

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»**

**PROCEEDINGS
of the XX International Scientific Conference
for students and young scholars
«ҒҮЛЫМ ЖАҢЕ БІЛІМ - 2025»**

**2025
Астана**

УДК 001(06)
ББК 72я631
F96

**«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2025» студенттер мен жас ғалымдардың
XX Халықаралық ғылыми конференциясы = XX Международная
научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE
BILIM – 2025» = The XX International Scientific Conference for
students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2025». – Астана:
– 3813 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

ISBN 978-601-08-5373-7

**Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас
ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті
мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.**

**The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young
researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities. В сборник
вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по
актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.**

УДК 001(06)
ББК 72я431
F96

ISBN 978-601-08-5373-7

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2025

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР.....	1
ПОДСЕКЦИЯ 1. ЯДРОЛЫҚ ЖӘНЕ МЕДИЦИНАЛЫҚ ФИЗИКАНЫҢ НЕГІЗГІ АСПЕКТІЛЕРІ.....	1
ПОЗИТРОНДЫЭМИССИЯЛЫҚ ТОМОГРАФИЯ ӘДІСІМЕН ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР ЖҮРГІЗУ КЕЗІНДЕ ПАЦИЕНТТЕРДІ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚОРҒАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	1
USE OF LUTETIUM-177 AND ACTINIUM-225 IN THE TARGETED THERAPY OF TUMORS AND BONE METASTASES.....	4
ХИТОЗАН МЕН ГРАФЕН ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕ ИКЕМДІ БИОҮЙЛЕСІМДІ ГЕЛЬ-ПОЛИМЕР ЭЛЕКТРОЛИТТЕРІН ЖАСАУ.....	8
$^{15}\text{N} + ^{16}\text{O}$ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ПРОТОННЫҢ СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ АМПЛИТУДАСЫН ЗЕРТТЕУ.....	12
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ПЭТ/КТ С 68GA-PSMA-11 ЗА СЧЁТ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ.....	14
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЗУБНЫМИ ПРОТЕЗАМИ НА АППАРАТЕ ТОМОТЕРАПИИ.....	20
СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ “DELTA4 PHANTOM+” И “GAFCHROMIC EBТ3” В ТОМОТЕРАПИИ.....	23
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ МУЛЬТИФАЗНОЙ КТ-АНГИОГРАФИИ.....	26
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ МЕТАЦИРКОНАТА ЛИТИЯ ПУТЕМ ДОПИРОВАНИЯ ОКСИДОМ МАГНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ.....	28
РАДИОНУКЛИДНАЯ ТЕРАПИЯ В ОНКОЛОГИИ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАКА.....	31
КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ: МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	34
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ БАЛЛА X8.7 ПРОИЗОШЕДШЕЙ 14 МАЯ 2024 НА СЧЕТ НАЗЕМНЫХ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ.....	39
ЯДРОЛЫҚ МЕДИЦИНАДА ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУ КӨЗДЕРІНЕН ЖЕКЕ ҚОРҒАНЫС РЕТІНДЕ РЕНТГЕНДІК ҚОРҒАНЫС ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	42
СРАВНЕНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ПАЦИЕНТОВ И СОТРУДНИКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАДИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ.....	45
ПРОБЛЕМЫ РАДОНОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА	
48	

ЯДРОЛЫҚ ТРЕК ДЕТЕКТОРЛАРЫН РАДОН ӨЛШЕУДЕ ҚОЛДАНУ.....	54
ОРТАЛЫҚ МЫҢҚҰДЫҚ КЕН ОРНЫНДА ЖЕРАСТЫ ҰҢҒЫМАЛЫҚ ШАЙМАЛАУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ УРАН ҚОРЛАРЫН ЕСЕПТЕУДІҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ.....	58
РАДИАЦИЯЛЫҚ ТЕРАПИЯНЫ ЖОСПАРЛАУ ҮШІН ПОЗИТРОНДЫ ЭМИССИЯЛЫҚ ТОМОГРАФИЯ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК ТОМОГРАФИЯНЫҢ (ПЭТ/КТ) РӨЛІ: ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ.....	61
ПОДСЕКЦИЯ 2. НАНОМАТЕРИАЛДАР МЕН НАНОТЕХНОЛОГИЯЛАРДАҒЫ ОЗЫҚ ЖАҒАЛЫҚТАР.....	64
ФОТОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	64
МЕХАНИЗМ СВЕЧЕНИЯ В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ Lu_2SiO_5 ЛЕГИРОВАННОГО ЦЕРИЕМ.....	68
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОДОБАВОК НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ.....	73
СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИОНОВ МЕДИ(II) ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ САХАРОЗЫ.....	77
"ГАЛЛИЙ ОКСИДІНІҢ НАНОҚҰРЫЛЫМДАРЫ: БОЛАШАҚТЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНА АРНАЛҒАН ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР".....	81
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ.....	86
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛА CuGaS_2 ЛЕГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ: РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОКОНВЕРСИИ.....	92
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛЕ Na_2SO_4	96
СИНТЕЗ Cu@PS И Cu/CuO@PS КОМПОЗИТНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РОКСИТРОМИЦИНА.....	99
ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОИЗОТОПА СВИНЦА В ВОЗДУХЕ В ГОРОДЕ СТЕПНОГОРСК.....	109
БИОЫДЫРАЙТЫН ПОЛИМЕРЛЕР ЖӘНЕ ПОЛИКАРБОНАТТЫ ҚАЛДЫҚТАР НЕГІЗІНДЕ КӨПФУНКЦИЯЛЫ НАНОКОМПОЗИТТІ МАТЕРИАЛДАРДЫ ӘЗІРЛЕУ	112
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОМОРФОЛОГИИ ПЕРОВСКИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	117

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИЙ В ХМGO-(1-X)LI2ZRO3 КЕРАМИКАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ДОПАНТА И УСЛОВИЙ СИНТЕЗА.....	120
MN ₂ COX (X = AL, SB, SN) ГЕЙСЛЕР ҚОРЫТПАСЫНЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ.....	121
УРАН (VI) ИОНДАРЫНА ҚАТЫСТЫ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	124
ПОДСЕКЦИЯ 3. ҒАРЫШТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ИНЖЕНЕРИЯДАҒЫ ҚАЗІРГІ ҚИЫНДЫҚТАР.....	127
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОРБИТЕ.....	127
КОХТЫҢ ШАҒЫН ӨЛШЕМДІ ДИПОЛЬДІ ФРАКТАЛДЫҚ АНТЕННАСЫНЫҢ БІРІНШІ ИТЕРАЦИЯСЫ ДИЗАЙНЫ.....	136
ОЦЕНКА РИСКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СТОЛКНОВЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА KAZEOSAT-1 С КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ ПРОИЗВЕДЕНИЕ ЗАПЛАНИРОВАННОГО СПУСКА С РАБОЧЕЙ ОРБИТЫ В КОНЦЕ СРОКА СЛУЖБЫ.....	142
АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ПРИ ВХОДЕ В АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ.....	146
КҮН РАДИАЦИЯСЫНЫҢ ӨСЕРІНЕ ҰШЫРАҒАН ҚОЗҒАЛАТЫН ҒАРЫШ АППАРАТЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТЕРМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	150
ТОПТЫҚ БАСҚАРУДА ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ АРҚЫЛЫ ЖЕРГІЛІКТІ РАДИОБАЙЛАНЫС АРНАСЫНЫҢ ҚОРҒАУ ӘДІСТЕРІ.....	160
АСТАНА ҚАЛАСЫНДАҒЫ ҚОҚЫС ПОЛИГОНЫНЫҢ АУМАҚТЫҚ ӨЗГЕРІСІН СПУТНИКТІК МОНИТОРИНГ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ (2019-2024 ЖЖ.).....	166
ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫН БАСҚАРУДА ДЫБЫСТЫҚ КОМАНДАЛАРДЫ БЕРУДІ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЛІК ЖҮЙЕДЕ ІСКЕ АСЫРУ.....	169
ЖЕЛЕЗИНКА АУДАНЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ ЖЕР СЕРІКТІК МОНИТОРИНГІ.....	175
АСТАНА ҚАЛАСЫНДАҒЫ КІШІ ТАЛДЫКӨЛ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ЖОЙЫЛУ ҚАУПІН СПУТНИКТІК МОНИТОРИНГПЕН ЗЕРТТЕУ.....	179
АСПЕКТЫ МЕХАНИЗМА РАБОТЫ ПИД-РЕГУЛЯТОРА.....	183
АТЫРАУ ОБЛЫСЫНЫҢ ҚҰЛСАРЫ ҚАЛАСЫНДАҒЫ СУ ТАСҚЫНЫ: ҒАРЫШТЫҚ МОНИТОРИНГ, ТАЛДДАУ ЖӘНЕ САЛДАРЫ.....	187
СЕМЕЙ ЯДРОЛЫҚ ПОЛИГОНЫ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ӨСЕРІН ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНТТАУ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ.....	189
ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕЛЕРДІҢ ВАРИАЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ "КОВЕР/АСТАНА" ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ.....	193
КҮН ҒАРЫШТЫҚ СӘУЛЕЛЕРІНІҢ ЖЕРДІҢ МАГНИТТІК ӨРІСІНДЕГІ ҚОЗҒАЛЫСЫ.....	196

ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ ЯЧЕЕК ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В ЭНЕРГЕТИКЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	199
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОТКАЗОВ.....	204
ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ И ПАТЕНТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИВЯЗНОГО АЭРОСТАТА	209
СЫРДАРΙΑ ӨЗЕНІНІҢ 2017–2024 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДА ТАЯЗДАНУЫН SENTINEL-2 СПУТНИКТИК СУРЕТТЕРІ БОЙЫНША ТАЛДАУ.....	213
ӨЗАРА АЛМАСТЫРЫЛУ ТАЛАПТАРЫНА САЙ ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ МОДУЛЬДІК ПЛАТФОРМАСЫНЫҢ САД ҮЛГІСІН ЖОБАЛАУ.....	216
ПОДСЕКЦИЯ 4. ЖАЛПЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКАНЫҢ ІРГЕЛІ СҰРАҚТАРЫ.....	220
АНИЗОТРОПТЫ КОМПАКТТЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНДАҒЫ ҚАРАПАЙЫМ МОДЕЛІ.....	220
БЕЗДИСПЕРСИОННЫЙ ПРЕДЕЛ ИНТЕГРИРУЕМОГО.....	224
$f(Q, T)$ ГРАВИТАЦИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ ҒАРЫШТЫҚ КЕҢЕЮДІ ЗЕРТТЕУ.....	226
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ЗАМАНАУЫ КОСМОЛОГИЯДА ҚОЛДАНУ МЫСАЛДАРЫ.....	229
КОСМОЛОГИЯДАҒЫ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТЕОРИЯНЫҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	234
БАСТАПҚЫ ҚАРА ҚҰРДЫМДАРДЫҢ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ КӨРІНІСТЕРІ.....	236
ТҰТҚЫР СҰЙЫҚТЫҚТАР ЖӘНЕ ГАУСС-БОННЕ МОДИФИКАЦИЯЛАҒАН ГРАВИТАЦИЯ.....	239
M87 АСА АУЫР ҚАРА ҚҰРДЫМЫНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІ	242
$f(T)$ ГРАВИТАЦИЯДА МАТЕРИЯ ТЫҒЫЗДЫҚ ҰЙЫТҚУЫНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ	245
КВИНТЭССЕНЦИЯЛЫҚ ИНФЛЯЦИЯДАҒЫ КУРВАТОННЫҢ РӨЛІ.....	249
ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ ЗЕРТТЕУ.....	256
АВОГАДРО ТҰРАҚТЫСЫ: МИКРОДҰНИЕНІҢ НЕГІЗІ.....	258
РАДОННЫҢ ПЕРОРАЛЬДЫҚ ЖӘНЕ ИНГАЛЯЦИЯЛЫҚ ЖОЛДАРМЕН ТҮСУІ КЕЗІНДЕГІ БИОКИНЕТИКАЛЫҚ МОДЕЛІН ЗЕРТТЕУ.....	263
КҮҢГІРТ ЭНЕРГИЯНЫҢ КАНОНДЫҚ ЕМЕС МОДЕЛЬДЕРІНДЕГІ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ СИНГУЛЯРЛЫҚТАР.....	266
ВЕЙЛЬ ТИПТІ ГЕОМЕТРИЯДАҒЫ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТЕОРИЯНЫҢ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ.....	269
ГРАВИТАЦИЯСЫ ШЕҢБЕРІНДЕ БІРТЕКТІ ЗАТТЫҢ КЕҢЕЮІ КЕЗІНДЕ АУЫТҚУЛАР.....	272
ДӘРЕЖЕЛІК КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ ЗЕРТТЕУ.....	276

ГАУССОВСКИЙ ПРОЦЕСС КАК ИНСТРУМЕНТ ВЫЯВЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ МОДЕЛИ ХОЛОДНОЙ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ.....	280
КВАДРАТТЫҚ ЭНЕРГИЯ-ИМПУЛЬС ГРАВИТАЦИЯ КОСМОЛОГИЯСЫ.....	284
ГРАВИТАЦИЯНЫҢ ЖАҢАРТЫЛҒАН ТЕОРИЯЛАРЫНДАҒЫ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ТҰРАҚСЫЗДЫҚ.....	287
АДАМ АҒЗАСЫНДА ЖӘНЕ АКТИВТИЛІГІН ТІКЕЛЕЙ АНЫҚТАУ.....	289
ҒАЛАМДАҒЫ МАТЕРИЯНЫҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫ:.....	293
КОСМОЛОГИЯДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ ЖӘНЕ ХОЖМАННЫҢ.....	297
K-ESSENCE МОДЕЛІНДЕГІ ҒАЛАМНЫҢ КЕҢЕЮ ДИНАМИКАСЫ.....	304
ГРАВИТАЦИЯНЫҢ ТЕОРИЯСЫНЫҢ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ ҚОЛДАНУЛАРЫ...	308
ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ.....	312
COMPARATIVE ANALYSIS OF FIELD EQUATIONS IN MODIFIED.....	315
SOLVING THE SCHRÖDINGER EQUATION IN PHYSICS AND MODELLING MOLECULAR STRUCTURES USING MATLAB.....	319
COMPARATIVE ANALYSIS OF COSMOLOGICAL SIMULATIONS: MILLENNIUM-II, ILLUSTRIS, AND CLUSTER-EAGLE.....	323
ПОДСЕКЦИЯ 5. КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ЭЛЕКТРОНИКАДАҒЫ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ БАҒЫТТАР.....	326
ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН.....	326
"ТИІМДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН «ІШКІ ҚАСИЕТТЕР» ЖЕЛІСІН АНЫҚТАУДЫҢ ЖАЛПЫ МІНДЕТІ".....	328
ҚАШЫҚТЫҚТАН БАСҚАРУ ЖӘНЕ БАҚЫЛАУ ҚАБІЛЕТІНЕ ИЕ LORA МОДУЛІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ІОТ ҚҰРЫЛҒЫСЫ ҮШІН РСВ ЖОБАЛАУ.....	332
ҰЯЛЫ БАЙЛАНЫС САПАСЫН ЖАҚСARTУ.....	337
ARDUINO ПЛАТФОРМАСЫНДА WEB-ҚОСЫМШАМЕН БІРІКТІРІЛГЕН, АҚЫЛДЫ ҮЙ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ.....	340
«LORAWAN: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ».....	345
ҚАБЫЛДАҒЫШ АНТЕННАЛАРДЫҢ ЖҰМЫС ПРИНЦИПТЕРІ МЕН ТЕХНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ШОЛУ.....	348
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ІОТ.....	351
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ МОСТОВ В КАЗАХСТАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ІОТ.....	355
БАЙЛАНЫССЫЗ ЖЕЛІЛЕР ҮШІН РАДИОЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ЖОБАЛАУДАҒЫ ИННОВАЦИЯЛАР.....	359
МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА).....	363

«LORAWAN: ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (ИОТ)».....	366
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТИ 4G РАЙОНА «КУЛЕНОВКА» В Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСК.....	371
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ: ТЕПЛОВИЗОРЫ, ДРОНЫ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ.....	375
ТИІМДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН ТОРДЫҢ "ІШКІ ҚАСИЕТТЕРІН" АНЫҚТАУДЫҢ ЖАЛПЫ МІНДЕТІ.....	378
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА.....	383
ИНТЕГРАЦИЯ СЕТЕЙ 5G В ЭКОСИСТЕМУ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ ДЛЯ КАЗАХСТАНА.....	388
ОСОБЕННОСТИ СИНХРОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФОТОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....	394
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДЪЕМА УГЛЯ В ШАХТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК....	397
ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ.....	401
ҚАЗАҚСТАНДА GPS КӨЛІК МОНИТОРИНГІ ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ.....	403
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	406
БИОМЕТРИЯЛЫҚ САУСАҚ ІЗІ ӘДІСІН ҚОЛДАНА ОТЫРП, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕ СӘЙКЕСТЕНДІРУ АЛГОРИТМІН ҚҰРУ.....	411
СЫМСЫЗ WI-FI ЖЕЛІЛЕРІН ҚАЗІРГІ ШИФРЛЕУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ СЫРТҚЫ ШАБУЫЛДАН ҚОРҒАУ БАҒЫТТАРЫ.....	413
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИОТ НА БАЗЕ STM МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С МОДУЛЕМ LORA.....	416
УМНЫЕ СВЕТОФОРЫ: ИНТЕГРАЦИЯ ИОТ И ИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ.....	420
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	426
РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИОТ УСТРОЙСТВА С ФУНКЦИЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА.....	430
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SHINOVICSTV И TELEGRAM-ОПОВЕЩЕНИЙ.....	435
ГРАФЕНДІ ИНТЕГРАЛДЫ СХЕМАЛАРДА ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ..	440
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА 4G В БАЙКОНЬРСКОМ РАЙОНЕ Г. АСТАНА.....	444
ТЕХНОЛОГИЯ GRON: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ.....	448

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ: ОТ КООКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ ДО ОПТОВОЛОКОННЫХ СЕТЕЙ.....	452
АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНА АРНАЛҒАН ESP32 НЕГІЗІНДЕГІ АҚЫЛДЫ МЕТЕОСТАНЦИЯ.....	455
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ С УСИЛЕННОЙ ЗАЩИТОЙ ОТ ПОМЕХ.	460
СИНТЕЗ МЕМРИСТОРНЫХ ЯЧЕЕК НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ..	464
ЭВОЛЮЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ: ОТ ДРЕВНИХ МЕТОДОВ К СОВРЕМЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ.....	469
РАДИОЭЛЕКТРОНДЫҚ АППАРАТТАРДЫ СЫРТҚЫ ӘСЕРЛЕР МЕН КЕДЕРГІЛЕРДЕН ҚОРҒАУ ӘДІСТЕРІ.....	472
BLE ЖӘНЕ LORAWAN ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ШАХТАЛАРДА ҚОЛДАНУ: ҚАУІПСІЗДІК ПЕН ӨНІМДІЛІКТІ ЖАҚСARTУ.....	477
ОБЩАЯ ЗАДАЧА ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ "ВНУТРЕННИХ СВОЙСТВ" СЕТКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ.....	482
РАЗРАБОТКА АНТЕННЫ С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ДЛЯ RFID – СИСТЕМЫ	487
ПЕРЕДАЧА МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДАННЫХ ПО СЕТИ 5G.....	492
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧИТЫВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НИКОЛСОНА-РОССА-УОТЕРА.....	495
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ.....	500
ZAVVIХ ПЛАТФОРМАСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН ЖЕЛІНІ БАҚЫЛАУ ӘДІСТЕМЕСІ: ІСТЕН ШЫҒУ УАҚЫТЫН АЗАЙТУ.....	502
ПОДСЕКЦИЯ 6. ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА.....	507
СОЗДАНИЕ НАНОСТРУКТУР ОКСИДА МЕДИ НА ПОДЛОЖКЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ.....	507
ӘРТҮРЛІ ТЕМПЕРАТУРАДА ӨСІРІЛГЕН CDSE НАНОПЛАСТИНКАЛАРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	510
КРЕМНИЙ ДИОКСИДІНДЕГІ МЫС СЕЛЕНИДІ НАНОМАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ.....	513
CDTE НАНОПЛАСТИНАЛАРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ПРЕКУРСОР КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	517
КОРРОЗИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ: ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПРОБЛЕМОЙ.....	522
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ЦИНКА В ТРЕКОВОМ ШАБЛОНЕ SiO ₂ /Si.....	527
КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ БЕТІНДЕ ZNO ЖҰҚА ҚАБЫҚШАСЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ	530
КЕРІ ЖӘНЕ ТОЛЫҚ ГЕЙСЛЕР ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	532

CDTE НАНОПЛАСТИНАЛАРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ КВАНТТЫҚ-ӨЛШЕМДІ ЭФФЕКТІНІҢ ӘСЕРІ.....	535
IN-SITU СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН CDTE НАНОПЛАСТИНДЕРІН СИНТЕЗДЕУ БАРЫСЫНДА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯНЫҢ ҰЗАҚ МОНИТОРИНГІ. .	538
ЖАРЫҚДИОДТЫ ЖАРЫҚТАНДЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН $(\text{SRCA})_2\text{SiN}_8:\text{Eu}$ ЖӘНЕ $\text{YAG}:\text{Ce}$ НЕГІЗІНДЕГІ ЛЮМИНОФОРЛАРДЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....	543
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТҰРАҚТЫ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ БОЛАШАҒЫ: БАЛАМАЛЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	548
СИНТЕЗ И СЭРС-ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДНЫХ МИКРОТРУБОК ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ.....	551
ФУКО ТОГЫ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ЕСЕПТЕУЛЕРІ.....	555
МЫРЫШ ТЕЛЛУРИДІ НАНОКРИСТАЛДАРЫНЫҢ ТЕМПЛЭЙТТІ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫ.....	558
КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ НОВЫХ ГОМО- И ГЕТЕРОЛЕПТИЧЕСКИХ ШЕСТИКООРДИНАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ КРЕМНИЯ.....	561
ПОДСЕКЦИЯ 7. ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДАҒЫ ТӘСІЛДЕР МЕН ЖАҢАЛЫҚТАР..	568
ЖАЛПЫ БІЛІМ БЕРЕТІН МЕКТЕПТЕРДЕ ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ИНТЕРАКТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ.....	568
МОДУЛЬДІК ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ НЕГІЗІНДЕ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ДАҒДЫЛАРЫН ДАМЫТУ.....	572
ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ АЯСЫНДА ФИЗИКА МЕН БИОЛОГИЯ ПӘНДЕРІНІҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫ.....	576
ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ИНКЛЮЗИВТІ ФИЗИКА САБАҚТАРЫН ҰЙЫМДАСТЫРУ.....	581
ФИЗИКА САБАҒЫНДА МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІЛІМДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ПӘНАРАЛЫҚ БАЙЛАНЫСТЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ ЖОЛДАРЫ.....	586
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИИ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	589
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ БІЛІМ БЕРУ: ОҚЫТУДЫҢ БОЛАШАҒЫ.....	594
ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ ФИЗИКОВ.....	597
ТАБИҒАТТАҒЫ ФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІ ФИЗИКА САБАҒЫНДА ИНТЕГРАЦИЯЛАУ.....	602
ИНКЛЮЗИВТІ БІЛІМ БЕРУДЕ ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДЫҢ ИНТЕРАКТИВТІ ӘДІСТЕРІ.....	606
ОБНОВЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СВЕТЕ НОВЫХ ОТКРЫТИЙ.....	610

«ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ» ТАРАУЫ БОЙЫНША ОҚУ НӘТИЖЕЛЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУШЫ БАҒАЛАУДЫҢ ЖӘНЕ ТАПСЫРМАЛАР ЖҮЙЕСІН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ӘДІСТЕРІ.....	615
РУТНОН КОДТАУЫ НЕГІЗІНДЕ ФИЗИКАЛЫҚ ПРЕФИКСТЕРДІ, ТРИГОНОМЕТРИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯЛАРДЫ ЖӘНЕ ТҮБІРЛЕРДІ ЕСЕПТЕУГЕ АРНАЛҒАН КӨПФУНКЦИОНАЛДЫ КАЛЬКУЛЯТОРДЫ ӘЗІРЛЕУ	619
ФИЗИКА САБАҚТАРЫНДА ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТТЕР АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ШЫҒАРМАШЫЛЫҚ ҚАБІЛЕТТЕРІН ДАМЫТУ....	624
ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ҚАБІЛЕТТЕРІН ҮЙДЕГІ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ТАПСЫРМАЛАР НЕГІЗІНДЕ ДАМЫТУ.....	628
8-СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ «ЖАРЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРЫ» ТАРАУЫН ОҚУ БАРЫСЫНДА ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМЫТУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗІ.....	633
ФИЗИКА ЖӘНЕ ХИМИЯ ПӘНДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАП ОҚЫТУДЫҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ: ЗАМАНАУИ МЕКТЕП БАҒДАРЛАМАСЫНДАҒЫ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	638
НЕГІЗГІ МЕКТЕП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША БІЛІМІНДЕГІ ОЛҚЫЛЫҚТАРДЫ ДИАГНОСТИКАЛАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ.....	643
ФИЗИКАЛЫҚ ҰҒЫМДАРДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУДАҒЫ STEAM-БІЛІМ БЕРУДІҢ РӨЛІ.....	647
ФИЗИКА ПӘНІ МҰҒАЛІМІНІҢ 7-СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНА САБАҚ БЕРУ БАРЫСЫНДА ЭМОЦИОНАЛДЫҚ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ.....	651
КВАНТТЫҚ КӨРІНІСТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ ҚИЫНДЫҚТАРДЫ ЖЕҢУ: СЫРТҚЫ ФОТОЭФФЕКТІНІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	655
ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ИННОВАЦИЯЛЫҚ СТРАТЕГИЯ РЕТІНДЕ.....	661
РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ И БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ-ФИЗИКИ ЧЕРЕЗ ПОДХОД «ОБРАЗОВАНИЕ ЧЕРЕЗ НАУКУ».....	665
ОРТА МЕКТЕПТЕ ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ ҮРДІСІНДЕ ДАРЫНДЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ҚАБІЛЕТТЕРІН ДАМЫТУ.....	668
ОРТА БУЫН СЫНЫПТАРЫНДА ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ИНТЕРАКТИВТІ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ТАНЫМДЫҚ ҚЫЗЫҒУШЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ.....	673
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ.....	676
ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ.....	681
ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ИНТЕРАКТИВТІ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ.....	685
ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУ КЕЗІНДЕ ОРТА БУЫН ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ МОТИВАЦИЯСЫНА ГЕЙМИФИКАЦИЯНЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ.....	687

ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ 9-СЫНЫПТА МЕХАНИКАДАН КОНТЕКСТІК ТАПСЫРМАЛАР.....	690
КОНТЕКСТНОЕ ОБУЧЕНИЕ В РЕШЕНИИ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ УЧЕНИКОВ.....	694
НЕГІЗГІ МЕКТЕПТЕ ФИЗИКАНЫ ОҚЫТУДА ГЕЙМИФИКАЦИЯ.....	699
МЕКТЕП ФИЗИКА КУРСЫНДА ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ ТАНЫМЫН ЭССЕ АРҚЫЛЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	702
STEM-ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКИ.....	706
ЗАМАНАУИ БІЛІМ БЕРУДЕ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУДЫҢ МАҢЫЗЫ.....	711
ФИЗИКА ПӘНІН ОҚЫТУДА STEM ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ ӘДІСТЕМЕСІ	716
ФИЗИКА САБАҒЫНДА ИНТЕРАКТИВТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМА МЕН СЕНСОРЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ПРАКТИКАЛЫҚ ДАҒДЫЛАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	722
ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША БАЗАЛЫҚ БІЛІМДЕГІ ОЛҚЫЛЫҚТАРДЫ ЖОЮ ЖОЛДАРЫ: 10 СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫМЕН ЖЕКЕ ЖҰМЫС ТӘЖІРИБЕСІ.....	726
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ НЕУСПЕВАЮЩИХ УЧЕНИКОВ.....	731
METHODOLOGY OF METACOGNITIVE SKILLS DEVELOPMENT IN THE TEACHING PROCESS OF BASIC SCHOOL PHYSICS.....	734
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМДІ ГЕЙМИФИКАЦИЯ АРҚЫЛЫ ТҮСІНДІРУ: ОҚУ ПРОЦЕСІН ОЙЫН ФОРМАСЫНА КӨШІРУ.....	738
ФИЗИКА ПӘНІН ОҚЫТУДА ИНКЛЮЗИВТІ БІЛІМ БЕРУ ӘДІСІ.....	741
7 – СЫНЫП БОЙЫНША «ГИДРАВЛИКАЛЫҚ МАШИНА» ТАҚЫРЫБЫНА.....	745
SINQASE ОҚЫТУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ СЫНИ ОЙЛАУЫ МЕН ЗЕРТТЕУ ДАҒДЫЛАРЫН ДАМУ.....	749
ФИЗИКА ПӘНІН ОҚЫТУДА ПРОБЛЕМАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ.....	752
КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ 9 СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНА ФИЗИКАНЫ ТИІМДІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ.....	756
ОҚУ МОТИВАЦИЯСЫН АРТТЫРУ НЕГІЗІНДЕ ЭКСПЕРИМЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ «ТЕРБЕЛІСТЕР МЕН ТОЛҚЫНДАР» ТАРАУЫН ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ	760
9-СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНЫҢ КИНЕМАТИКА БОЙЫНША ОҚУ ЖЕТІСТІКТЕРІН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ТАПСЫРМАЛАР ЖҮЙЕСІ: ӘДІСТЕМЕЛІК ТӘСІЛДЕР МЕН ҚҰРАЛДАР.....	763
ФИЗИКА САБАҒЫНДА ЖАСАҒЫНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ҚҰРАЛДАРЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ДАҒДЫЛАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ	768

ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ШЫНДЫҚ (AR) ТЕХНОЛОГИЯСЫН ФИЗИКАНЫ ОҚУДА ПАЙДАЛАНУ.....	772
ФИЗИКАНЫ ОҚУ ПРОЦЕСІНДЕ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ТАНЫМДЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІН ДАМУҒА ЭКСПЕРИМЕНТТІК ТАПСЫРМАЛАРДЫҢ ӘСЕРІ.....	776
ФИЗИКА ЕСЕПТЕРІНІҢ БІЛІМ БЕРУДЕГІ МАҢЫЗЫ.....	780
ФИЗИКА САБАҚТАРЫНДА ДАРЫНДЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ҚАБІЛЕТТЕРІН ДАМУҒА ӘДІСТЕРІ.....	785
ФИЗИКА БОЙЫНША ҰЛТТЫҚ БІРЫҢҒАЙ ТЕСТІЛЕУГЕ АРНАЛҒАН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕКШІСІ.....	787
ОРТА БІЛІМ БЕРУДЕ ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	790
STEM АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЗЕРТТЕУШІЛІК ДАҒДЫЛАРЫН ДАМУҒА БОЛАШАҚ ФИЗИКА МҰҒАЛІМДЕРІН ДАЙЫНДАУ.....	795
ARDUINO ҚҰРЫЛҒЫСЫ АРҚЫЛЫ ФИЗИКА ПӘНІН ҚАТЫСТЫРЫП ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС ЖАСАУ.....	800
ВИРТУАЛДЫ ЗЕРТХАНАНЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКА САБАҚТАРЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ.....	804
ОРТА МЕКТЕПТЕ НАНОТЕХНОЛОГИЯ ҰҒЫМЫН ОҚЫТУДЫҢ ТИІМДІ ӘДІСТЕРІ.....	807

¶ ¶

Аталған жұмыстарда [6-8] $15N + 16O$ жүйесі үшін $E_{с.т.} = 10.3-20.6$ энергия диапазонында эксперименттік деректер келтірілген. Алайда теориялық талдау кезінде потенциал параметрлері бірмәнді анықталмады және олардың энергияға тәуелділігі жүйелі түрде зерттелмеді. Сонымен қатар, спектроскопиялық амплитудалар мәндері әртүрлі: [6] жұмысында $SA=0.95$, [7] жұмысында $SA=1.46$, ал [8] жұмысында $SA=2.45$. Осы кемшіліктерді ескере отырып, бұл жұмыста феноменологиялық және жартылай микроскопиялық тәсілдерді қолдана отырып, $15N + 16O$ жүйесі үшін потенциал параметрлерін нақтылау және олардың энергияға тәуелділігін зерттеу, сондай-ақ спектроскопиялық амплитудаларды қайта талдау мақсат етілді.

Бұл жұмыс $15N + 16O$ жүйесінің бұрыштық таралу деректеріне жан-жақты талдау ұсынады. Эксперименттерде энергия диапазоны $E_{с.т.} = 10.3-20.6$ МэВ аралығында болды, және үлкен бұрыштарда ($>130^\circ$) шашырау қималарының күрт өсуімен сипатталды. Бұл деректер серпімді шашырау потенциалдарының энергияға тәуелділігін және протонның серпімді ауысуын Кулон тосқауылынан сәл төмен энергиялардан бастап оның шамамен 1.5 есе мәніне дейінгі аралықта зерттеуге мүмкіндік береді. Осы мақсатта біз шашырау потенциалдарының әртүрлі түрлерін, яғни феноменологиялық және микроскопиялық формаларын қолдандық. $16O \rightarrow p + 15N$ конфигурациясы үшін серпімді протон ауысу амплитудасы DWBA (бұзылған толқындардың Борн апроксимациясы) есебі арқылы талдауға енгізілді. Алынған амплитудалар энергия мен оптикалық модель формасына тәуелсіз болып шықты және үлкен бұрыштардағы қималардың артуын жақсы сипаттады. Бұл амплитудалар спектроскопиялық амплитудаларға (SA) түрлендірілгенде, бұрынғы жеңіл ион реакцияларынан алынған нәтижелермен жақсы сәйкестікте болды.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. Князьков О.М. Теория ядерных реакций. Курс лекций. – СПбГУ, 1995- 1998.
2. Feshbach H.A., C.E. Porter, and V. F. Weisskopf Unified theory of Nuclear Reactions // Annals of Physics (N.Y.). - 1962. - Vol. 19.-P. 287-313.
3. Hodgson P.E. The Nuclear optical model // Reports on Progress in Physics. -1971. - Vol. 34. – P.765-819.
4. Князьков О.М. Теория ядерных реакций. Курс лекций. – СПбГУ, 1995- 1998.
5. Hamada Sh. et. al. Detailed study for $16O \rightarrow 12C + \alpha$ and $12C \rightarrow 11B + p$ spectroscopic factors//Int. J. Mod. Phys. E. 2014. Vol. 23, P. 1450061.
6. N. Burtebayev, S.B. Sakuta, A.K. Morzabayev, Zh. Kerimkulov, N. Amangeldi, Ye. Kok, B. Mauyey, A.A. Temerbayev, A.S. Aimaganbetov. Elastic scattering of $15N$ ions by $16O$ at the energy 11.59 MeV. // Acta Phys.Pol. B48, 495 (2017).
7. W.vonOertzen, H.G.Bohlen. Elastic transfer processes in heavy ion scattering.//Physics Reports (Section C of Physics Letters) 19, №1. (1975)1—61.
8. J.Sromicki, M.Hugi, J.Lang, R.Muller, E.Ungricht, L.Jarczyk, B.Kamys, A.Magiera, Z.Rudy, A.Stralkowski, B.Zebik. The Role of Particle Transfer in Large-Angle Scattering of $1p$ -Shell Nuclei. Nuclear Physics A406 (1983) 390-412.
9. Thompson I.J. Fresco 2.0 // Department of Physicalics, University of Surrey, England. – 2006.

УДК 616-073.75

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ПЭТ/КТ С 68GA-PSMA-11 ЗА СЧЁТ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

Баймуканова Асель Ермаковна

Asselya_07@bk.ru

Магистрант специальности «Медицинский физик» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Введение

Позитронно-эмиссионная томография с ^{68}Ga -PSMA-11 является высокочувствительным методом визуализации опухолевых очагов при раке предстательной железы, особенно эффективным для выявления малых поражений при биохимическом рецидиве. Для обеспечения достаточного качества изображений существуют стандартные рекомендации: ввод $\sim 1.8\text{--}2.2$ МБк/кг ^{68}Ga -PSMA-11 и время эмиссии $\sim 2\text{--}4$ мин на каждое положение детектора. Однако физические особенности радионуклида ^{68}Ga накладывают ограничения: его короткий период полураспада (~ 68 мин) и высокая энергия позитронов ($E_{\text{max}} \approx 1.90$ МэВ, средняя ~ 0.84 МэВ) приводят к большему пробегу позитронов и снижению предельного пространственного разрешения по сравнению, например, с ^{18}F . Кроме того, лишь $\sim 89\%$ распадов ^{68}Ga сопровождаются позитронным испусканием (остальные – электронным захватом), и имеется сопутствующее испускание гамма-кванта 1.077 МэВ ($\sim 3\%$ ветвление), что увеличивает фон случайных совпадений. В совокупности эти факторы могут ухудшать качество ПЭТ-изображений при ^{68}Ga по сравнению с ^{18}F .

Ограниченная производительность $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ -генераторов и быстрое распадение ^{68}Ga стимулируют поиск путей повышения эффективности ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -PSMA-11. Один из подходов – оптимизация методики сканирования и реконструкции данных с целью получения максимального качества изображения за минимально возможное время. Современные итеративные алгоритмы реконструкции, такие как OSEM (OrderedSubsetExpectationMaximization), позволяют учитывать физические эффекты и характеристики детектора. В частности, внедрение информации о времени пролёта (Time-of-Flight, TOF) и моделирование функции точечного распространения (PointSpreadFunction, PSF) в процесс реконструкции существенно улучшают параметры изображения. TOF-реконструкция повышает точность локализации событий и тем самым улучшает отношение сигнал/шум, особенно у пациентов большого размера, а PSF-моделирование компенсирует размытие, повышая резкость и однородность разрешения по полю обзора. Оптимизация параметров итеративной реконструкции (число итераций, степень сглаживания или регуляризации и пр.) имеет решающее значение для нахождения баланса между высоким разрешением и низким уровнем шума. Настоящая работа посвящена систематическому рассмотрению влияния этих факторов на качество визуализации при ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -PSMA-11, с упором на возможности улучшения изображения и сокращения времени сканирования без потери диагностической ценности.

Цель

Целью работы является повышение качества визуализации при ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -PSMA-11 путём оптимизации параметров реконструкции изображения. Необходимо изучить влияние итеративных алгоритмов (OSEM) с использованием технологий TOF и PSF, а также влияние числа итераций, регуляризации и связанных параметров на пространственное разрешение изображения и уровень шумов. Особое внимание уделяется зависимости отношения сигнал/шум (SNR) от времени сканирования и оценке возможности сокращения длительности ПЭТ-сканирования без ухудшения качества изображения. Предполагается, что результаты исследования позволят разработать рекомендации по настройке реконструкции для оптимизации клинических протоколов ^{68}Ga -PSMA-11 ПЭТ/КТ.

Методы

Для достижения поставленной цели проведено экспериментальное и вычислительное моделирование процесса ПЭТ/КТ-сканирования с ^{68}Ga -PSMA-11. На основе данных фантомных испытаний и ретроспективного анализа клинических сканов оценивалось качество изображений при различных настройках реконструкции. Применялись итеративные

алгоритмы OSEM в четырех конфигурациях: без дополнительных улучшений, с учётом TOF, с учётом PSF, а также с одновременным использованием TOF+PSF. Параметры реконструкции варьировались широким образом: число итераций изменялось от низких значений (обеспечивающих недополнительную сходимость) до высоких (приближающих решение к полному максимуму правдоподобия). Во всех случаях использовалось фиксированное число субитераций (subset) на итерацию согласно стандартному протоколу производителя. Дополнительно исследовано влияние пост-реконструкционного сглаживания Гауссовым фильтром (например, сигма ~ 2 мм vs ~ 4 мм) и размера вокселя (обычный ~ 3 – 4 мм vs уменьшенный ~ 1.65 мм) на итоговое пространственное разрешение и шум изображения.

Отдельно была апробирована реконструкция с BayesianPenalizedLikelihood (BPL, байесовский алгоритм с регуляризацией типа MAP) для оценки влияния регуляризации на качество изображения. В данном случае в реконструкции вводится параметр β – коэффициент штрафа, регулирующий баланс между гладкостью изображения и соответствием исходным данным. Были рассмотрены различные значения β в диапазоне, охватывающем мало- и сильно регуляризованные решения, с целью нахождения оптимума для радиофармпрепарата ^{68}Ga -PSMA-11.

Качество визуализации оценивалось по ряду количественных метрик. Пространственное разрешение измеряли как минимальный полный ширина на половине максимума (FWHM) точечного источника или мелкого сферического объекта в изображении, в центре и по периферии поля зрения. Уровень шумов определяли как процентное стандартное отклонение активности в однородной области фона (например, в регионе печени *in vivo* или в фоновой области фантома). Контрастно-шумовые характеристики оценивали с помощью коэффициента контраст/шум (contrast-to-noiseratio, CNR) для модельных очагов разного диаметра: рассчитывали отношение разности сигналов «очаг–фон» к шуму фона. Порогом достоверной видимости поражения.

Для исследования зависимости SNR от времени сканирования были выполнены серии реконструкций при различных фактических или симулированных длительностях сбора данных. В фантомных экспериментах ПЭТ-данные регистрировались в режиме list-mode в течение продолжительного времени (~ 10 мин), после чего из исходного списка событий извлекались укороченные фрагменты, соответствующие 30 с, 60 с, 90 с, 120 с и т.д. вплоть до 4–5 мин. Все такие укороченные наборы данных реконструировались с идентичными параметрами, и для каждого определялся SNR (например, как отношение средней активности в центре объекта к стандартному отклонению шума в фоне). Таким образом получена кривая SNR(время), которую сравнили с теоретической зависимостью $\sim \sqrt{t}$, ожидаемой для статистически ограниченных ПЭТ-изображений.

Результаты

Включение в реконструкцию информации о времени пролёта (TOF) и моделирования PSF существенно улучшило качество изображений. TOF-алгоритм дал прирост отношения сигнал/шум за счёт более точного позиционирования событий аннигиляции: согласно теоретическим оценкам, выигрыш SNR примерно равен $\sqrt{D/\Delta x}$, где D – эффективный диаметр объекта, а Δx – пространственная точность TOF локализации. Практически это означает, что у среднего пациента TOF-реконструкция эквивалентна увеличению эффективного числа совпадений в несколько раз, особенно заметно улучшая качество при большом телосложении. В то же время TOF сам по себе не повышает номинальное пространственное разрешение (определяемое размером детектора и разлетом позитронов, но даёт более гладкий, низкошумный фон. Добавление PSF-моделирования, напротив, непосредственно воздействует на чёткость изображения. По данным измерений на современном цифровом ПЭТ-сканере, использование PSF уменьшает системное пространственное разрешение (FWHM) с ~ 3.6 мм до ~ 2.9 , то есть $\sim 20\%$ выигрыш в резкости. Даже с учётом стандартного сглаживания, **клиническое** разрешение улучшалось \sim на 0.5 мм при включении PSF (например, 3.5 мм vs 4.0 мм FWHM при фильтре 2 мм). Более высокое пространственное разрешение повышает видимость мелких очагов: так, в фантоме 6.5-мм

сфера, едва различимая без PSF, становилась детектируемой при его учёте. Однако агрессивное восстановление резкости может приводить к артефакту Гиббса по краям горячих объектов – наблюдались небольшие «звонки» вокруг интенсивных сфер при реконструкции с PSF и минимальном сглаживании. Поэтому для стабильности изображений оптимально сочетание PSF с умеренной пост-фильтрацией (Gaussian ~2–4 мм), чтобы подавить возможные высокочастотные шумы и артефакты.

Число итераций реконструкции существенно влияло на соотношение контраста и шума. При увеличении итераций алгоритм OSEM сходится к максимально вероятностному решению, что приводит к росту контрастности мелких очагов (улучшается восстановление их истинной активности). Однако параллельно накапливается статистический шум, особенно в однородных областях. В проведённых экспериментах наблюдалось наличие оптимума: при относительно небольшом числе итераций достигается наилучший CNR для мелких объектов, тогда как дальнейшее увеличение итерационности приводило к снижению CNR из-за возрастания шумов. Например, для сфер диаметром ~6–10 мм максимальный CNR отмечен уже при 4 итерациях (в реконструкциях с TOF) и при ~10 итерациях (без TOF), тогда как 8 и 14 итераций соответственно давали более шумное изображение без существенного выигрыша в контрасте. Таким образом, без методов подавления шумов чрезмерное количество итераций нежелательно – на практике клинические реконструкции обычно ограничиваются ~2–4 итерациями (с ~8–15 подсетями), что эквивалентно ~20–60 итерациям полного максимизации правдоподобия.

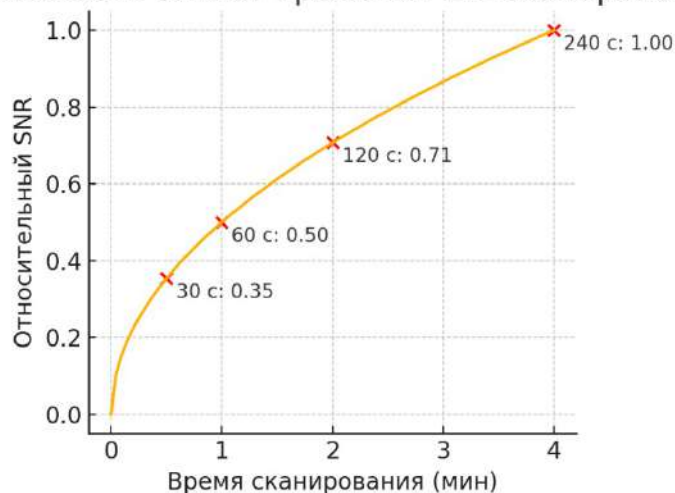
Регуляризация позволила смягчить компромисс между разрешением и шумом. Применение BPL (пенализованной реконструкции с априорной гладкостью) показало, что при правильном выборе коэффициента β можно получить изображения с высоким контрастом и низким шумом, эквивалентные по детализации более высоким числам итераций OSEM, но без всплеска шумов (). Например, использование коммерческой реализации BPL (алгоритм Q.Clear) для ^{68}Ga -PSMA-11 позволило увеличить оценочно эффективное число итераций в несколько раз, при этом оптимальный диапазон $\beta=600\text{--}800$ дал наилучшее сочетание контрастного восстановления и однородности фона (). По сравнению со стандартным OSEM+TOF+PSF, регуляризованная реконструкция с $\beta\sim 600\text{--}800$ продемонстрировала более высокое качество изображения (более высокая SUV контрастность очагов при сопоставимом уровне шума) (). Эти результаты подтверждают, что методики регуляризации могут эффективно ограничивать шум при увеличении итерационности, позволяя реализовать преимущество полного использования собранных данных.

Помимо алгоритмов реконструкции, важную роль сыграли параметры фильтрации и дискретизации изображения. Увеличение степени сглаживания (например, с $\sigma=2$ мм до 4 мм Gaussian) приводило к заметному снижению шумов: процентное шумовое отклонение в фоне уменьшалось, и рост шумов при увеличении итераций замедлялся. Однако неизбежным следствием была некоторая потеря разрешения – согласно измерениям, FWHM возрастал примерно на ~1.4 мм при переходе от мягкого (2 мм) к сильному сглаживанию (4 мм). Это выражается в том, что детализация мелких очагов сглаживается, хотя общая выявляемость крупных поражений остается высокой. Размер воксела также влияет на визуализацию: переход от стандартного размера $\sim 3.3 \times 3.3 \times 3$ мм³ к уменьшенному $\sim 1.65 \times 1.65 \times 2$ мм³ теоретически улучшает четкость границ. Мы подтвердили, что при достаточном числе событий (длительном сканировании) мелкий воксел даёт незначительно более высокое системное разрешение. Однако при коротких временах сканирования (недостаточных статистиках) реконструкции с очень мелким вокселем и минимальным сглаживанием показали ухудшение показателей CNR – мелкомасштабный шум возрастает. В эксперименте для коротких экспозиций 30–90 с требовалось применять более сильное сглаживание при мелком вокселе, чтобы удовлетворить критерию детектируемости $\text{CNR} \geq 5$. Таким образом, практическая настройка должна учитывать взаимодействие между размером воксела и уровнем шумоподавления: более высокий диапазон частот (мелкий воксел, PSF) целесообразен только при соответствующем

контроле шума (через фильтр или регуляризацию) либо при достаточно длинном сборе данных.

Как и ожидалось, отношение сигнал/шум значительно зависело от времени сканирования. Наши наблюдения соответствовали теоретической корневой зависимости: при увеличении времени сбора данных SNR возрастает пропорционально \sqrt{t} (при прочих равных, например постоянной активности введения). Иными словами, чтобы вдвое повысить SNR, требуется примерно четырёхкратное удлинение времени сканирования (или эквивалентное повышение числа собранных событий).

Зависимость SNR от времени ПЭТ-сканирования



На приведённом графике иллюстрируется эта зависимость: сокращение времени сканирования с 4 мин до 1 мин приводит к снижению относительного SNR с ~ 1.0 до ~ 0.5 . Видно, что выигрыши SNR быстро уменьшаются при больших временах – кривая \sqrt{t} имеет затухающую форму. Для повышения SNR на 20–30% требуются непропорционально большие дополнительные интервалы сканирования. Это подчёркивает важность оптимизации реконструкции и использования всех доступных технологий (TOF, PSF и др.), позволяющих извлечь максимум информации из ограниченного числа событий, вместо бесконечного наращивания времени сканирования.

Несмотря на статистические ограничения, результаты показывают, что грамотно настроенная реконструкция может компенсировать уменьшение времени сканирования. Так, даже при сокращённых временах сбора были получены приемлемые по качеству изображения. Для фантома с мягкотканевыми сферическими очагами диаметром ~ 10 мм детектируемость ($CNR \geq 5$) сохранялась при времени сканирования всего 30–60 с на положение детектора при использовании алгоритма OSEM+TOF+PSF и оптимальных параметров сглаживания. В то же время без учёта TOF/PSF для достижения того же CNR требовалось более длительное сканирование. Самые мелкие симулированные очаги (~ 6 – 7 мм) оказались на грани разрешения: при стандартной TOF-OSEM реконструкции им требовалось не менее ~ 210 с (3.5 мин) накопления, тогда как с добавлением PSF тот же объект уверенно выявлялся уже при ~ 150 с. Это соответствует $\sim 30\%$ экономии времени для заданной задачи обнаружения мелкого очага за счёт использования улучшенного алгоритма реконструкции.

В клинических условиях была подтверждена возможность значимого сокращения времени сканирования без утраты диагностической ценности. При обследовании пациентов с помощью цифрового ПЭТ/КТ (с кремниевыми фотодетекторами) уменьшение суммарной длительности сканирования примерно в 3.5 раза (с ~ 16.7 мин до ~ 4.6 мин на всё тело) практически не сказалось на выявляемости поражений и точности количественной оценки. Все крупные и средние очаги были обнаружены даже при укороченном сканировании, суммарно правильно классифицировано 98% регионов (против 100% при стандартном времени). Средние отклонения показателей накопления (SUV_max/peak) не превышали ~ 6 – 9% , что лежит в пределах погрешности повторного сканирования. Уровень шумов в

изображениях, ожидаемо, был несколько выше при сокращенном времени: так, для реконструкций с 4 итерациями шум возрос с ~13% до ~21% при включении PSF (сравнивались полное и укороченное время), а для 2 итераций – с ~10% до ~15%. Тем не менее, этот рост шумов не помешал в большинстве случаев правильной интерпретации. Единственное заметное различие – самые маленькие поражения (<4 мм в диаметре) в сокращенном протоколе не визуализировались, из-за чего у 10% пациентов некоторые микрометастазы остались неотмеченными (приводя к снижению стадии N с 1 до 0 в 5% случаев). Данные результаты согласуются с ожиданиями: уменьшение числа собранных событий прежде всего сказывается на границах разрешающей способности системы. В целом же они демонстрируют, что при использовании нового поколения детекторов и оптимизированных алгоритмов реконструкции возможно **существенное сокращение времени сканирования или снижения введенной активности** без заметного ухудшения качества изображения. Это открывает пути к повышению эффективности клинической работы – например, увеличению пропускной способности ПЭТ/КТ отделений или снижению лучевой нагрузки на пациента – без компромисса с диагностической точностью.

Выводы

Оптимизация параметров реконструкции позволила значительно повысить качество визуализации ПЭТ/КТ с ^{68}Ga -PSMA-11. Итеративные алгоритмы с учетом TOF и PSF обеспечивают одновременно высокое пространственное разрешение и лучшее отношение сигнал/шум, что критически важно для обнаружения мелких метастатических очагов простатического рака. Показано, что правильный выбор числа итераций и уровня сглаживания (или регуляризации) позволяет достичь оптимального баланса между контрастностью изображения и уровнем шумов. Регуляризованные методы реконструкции (BPL) демонстрируют преимущество перед стандартным OSEM, позволяя приблизиться к полной реализации возможностей собранных данных без деградации из-за шума.

Совокупность принятых мер дает возможность **сократить время сканирования** либо снизить активность радиопрепарата **без потери качества**. Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что они непосредственно применимы для оптимизации клинических протоколов ^{68}Ga -PSMA-11 ПЭТ/КТ. Внедрение описанных подходов позволит каждому центру ядерной медицины адаптировать параметры реконструкции под свои задачи – например, уменьшить длительность исследования для повышения комфорта пациентов и пропускной способности, либо снизить дозу, сохранив при этом высокую чувствительность и точность диагностической визуализации. Таким образом, современные технологии реконструкции изображений в сочетании с учетом физических характеристик ^{68}Ga открывают новые возможности для улучшения качества ПЭТ/КТ визуализации и эффективного управления протоколами исследований.

Список литературы

1. Bailey D.L., Townsend D.W., Valk P.E., Maisey M.N. **Positron Emission Tomography: Basic Sciences**. – Springer-Verlag, London, 2005. – 382 p.
2. Cherry S.R., Sorenson J.A., Phelps M.E. **Physics in Nuclear Medicine**. – 4th ed. – Elsevier Saunders, Philadelphia, 2012. – 523 p.
3. Conti M. **State of the art and challenges of time-of-flight PET** // Phys Med. – 2009. – Vol. 25(1). – P. 1–11.
4. Surti S., Karp J.S. **Advances in time-of-flight PET imaging** // Phys Med. – 2016. – Vol. 32(1). – P. 12–22.
5. Rahmim A., Tang J., Lodge M.A. et al. **Resolution modeled PET image reconstruction incorporating space-variance of positron range: Rubidium-82 cardiac PET imaging** // Phys Med Biol. – 2008. – Vol. 53(20). – P. 5947–5961.
6. Afshar-Oromieh A., Haberkorn U., Eder M., Eisenhut M., Zechmann C.M. **[^{68}Ga]Gallium-labelled PSMA ligand as superior PET tracer for the diagnosis of prostate cancer:**

- comparison with 18F-FECH** // Eur J Nucl Med Mol Imaging. – 2012. – Vol. 39(6). – P. 1085–1086.
7. EANM procedure guidelines for PET/CT tumour imaging: version 2.0 // Eur J Nucl Med Mol Imaging. – 2015. – Vol. 42. – P. 328–354.
 8. Bettinardi V., Presotto L., Rapisarda E., Picchio M., Gianolli L., Gilardi M.C. **Physical performance of the new hybrid PET/CT Discovery-690** // Med Phys. – 2011. – Vol. 38(10). – P. 5394–5411.
 9. National Electrical Manufacturers Association. **NEMA Standards Publication NU 2-2018: Performance measurements of positron emission tomographs (PET)**. Rosslyn, VA, USA, 2018.
 10. Teoh E.J., McGowan D.R., Bradley K.M., Belcher E., Black E., Gleeson F.V. **Novel penalised likelihood reconstruction of PET in the assessment of histologically verified small pulmonary nodules** // EurRadiol. – 2016. – Vol. 26(2). – P. 576–584.



УДК 616-073.75

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЗУБНЫМИ ПРОТЕЗАМИ НА АППАРАТЕ ТОМОТЕРАПИИ.

Бисенгалиева Венера Саматовна

v.bissengaliyeva@gmail.com

Магистрант Международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – К.Ш. Жумадилов

С каждым годом увеличивается количество пациентов с несъемными зубными протезами, которым требуется проведение лучевой терапии. Расчет дозиметрического плана вызывает ряд трудностей, в случае если опухоль располагается рядом с зубами. Зубные протезы изготавливаются из материалов с высоким атомным номером, которые вызывают серьезные артефакты, такие как полосы и размытость на изображениях киловольтной компьютерной томографии. Эти артефакты препятствуют точному определению контуров и изменяют значения плотности изображения, необходимые для точного расчета дозы. Подбор оптимального метода визуализации для дозиметрического планирования способствует качественному проведению лучевой терапии и безопасности пациента, и является актуальной задачей.

Диагностическая визуализация в настоящее время выполняется с помощью аппаратов киловольтной компьютерной томографии. Киловольтные системы используют рентгеновские лучи с относительно низкой энергией (обычно в диапазоне 120-140 кВ), что делает их более чувствительными к металлическим артефактам. При данном диапазоне энергий фотонов преобладают фотоэлектрические и комптоновские взаимодействия с материалом, зависящие от его атомного номера (Z). Металлические артефакты на изображениях КТ возникают из-за значительной разницы в плотности между металлом и окружающими тканями. Металлические объекты поглощают рентгеновские лучи намного сильнее, чем ткани, что вызывает сильное искажение изображений.

В работе [3] было исследованы особенности и возможности такого метода визуализации как мегавольтный компьютерный томограф (MVCT), где была выявлена его способность