нақты өмірдегі нысандарды математикалық фигуралармен салыстырып, олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтарын қарастыру қажет. Жетістікке жету және қоғамның дамуына үлес қосу үшін жаңа жағдайларға тез бейімделе алатын, жаңашыл идеялар ұсына алатын жан-жақты әрі зерек тұлға болу маңызды. Кеңістіктік ойлау — осындай тұлға қалыптастырудың негізгі құрамдас бөлігі. Кеңістіктік ойлау — нақты өмірде және ойша проблемаларды суреттер мен бейнелер арқылы шешу қабілеті. Мұндай ойлауды үйрену үшін уақыт қажет. Жақсару үшін кеңістік туралы түсініктің

барлық аспектілеріне назар аудару керек, тек негізгі бөліктеріне ғана емес. Бұл мектепте кеңістіктік ойлау дағдыларын толық дамытуға көмектеседі.

Зерттелген әдебиеттер негізінде, қазіргі заманғы оқыту моделінде бұл әдістің ерекше маңыздылығы бар деп тұжырымдаймыз, себебі ол оқушылардың танымдық қызығушылығын, өз бетінше жұмыс істеуін белсендіреді. Сонымен қатар, кеңістіктік ойлауды дамытқанда оқушылардың жеке ерекшеліктері мен қиындықтарын ескере отырып оқыту қажет. Ол үшін әртүрлі тәсілдерді тиімді қолдану маңызды.

Біз оқушылардың кеңістік пен пішіндер туралы ойлауын дамыту үшін әртүрлі құралдар пайдаланып, қазіргі заманғы оқыту әдістерін ескеріп жұмыс істеуді жалғастыруымыз керек. Әр кезеңде олардың жетістіктерін бақылап отыру қажет. Зерттеу барысында оқушылардың математиканы оқып жатқанда кеңістікті жақсырақ түсінуіне қалай көмектесуге болатынын анықтадық. Оларға түсінуге көмектесу үшін суреттер мен басқа да көрнекі элементтерді пайдалану тиімді деп есептейміз. Кеңістіктік ойлауды дамытуға бағытталған 56 арнайы математикалық тапсырма болу керек. Әр қадамнан кейін кеңістіктік ойлау деңгейін тексеріп отыру қажет. Сондай-ақ, математика сабақтарында суреттер мен көрнекі элементтерді көбірек қолдану оқушылардың кеңістіктік ойлау қабілетін арттыруға ықпал ететінін анықтадық. Ең бастысы, біз кеңістіктік ойлаудың оқу процесіндегі маңыздылығын және оны дамытудың әдістерін ашып көрсеттік. Жүргізілген эксперименттерді талдау нәтижесінде кеңістікті жақсы түсініп, онымен тиімді жұмыс істеуді үйрену үшін қажет нәрселер мыналар екенін түсіндік:

1. Тапсырмаларды біртіндеп күрделендіру: алдымен қарапайым тапсырмалардан бастап, содан кейін күрделірекке көшу, қағаздағы және компьютердегі модельдерді пайдалану.

2. Математика мен геометрияда нысандардың әртүрлі пішіндері мен олардың түрленулерін пайдалану және оларды нақты нысандармен салыстыру.

3. Кеңістіктік ойлау қалай дамып жатқанын мерзімді тексеру, оқыту әдістерінің тиімділігін бағалау және қажет болған жағдайда тестілеу арқылы оларды реттеу.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S., and Farran, E. K. - the developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children, 2019.
2. Howard Gardner -THE STRUCTURE OF THE MIND: THE THEORY OF MULTIPLE INTELLIGENCE: Translated from English - I.D. Williams LLC, 2007.- 512 page.
3. V.S. Abaturova, E.I. Smirnov, A.A. Yunusova, A.L. Zhokhov, A.A.Yunusov, D.K. Zhumadullayev. The technological constructs of mathematical training founding in higher education. News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Volume 1, Number 329 (2020), 14 – 22 p.
4. Carmel M. Diezmann & James J. Watters - CONTEMPORARY ISSUES IN EARLY CHILDHOOD, Volume 1, Number 3, Identifying and Supporting Spatial Intelligence in Young Children Queensland University of Technology, Kelvin Grove, Australia, 2000
5. Terentyeva Svetlana Viktorovna, Master's thesis - THE DEVELOPMENT OF SPATIAL THINKING IN TEACHING MATHEMATICS Yekaterinburg, 2020.

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

İRZAYEV VÜSAL CƏLAL OĞLU [AZƏRBAYCAN] SUYUN TƏMİZLƏNMƏSİNİN FİZİKİ-KİMYƏVİ ÜSULLARI.....3

**ЮРОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ, ПОРТНО ВАСИЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ [КАРАГАНДА, КАЗАХСТАН],
ЖАНГОЗИН КАНАТ НАКОШЕВИЧ [АСТАНА, КАЗАХСТАН] ПОРОГ ЭМИССИИ ИЗ НЕКОТОРЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ.....10**

**БАҚТЫҒАЛИЕВА АҚЖҮНІС [АҚТӨБЕ, ҚАЗАҚСТАН] СУПЕРПОЛИМЕРЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ
НАНОТЕХНОЛОГИЯДАҒЫ ҚОЛДАНЫЛУЫ.....20**

**БЕКЕНОВА ГҮЛСЕЗІМ ҚАЙЫРБЕКҚЫЗЫ, ҚАЗЫТАЙ ЖАНЕРКЕ АНВАРҚЫЗЫ, ТӨЛЕУБАЙ
ДІЛНАЗ ӘСКЕРБЕКҚЫЗЫ [КАРАГАНДА, КАЗАХСТАН] РОЛЬ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГЛОБАЛЬНУЮ НАУКУ.....23**

**НАЗАРОВА ДИНА ТАЛАСҚЫЗЫ, МАЙБАЗАРОВА БАХЫТКУЛЬ ДЖАНАТБЕКОВНА [АЛМАТЫ,
ҚАЗАҚСТАН] МАТЕМАТИКА САБАҚТАРЫНДА КЕҢІСТІКТІК ОЙЛАУДЫ ДАМУДАҒЫ
ҚАЖЕТТІЛІК ПЕН ШЕШІМДЕР.....30**

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE



Контакт



irc-els@mail.ru

Наш сайт



irc-els.com