

XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ПРОБЛЕМАТИКЕ
УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПАМЯТИ

профессора В. П. Саранцева
15-20 сентября 2024, Алушта



Современные ядерно-физические исследования в радиационной медицине

профессор, д.ф.-м.н.,
зав. кафедрой ФУиРМ физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

Черняев Александр Петрович





Радиационные технологии в медицине В мире

Компьютерные
томографы

~ 93 773

Гамма-камеры
и ОФЭКТ

~ 27 180

ПЭТ сканеры

~ 5671

Установки
стереотаксической
радиохирургии

~ 809

Бор-нейтронзахватная
терапия

~ 33

Ускорители
электронов

~ 15 594

МРТ томографы

~ 51 498

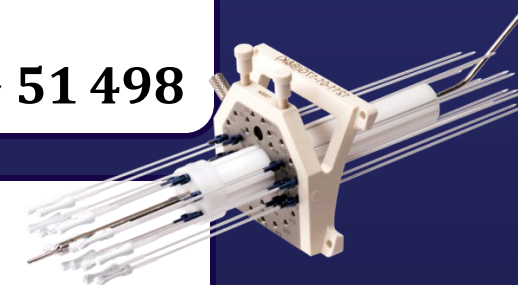
Оборудование для
брахитерапии

~ 3470

Центры протонной и
нейтронной терапии

~ 123

ВСЕГО:
~ 198 050





Радиационные технологии в медицине в России



Компьютерные
томографы ~ 2222
~ 93 773

Гамма-камеры
и ОФЭКТ ~ 220
~ 27 180

ПЭТ сканеры ~ 60
~ 5671

Установки
стереотаксической
радиохирургии ~ 17
~ 809

ВСЕГО:
~ 3985
~ 7000

Потребность

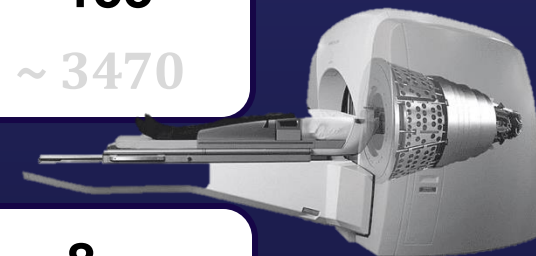
Бор-нейтронзахватная
терапия ~ 2
~ 33

Ускорители
электронов ~ 553
~ 15 494

МРТ томографы ~ 750
~ 51 498

Оборудование для
брахитерапии ~ 153
~ 3470

Центры протонной и
нейтронной терапии ~ 8
~ 123





Радиационные технологии в медицине

в странах СНГ

	Радиотерапевтические центры	Медицинские ускорители	Протонная и ионная терапия	Рентгенотерапия	Брахитерапия
Азербайджан	3	10	0	1	1
Белоруссия	13	31	0	11	17
Казахстан	24	48	0	19	19
Кыргызская республика	1	1	0	1	1
Россия	165	553	5	86	153
Таджикистан	2	2	0	0	1
Туркменистан	5	7	0	0	4
Узбекистан	16	19	0	4	9



Персонал в лучевой терапии в мире и в России

Медицинский физик – специалист с высшим образованием по направлениям подготовки, указанным в приказе Министерства здравоохранения Российской Федерации №206н от 02.05.2023.

ИМЕЕТСЯ
физико-технического
персонала

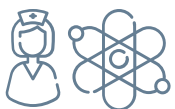
~ 900



Инженеры

~ 250

~ 1000



Мед.физики

~ 650

~ 2500



~ 900

Россия



~ 8000

Евросоюз



~ 9950

Америка



Медицинских физиков в России
в **9 раз** меньше, чем в Евросоюзе
в **11 раз** меньше, чем в США



НЕОБХОДИМО
физико-технического персонала

~ 3500



Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины Физического факультета МГУ

Образовательные программы кафедры ФУиРМ:

1. Программа специалитета и магистратуры (180 чел.)
2. Программа переподготовки – 530 часов (60 чел.)
3. Программы повышения квалификации (в т.ч. по ядерной медицине) – от 18 до 144 часов (80 чел.)

Медицинских физиков
подготовлено кафедрой с 1998
по 2024 г.

> 280

В профессии
осталось:

> 90

из 900 в России

Онкологические центры, в которых работают выпускники:

- МНИОИ имени П.А. Герцена
- НИИ нейрохирургии им. Н.Бурденко
- НМИЦ ДГОИ им. Д.Рогачева
- МКМЦ им. А.С. Логинова
- ФМБЦ имени А.И. Бурназяна
- НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина
- Московский областной онкодиспансер
- 57-ая городская больница
- Европейский Медицинский Центр (ЕМС)

Кафедра является основным разработчиком оценочных средств
для аккредитации медицинских физиков России



Образовательные программы

Название программы	Тип	Год разработки	Количество часов	Сколько человек прошло
«Физика радиационной медицины»	Повышение квалификации	2012	90	54
«Медицинская физика»	Переподготовка	2017	530	47
«Методы ядерной медицины»	Повышение квалификации	2022	72	28
«Программа-мастер класс по подготовки медицинских физиков»	Повышение квалификации	2022	30	40
«Медицинская физика. Планирование»	Повышение квалификации	2024	72	-
«Медицинская физика (Онлайн)»	Повышение квалификации	2024	144	-
«Радиационная обработка пищевых продуктов»	Повышение квалификации	2019	300	20



Программа повышения квалификации «Физика радиационной медицины»

Разработана в 2012 году:

физическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова
совместно с НИИЯФ МГУ имени Д.В. Скобельцына и
МНИОИ имени П.А. Герцена

Цель:

Повышение качества профессиональной подготовки специалистов, которые обеспечивают в медицине физико-математическое или техническое сопровождение методов лучевой диагностики и терапии

С октября 2012 г. по программе прошли обучение 54 специалиста из 17 регионов России, а также Казахстана

Форма обучения: дневная

Срок обучения: 3 недели



Медицинский ускоритель
«Elekta Synergy»



Все оборудование передано на безвозмездной основе компаниями Elekta и МСМ-Медимпекс



Программа профессиональной переподготовки «Медицинская физика»

**Разработана и впервые запущена в 2017 году:
физическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова**

Цель:

сформировать необходимые профессиональные компетенции для работы в качестве специалистов отделений лучевой терапии и центров ядерной медицины

ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММЕ ПРОШЛИ:

в 2017 г. — 18 физиков из Москвы, Московской области и Санкт-Петербурга

в 2019 г. — 4 физика из Москвы, Кирова и Рязани, **10 физиков** из Узбекистана

в 2021 г. — 10 физиков из Москвы, Новосибирска, Орска, Рязани, Калуги и Архангельска

в 2022 г. — 7 физиков из Дубны, Чувашии и Новосибирска

В 2023 г. – 8 физиков из Ульяновска, Ханты-Мансийска, Благовещенска, Донецка



Объем программы: 530 часов

Форма обучения: заочный с применением ДТ

Режим обучения: 30-36 часов в неделю

Срок обучения: 4-5 месяцев

В обновленной версии программы актуализированы темы лекций и зафиксировано чтение общих дисциплин с использованием дистанционного формата



Программа повышения квалификации «Методы ядерной медицины»

Разработана в 2022 году:

НИИЯФ МГУ имени Д.В. Скобельцына

совместно с химическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова

Цель:

совершенствование и приобретение дополнительных теоретических знаний и умений в области физики взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, медицинской физики, радиобиологии и ядерной медицине.

Категория слушателей (требования к слушателям) – специалисты с высшим образованием естественно-научного профиля. Прошло обучение 28 слушателей

Форма обучения: очно-заочная с использованием дистанционных образовательных технологий

Срок обучения: 72 часа





Программа-мастер класс по подготовки медицинских физиков совместный с ФРТТ центром

С момента запуска обучения прошли 4 группы медицинских физиков (более 40 человек)



«Фабрика радиотерапевтической техники», входящая в группу компаний «Р-Фарм»

Реализованная в
2022 год



При активном участии кафедры физики ускорителей и радиационной медицины на базе МГУ имени М.В. Ломоносова реализуется совместный с индустриальными партнерами проект по обучению медицинских физиков со всей России работе на системе планирования Eclipse Varian.



Программы повышения квалификации

1. «Медицинская физика. Планирование» - 72 часа (4 модуля по 18 часов каждый)

Возможно прохождение каждого модуля отдельно:

1. «Медицинская физика. ДЛТ»
2. «Медицинская физика. КЛТ»
3. «Медицинская физика. Дозиметрия»
4. «Медицинская физика. Гарантия качества»

Цель:

Освоение необходимых навыков для прохождения объективного структурированного клинического экзамена (ОСКЭ) для второго этапа первичной специализированной аккредитации специалистов направления «Медицинская физика» на основе типовых задач.

Для проверки практических навыков отечественные разработчики из компаний ООО «РТ 7» и ООО «Градиация» предоставили специально разработанные учебные модули на основе своего программного обеспечения, которое используется в настоящее время, в том числе в отделениях лучевой терапии.

Объем программ: от 18 до 72 часов

Форма обучения: дистанционный

Срок обучения: от 3 до 14 дней



Первичная специализированная аккредитация

С 2021 года кафедра физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ является разработчиком оценочных средств, которые с 2024 используются при проведении *первичной специализированной аккредитации* специалистов по должности «Медицинский физик».

Для проверки практических навыков отечественные разработчики из компаний **ООО «РТ 7»** и **ООО «Градиация»** предоставили специально разработанные учебные модули на основе своего программного обеспечения, которое используется в настоящее время, в том числе в отделениях лучевой терапии.

Физический факультет и факультет фундаментальной медицины МГУ



Совместно с методическим центром аккредитации специалистов Сеченовского университета



МЕТОДИЧЕСКИЙ
ЦЕНТР АККРЕДИТАЦИИ
СПЕЦИАЛИСТОВ

Структура аккредитации:

- 1 этап** - тестирование. 80 тестовых заданий из единой базы оценочных средств (2000 вопросов).
- 2 этап** - оценка 5 практических навыков (умений) в симулированных условиях.

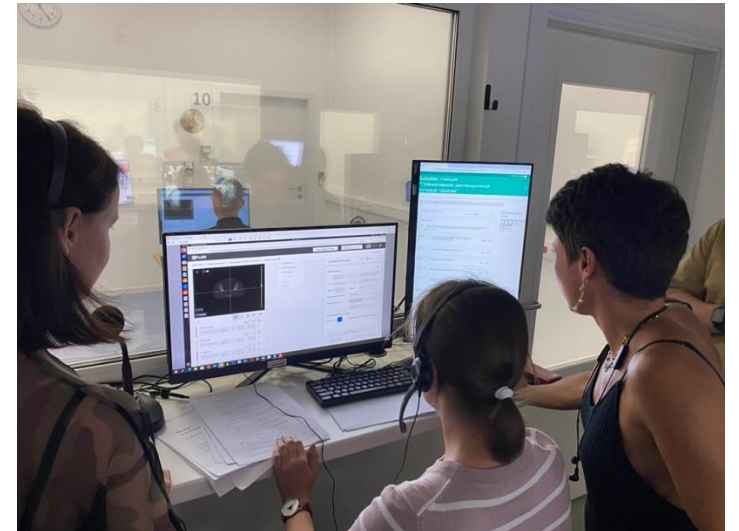


Первая в России аккредитация медицинских физиков

8–12 июля в Аккредитационном центре МГУ была проведена первая в России первичная специализированная аккредитация медицинских физиков.

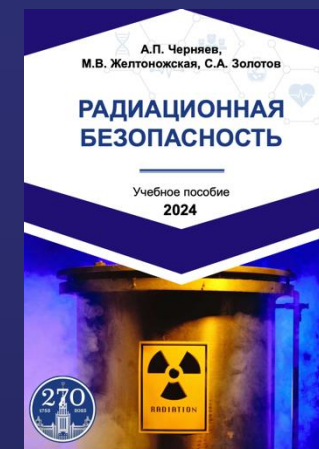
Такая процедура теперь будет проводиться регулярно и позволит выпускникам вузов и специалистам работать в должности «Медицинский физик».

Участники аккредитации из Томска, Тюмени и Москвы успешно прошли испытания и выразили благодарность организаторам, а также подчеркнули важность такого мероприятия для их профессионального роста.





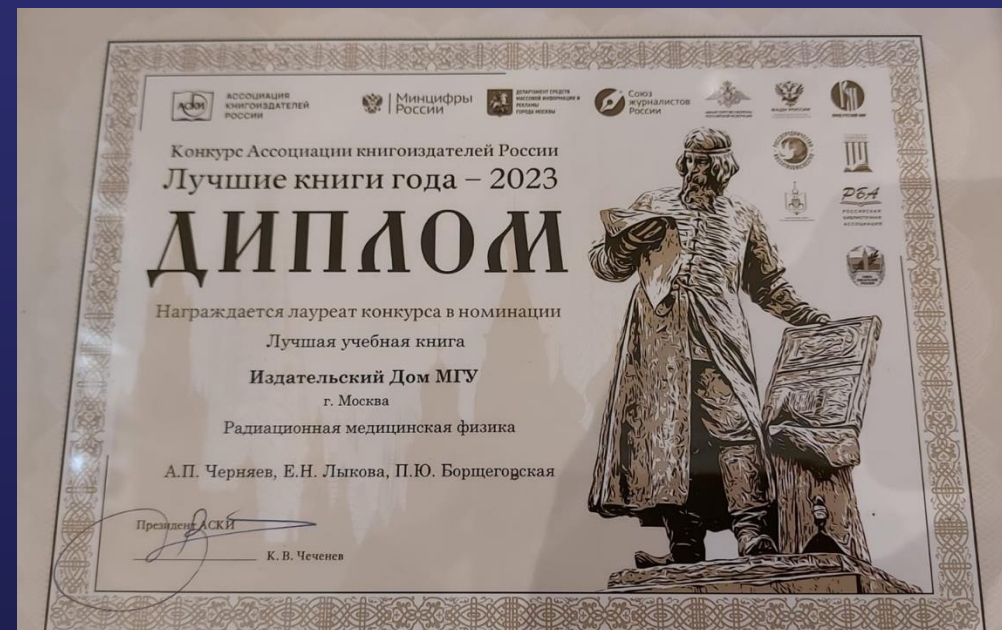
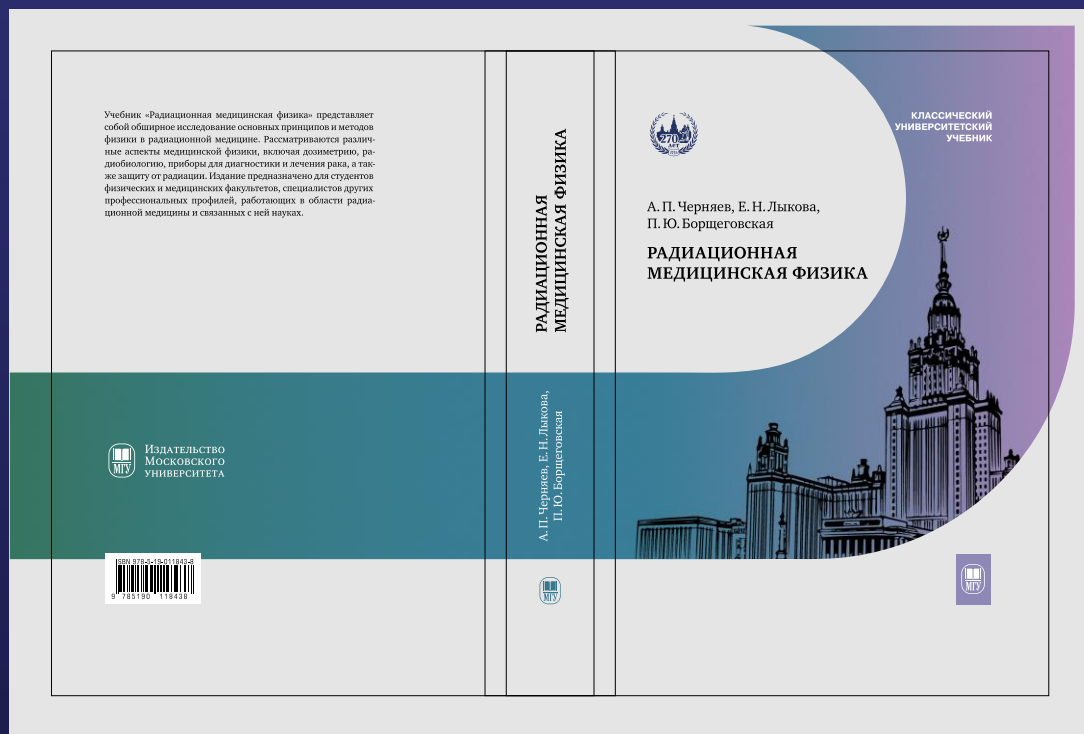
Библиотека медицинского физика





Учебная литература для магистерской программы и программ специалитета

Серия «Классический университетский учебник»
опубликованный к 270-летию МГУ имени М.В. Ломоносова

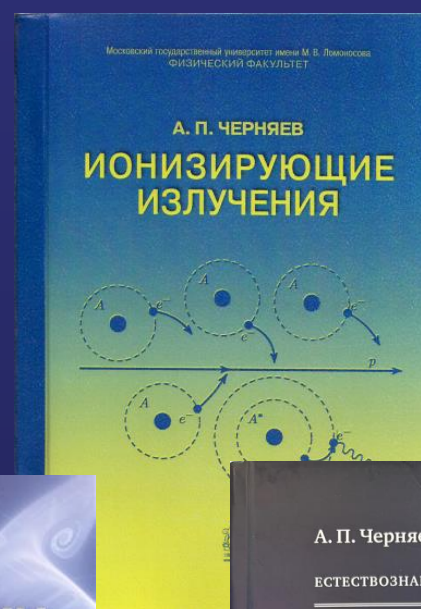
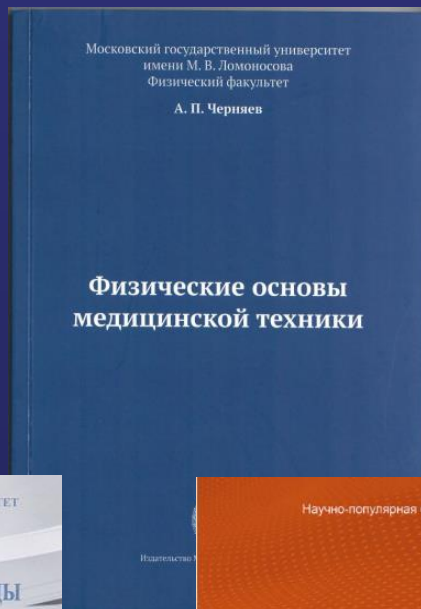
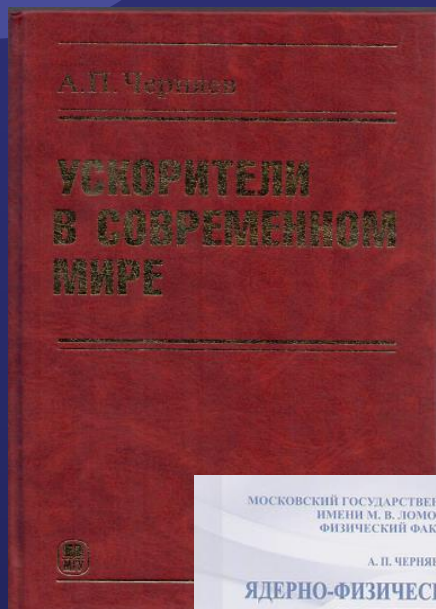


Радиационная медицинская физика
2023 год, 590 стр.

*Лучший учебник конкурса Ассоциации
книгоиздателей России 2023 г.*



Учебная литература для магистерской программы и программ специалитета





Уникальные исследования МГУ для радиационной медицины

Под руководством
профессора А. П. Черняева
выполнено **более 100**
экспериментов на ускорителях
электронов и протонов, в том
числе **около 50 экспериментов** в
ведущих российских онкоцентрах.

Эксперименты выполнены на базе:

- НИИЯФ МГУ;
- Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ (г. Дубна);
- ФТЦ ФИАН имени П.Н. Лебедева;
- ИФВЭ имени А.А. Логунова;
- ФМБЦ имени А.И. Бурназяна ФМБА России;
- НМИЦ онкологии имени Н.Н. Блохина
- Онкоцентре ЕМС (Европейский медицинский центр);
- НМИЦ ДГОИ имени Д. Рогачева
- НМИЦ Нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко;
- МРНЦ имени А.Ф. Цыба «НМИЦ Радиологии».

За 5 лет защищено

8 кандидатских

и 1 докторская диссертация

I. Поиск причин возникновения радиационно-индуцированных раков

1. Потоки вторичных частиц могут создавать дополнительный вклад в дозу до **3,1 Зв**, что не учитывается в современных системах планирования лучевого лечения. В том числе доза от
 - Вторичных нейтронов: **~1,6 Зв**;
 - Вторичных электронов: **~1,5 Зв**.

Дополнительная дозовая нагрузка (3,1 Зв) превышает дозу за одну фракцию (2 Зв). Всего таких сеансов 35.

2. Из-за неоднородности магнитного поля возникают искажения на снимках МРТ (дисторсия). При планировании лучевой терапии по ним возникает снижение дозы на опухоли с **99%** до **75%**. Это приводит к существенным дозовым нагрузкам на здоровые ткани.

Вывод: *Неучтенная дозовая нагрузка может быть причиной возникновения радиационно-индуцированного рака.*

II. Система методов повышения эффективности лучевой терапии

1. Разработана **русская** система учета дыхания в системах планирования протонной лучевой терапии;
2. Разработана система радиографического контроля за динамикой протонной терапии на **отечественном синхротроне (Протвино)**;
3. Для облучения **протяженных опухолей до 150 см** на линейном ускорителе разработан и внедрен уникальный метод.
4. Для радиотерапии опухолей головного мозга разработан и внедрен метод коррекции пространственных искажений МРТ снимков.
5. Для изотопов ^{89}Zr и ^{177}Lu установлены эффективные каналы наработки фотоядерным методом в онкоцентрах в реакциях $^{94,95}\text{Mo}(\gamma, \alpha\text{Xn})^{89}\text{Zr}$ и $^{181}\text{Ta}(\gamma, \alpha)^{177}\text{Lu}$

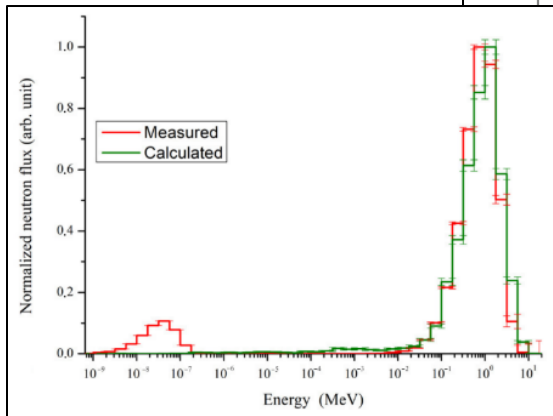
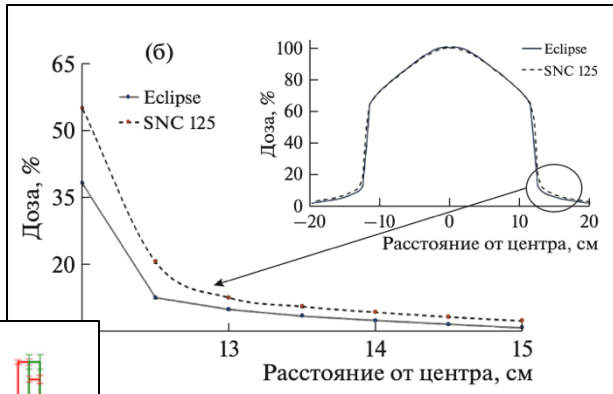


Снижение нецелевой дозовой нагрузки

Повышение эффективности лучевой терапии пучками электронов, фотонов и протонов

профессор Черняев А.П., доцент Лыкова Е.Н., м.н.с. Щербаков А.А.

Превышение фактической дозовой нагрузки относительно планируемой за пределом поля облучения



Спектр вторичных нейтронов, не учитываемых на стадии планирования лучевого лечения

Обнаружено, что при лечении в течении 35 сеансов с планируемой дозой 2 Гр в каждой фракции:

- Дополнительная доза от вторичных нейтронов достигает **1,6 Зв**;
- Дополнительная доза от вторичных электронов достигает **1,5 Зв**.

- Проведено **более 100 экспериментов** на ускорителях электронов и протонов. В том числе, **около 50 экспериментов** в ведущих российских онкоцентрах.
- Разработана компьютерная модель головки медицинского линейного ускорителя. Результаты моделирования подтверждены экспериментами на используемых в клиниках ускорителях.
- Произведена оценка дополнительной дозовой нагрузки, обусловленной вторичным излучением фотонов и электронов. Потoki вторичных частиц могут создавать дополнительный вклад в дозу **до 3,1 Зв**, что не учитывается в современных системах планирования лучевого лечения.



Снижение нецелевой дозовой нагрузки

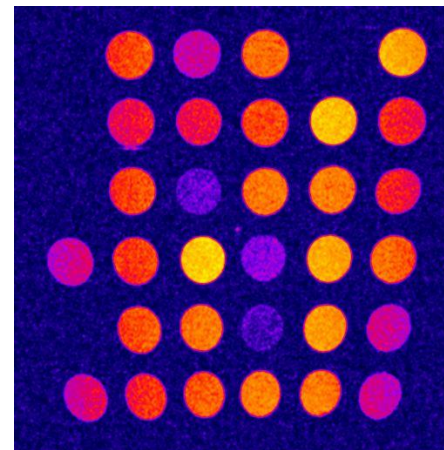
Учет влияния неоднородности магнитного поля на МРТ изображения

профессор Черняев А.П., доцент Лыкова Е.Н., зав. лаб. Студеникин Ф.Р., м.н.с. Щербаков А.А.

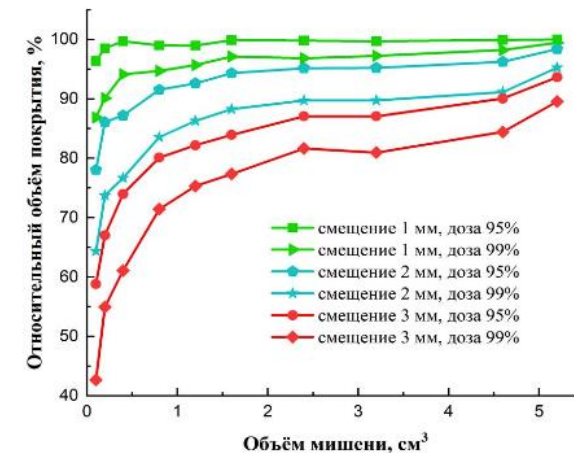
При лечении ряда онкологических заболеваний на стадии планирования используются МРТ-снимки. Из-за неоднородности магнитного поля детали МР-изображений подвергаются искажению (*дисторсии*).

- Проведен ряд экспериментов на используемых в клинической практике МР-томографах. Показано, что смещение объектов на МР-снимках может достигать 5 мм. Искажение площади объекта может превышать 20%.
- Дисторсия может приводить к падению покрытия дозой опухоли на 13%. Это может приводить к меньшей эффективности лучевой терапии и увеличению дозы в здоровых тканях и органах риска.

С учетом требуемой точности определения положения мишени в радиотерапии, составляющей 1 мм, показано, что планирование лечения по МР-снимкам в ряде случаев **недопустимо.**



Изменение линейных размеров опухоли на МР-изображениях из-за дисторсии МРТ



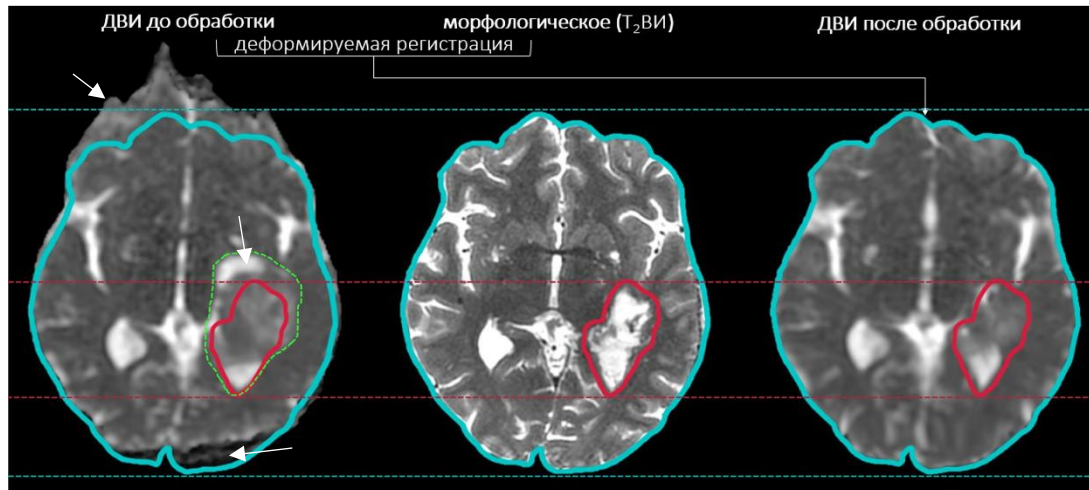
Снижение покрытия опухоли дозой, связанное со смещением мишени на МР-снимках



Снижение нецелевой дозовой нагрузки

Диффузионно-взвешенные изображения магнитно-резонансной томографии в радиотерапии опухолей головного мозга

профессор Черняев А.П., к.ф.-м.н. Помозова К.А.



Пример восстановления геометрии в случае лучевой терапии пациента с глиобластомой.

Красный контур – видимый объём опухоли, голубой контур – головной мозг, зелёный пунктир – область опухоли до восстановления геометрии.

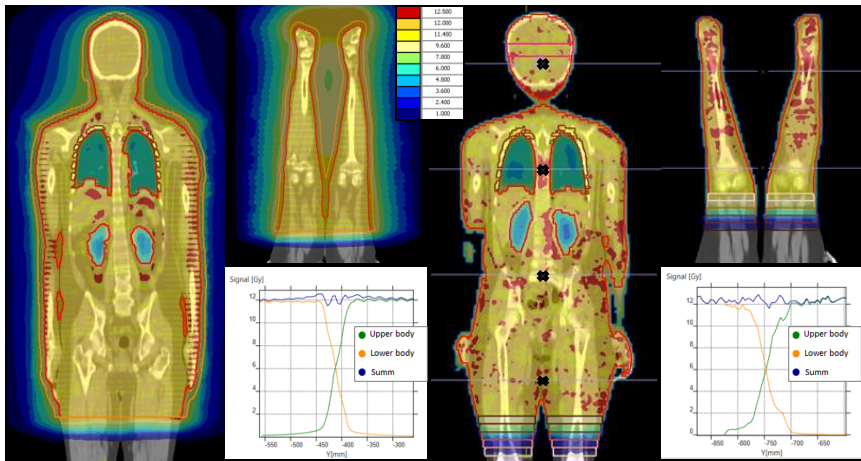
- Разработан новый подход к коррекции искажений МРТ-изображений, вызванных неоднородностями магнитного поля;
- Проведен анализ возможного применения коэффициента диффузии в количественной оценке реакции областей белого вещества головного мозга на облучение.
- Разработанный программный код включен в систему дозиметрического планирования.



Снижение нецелевой дозовой нагрузки

Метод портальной дозиметрии на медицинском ускорителе TomoTherapy с комплексным использованием встроенных детекторов

профессор Черняев А.П., зав. отделением МФ Логинова А.А.



- Разработаны и внедрены в клиническую практику НМИЦ ДГОИ им. Д. Рогачева новые методы тотального облучения тела (TOT) с использованием медицинских линейных ускорителей TomoTherapy (Accuray) и Synergy (Elekta);
- Разработан программный код MatLab и графический интерфейс, позволяющий анализировать данные с помощью визуализации профилей и метода гамма анализа;
- Разработан способ использования данных со всех встроенных детекторов аппарата TomoTherapy для верификации надежности реализации планов лучевой терапии.



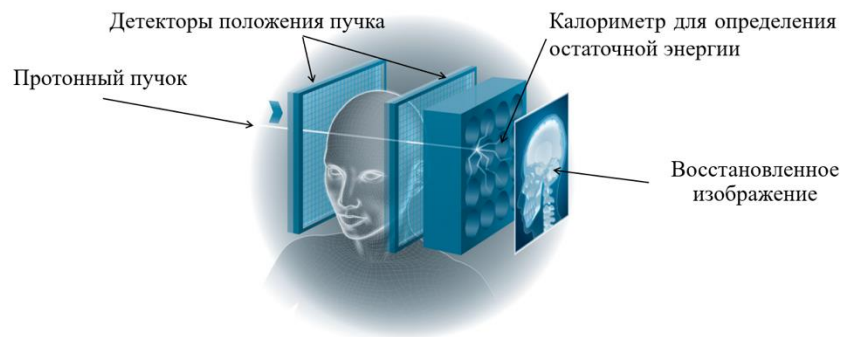
Снижение нецелевой дозовой нагрузки

Протонная терапия движущихся опухолей

профессор Черняев А.П., к.ф.-м.н. Белихин М.А., к.ф.-м.н. Пряничников А.А.



Внешний вид эксперимента по облучению подвижной мишени динамического фантома (слева) и внешний вид протонного синхротрона (справа)



- Разработаны динамические фантомы для комплекса протонной терапии, что позволяет:
 - моделировать интрафракционное движение мишени в водной среде;
 - контролировать качество протонной терапии,
 - проводить дополнительные дозиметрические исследования
- Создана система мониторинга дыхания пациента в реальном времени:
 - Внедрена методика многократного сканирования подвижных опухолей в систему планирования лечения;
 - Разработан режим синхронизации процессов инъекции и ускорения частиц в синхротроне с движением опухоли.
- Разработан и внедрен метод протонной радиографии для более точного позиционирования пациента перед проведением лучевой терапии



Наработка радиоизотопов на медицинских ускорителях

Метод производства медицинских ядерных изотопов на основе фотоядерных реакций

профессор Черняев А.П., с.н.с. Желтоножская М.В., м.н.с. Ремизов П.Д., асп. Юсюк Д.А., студ. Ленивкин М.В.

Показана конкурентная способность фотоядерных реакция для производства медицинских изотопов:

Установлены условия производства изотопа циркония ^{89}Zr как продукта реакций молибдена $^{94,95}\text{Mo}(\gamma, 1\alpha\text{Xn})$ цирконий ^{89}Zr и как дочернего изотопа ядра ниобия $^{89g,m}\text{Nb}$, образующегося в реакции молибдена $^{92}\text{Mo}(\gamma, 1p2n)$ ниобия $^{89g,m}\text{Nb}$, и изотопа лютеция ^{177}Lu в реакциях тантал $^{181}\text{Ta}(\gamma, 1\alpha)$ лютеций ^{177}Lu и гафний $^{178}\text{Hf}(\gamma, 1p)^{177}\text{Lu}$.

Предложены наиболее перспективные каналы для промышленного производства цирконий ^{89}Zr и лютеций ^{177}Lu

Получены новые данные для физики фотоядерных реакций:

Сечения и выходы образования изотопов цирконий ^{89}Zr и лютеций ^{177}Lu и побочных радиоизотопов в реакциях $(\gamma, 1p\text{Xn})$ и $(\gamma, 1\alpha\text{Xn})$ на мишенях природного молибдена, ниобия, циркония, гафния и тантала.

Полученные данные интерпретируются в рамках нескольких моделей ядра

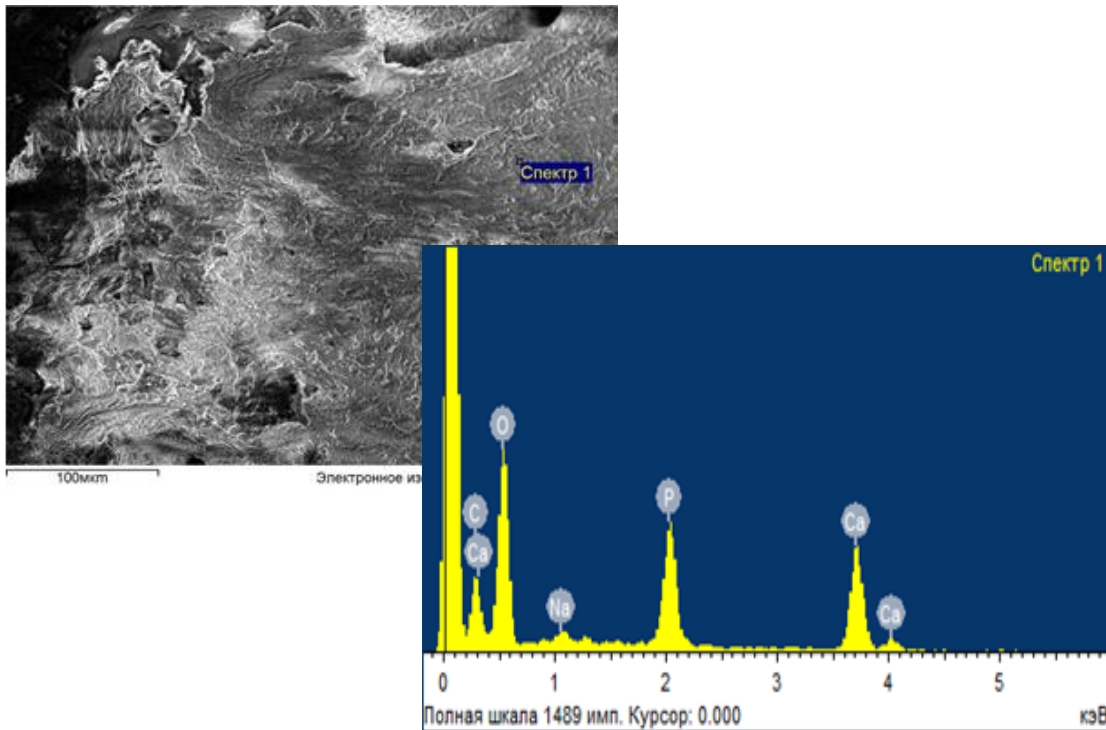
Установлено, что реакции $(\gamma, 1p)$ и $(\gamma, 1\alpha\text{Xn})$ на большинстве исследованных ядер происходят преимущественно до равновесного распределения энергии по ядру. Достоверно показано, что реакции $(\gamma, 1\alpha\text{Xn})$ на исследованных ядрах могут происходить в области ГДР, несмотря на существование кулоновского барьера.



Радиационные технологии для здоровья нации

Радиационная стерилизация костных имплантатов

профессор Черняев А.П., профессор Розанов В.В., аспирант Хуцистова А.О.



Поверхность биоимплантатов и ее спектральный состав, полученная на электронном микроскопе, после озоновой обработки

- Осуществлен модельный анализ воздействия различных видов ионизирующего излучения на костную ткань;
- Разработан комбинированный радиационный метод стерилизации биоимплантатов;
- Исследованы свойства и состав поверхности костных имплантатов после комбинации воздействий «озон + радиация».

Работа выполняется совместно с ФГБНУ ВИЛАР и Физико-техническим институтом СВФУ им. М.К. Аммосова





Радиационные технологии для здоровья нации

Новые подходы к выбору оптимальных параметров радиационной обработки биологических объектов для повышения ее эффективности

профессор Черняев А.П., зав. лаб. Близнюк У.А., зав. лаб. Студеникин Ф.Р., аспирант Золотов С.А.

Исследованы зависимости характеристик дозовых распределений в объектах различной геометрии и плотности от спектрального состава пучка электронов и от толщины и состава разработанных пластин-модификаторов;

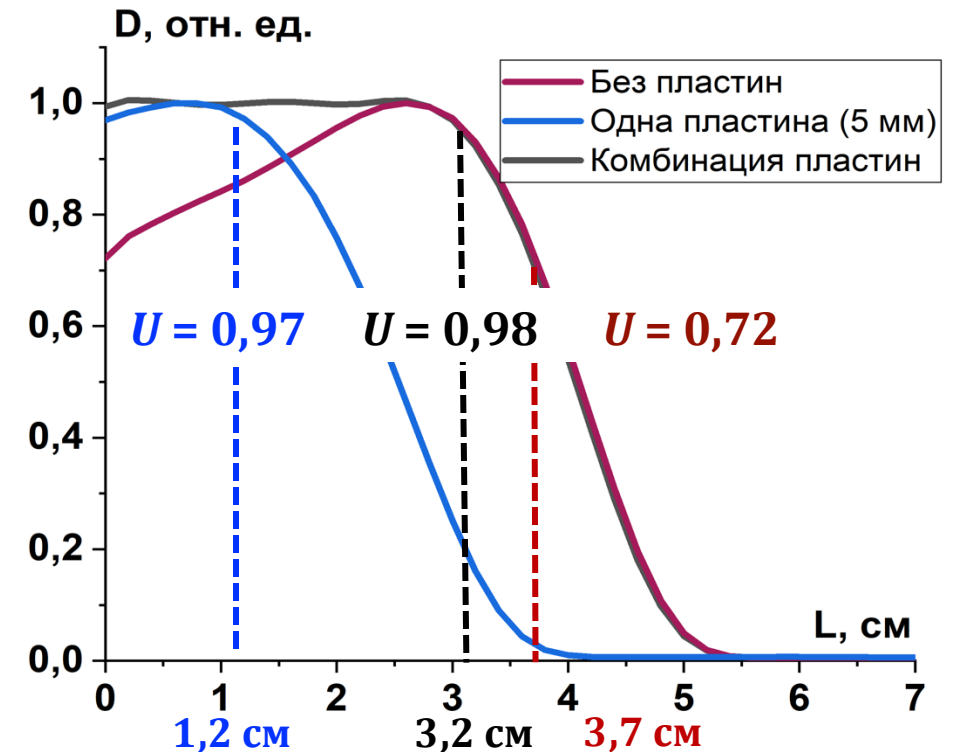
Смоделировано изменение спектра пучка электронов после прохождения через пластину-модификатор заданной толщины и комбинации пластин-модификаторов с целью построения точных дозовых распределений в объекте;

Разработан алгоритм планирования радиационной обработки объектов и биоматериалов



Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

- № 2023669628 «Dose Preview by IRT»
- № 2023669628 «Demetra by IRT»



Распределения дозы в водном параллелепипеде при облучении электронами 10 МэВ **без пластин**, с **5,5 мм пластиной** из алюминия **5,5 мм** и с комбинацией пластин толщиной $h_1 = 8,5$ мм и $h_2 = 9,0$ мм

XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ПРОБЛЕМАТИКЕ
УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПАМЯТИ
профессора В. П. Саранцева



Спасибо за внимание



Контактные данные:
профессор, д.ф.-м.н.,

Черняев Александр Петрович

E-mail: a.p.chernyaev@yandex.ru

Тел: +7(495)939-13-44

Сайт кафедры: <http://hea.phys.msu.ru>

