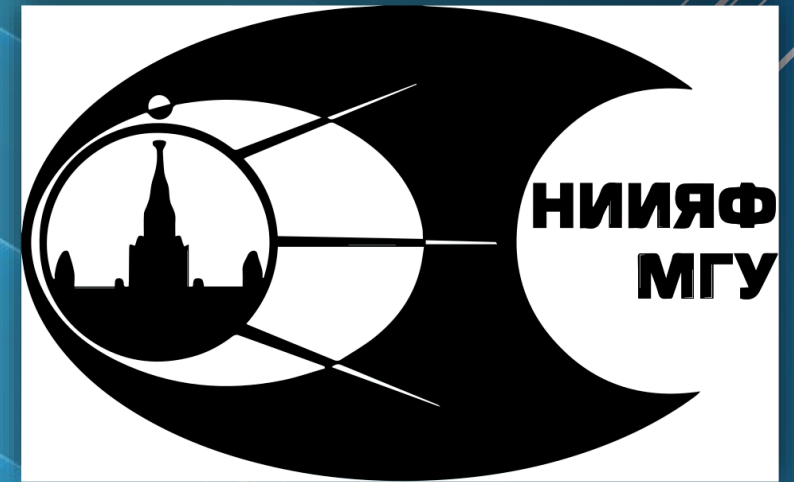


# ПРИКЛАДНЫЕ ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ



К 75-летию НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобелевца

профессор, д.ф.-м.н., зав. ЛПТИМФ  
Черняев Александр Петрович

# ЛАБОРАТОРИЯ ПУЧКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

Дата основания  
лаборатории:

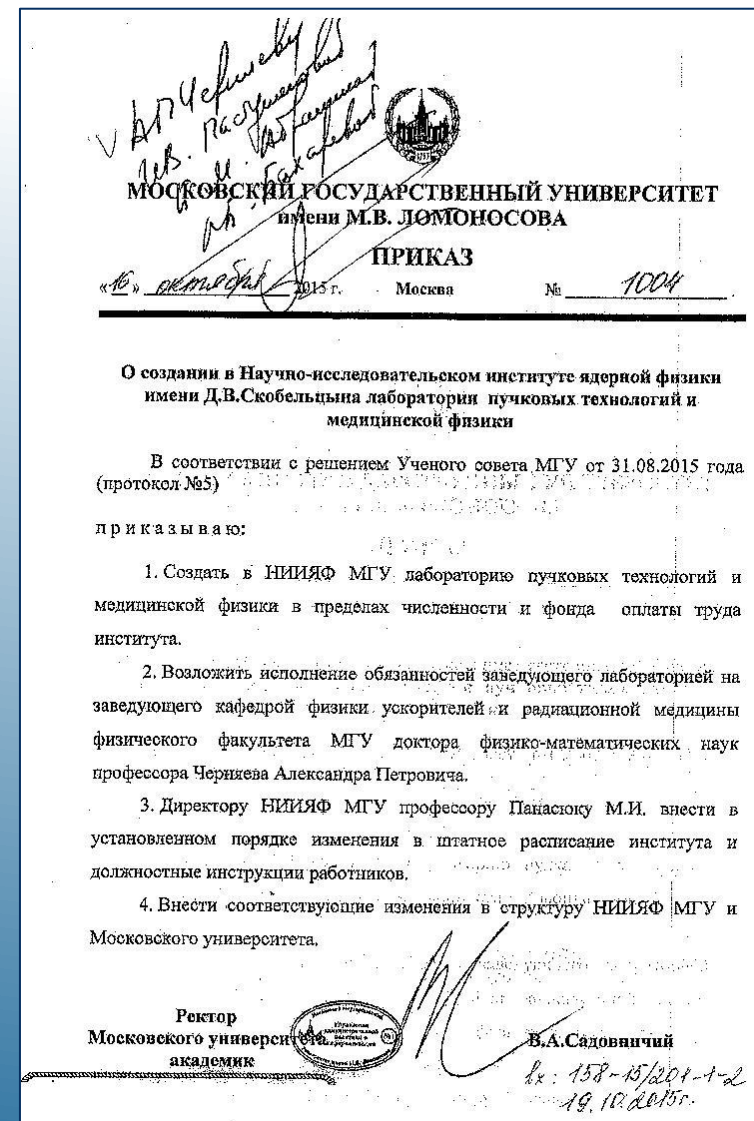
2015

Название  
лаборатории:

Лаборатория  
пучковых технологий  
и медицинской  
физики (ЛПТиМФ)

Заведующий  
лаборатории:

профессор,  
д.ф.-м. н.  
Черняев А.П.



# ШТАТНЫЙ СОСТАВ ЛПТИМФ

ФИО	Звание и степень	Должность	ставка
Черняев А.П.	Профессор, д.ф.-м.н.	Зав. Каф., профессор	0.5
Борщеговская П.Ю.	к.ф.-м.н.	Мл. науч. сотр.	0.25
Желтоножский В.А.	д.т.н.	Ст. науч. сотр.	0.5
Ипатова В.С.		Вед. инженер	1.0
Красов В.В.		Программист 1-й категории	1.0
Лыкова Е.Н.	к.ф.-м.н.	Мл. науч. сотр.	0.25
Студеникин Ф.Р.		Мл. науч. сотр.	0.5

**Всего 4.0 единицы**

# ГРАНТЫ, ХОЗ. ДОГОВОРА, СПОНСОРЫ

Грант РФФИ на сумму **2 000 000 руб.**

- 2020-2022. Глубокие нейронные сети для автоматизации измерения низких активностей радионуклидов в образцах. Лаборатория пучковых технологий и медицинской физики (Руководитель: Желтоножский В.А.)

Хоз. договора на сумму **1 680 000 руб. + 2 200 000 руб.**

Спонсорская поддержка Certification Group новой лаборатории прикладных радиационных технологий (кабинеты 1.04 и 1.04 б) на сумму **3 500 000 руб.**

**ИТОГО:**

**9 400 000 руб.**

# НАГРАДЫ МОЛОДЫХ СОТРУДНИКОВ ЛПТИМФ



ЛАУРЕАТЫ I СТЕПЕНИ V МЕЖДУНАРОДНОГО  
КОНКУРСА НАУЧНЫХ РАБОТ В ОБЛАСТИ  
РАДИОЭКОЛОГИИ ИМ. В.М. КЛЕЧКОВСКОГО 2019 Г.  
(М.Н.С. **Студеникин Ф.Р.** и вед. инженер **Ипатова В.С.**)



ФИНАЛИСТ ОЧНОГО ЭТАПА СТИПЕНДИАЛЬНОЙ  
ПРОГРАММЫ ВЛАДИМИРА ПОТАНИНА 2021 Г.  
(вед.инженер **Ипатова В.С.**)



# РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИРОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

# Радиационные технологии в мире

Реакторы  
~ 441



Установки для  
лучевой терапии  
~ 20000



Р/а источники  
~5-6 млн.ед.



Радиационная  
диагностика (КТ, ОФЭКТ,  
гамма-камеры, ПЭТ, МРТ)  
~ 94000



Электронные микроскопы  
~100 тыс.



Рентгеновские аппараты  
~ 4 млн.



**ВСЕГО: более 10 млн. ед.**

# Радиационные технологии в РФ



Реакторы  
~ 128



Ускорители  
заряженных  
частиц  
~ 500



Рентгеновская  
дефектоскопия  
~ 8700



Гамма  
дефектоскопия  
~ 1300



Хранилища  
радиоактивных  
веществ ~ 650



Рентгеновские  
аппараты ~ 52000



Досмотровые  
комплексы ~ 4000



Приборы  
радиоизотопные  
~ 15 000



Закрытые  
радиоизотопные  
источники  
~ 62 000



**ПРОЧЕЕ:** нейтронные генераторы,  
~ 10 000 хранилища отработанного  
ядерного топлива и др.

**ВСЕГО: ~154 300**



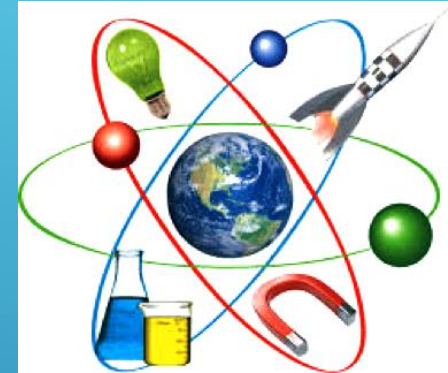
# Ускорители в мировом хозяйстве



Промышленность  
~ 27 000



Наука  
~ 1 200



Медицина  
~ 14 500



Сельское хозяйство  
~ 1 500



**ВСЕГО: более 44 200**

# Ускорители в мировом хозяйстве

## Ускорители электронов

☢ В промышленности  
~ 11 500

☢ В медицине  
~ 12 831

☢ В науке  
~ 700

**ВСЕГО: ~ 25 031**



# Ускорители в мировом хозяйстве

## Ускорители протонов и ионов

☢ В промышленности  
~ 15 500

☢ В лучевой терапии  
~ 100

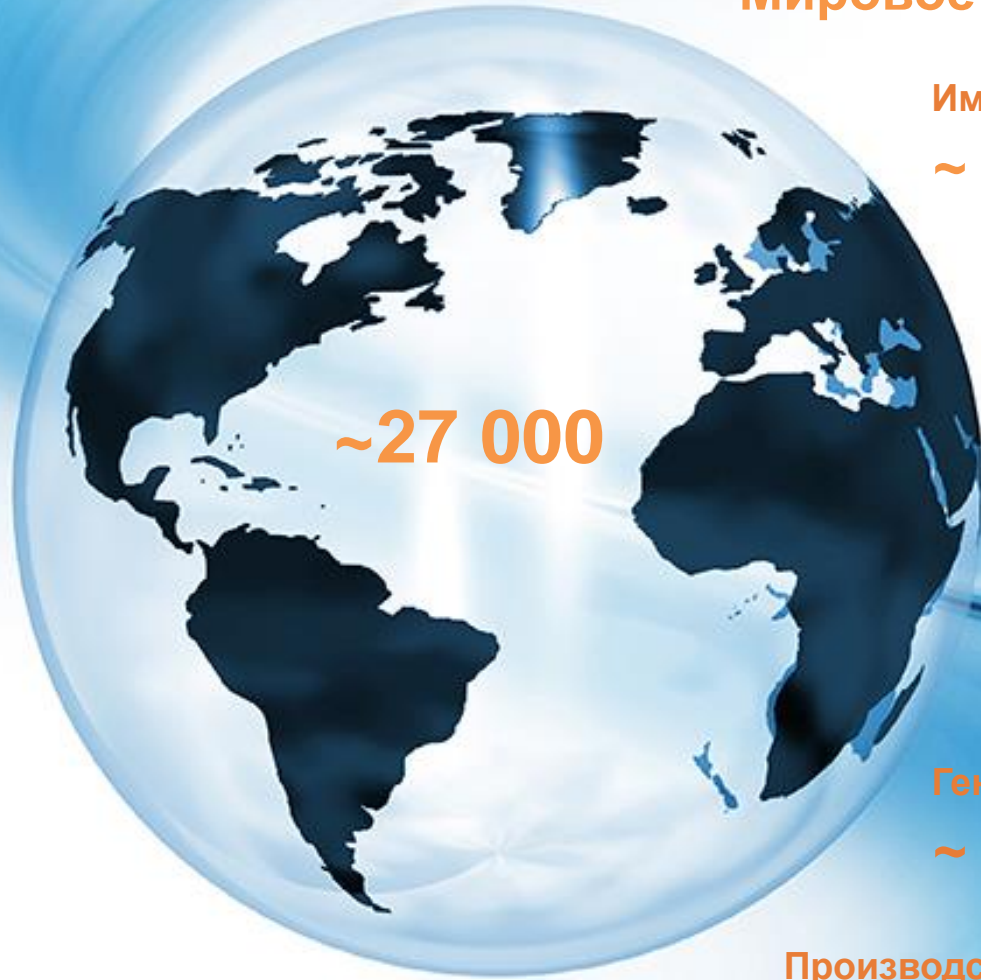
☢ Производство  
изотопов  
~ 1500

☢ В науке  
~ 500

**ВСЕГО: ~ 17 600**



# УСКОРИТЕЛИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ В МИРЕ



**~27 000**

## Мировое хозяйство:

Имплантаторы

**~ 11 000**

Электронная обработка

**~ 7500**

Облучение электронным

**~ 3000**

Неразрушающий анализ

**~ 2000**

Генераторы нейтронов

**~ 2000**

Производство изотопов

**~ 1500**

# УСКОРИТЕЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И СТЕРИЛИЗАЦИИ В МИРЕ



Сельское хозяйство



Стерилизация

ВСЕГО: ~1500

# УСКОРИТЕЛИ В ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ



Народное  
хозяйство

~ 200



Медицина

~ 250



Наука

~ 150

ВСЕГО: ~600

# УСКОРИТЕЛИ В НАУКЕ В МИРЕ ~ 1200

Энергия  
 $\leq 1$  ГэВ  
~ 1100



Энергия  
 $\geq 1$  ГэВ  
~ 100



# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСКОРИТЕЛЕЙ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ :

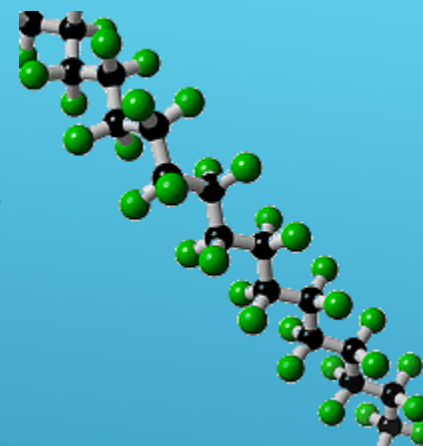


Стерилизация и обеззараживание  
медицинских изделий

Радиационная сшивка изоляции  
кабелей и проводов

Модификация полимеров

- Обработка продуктов питания
- Безопасность и оборона
- Экология
- Обработка драгоценных камней
- Радиационная обработка  
в химической промышленности
- Обработка полупроводников и др...





# ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛПТИМФ



# НАУЧНАЯ РАБОТА

Сотрудниками лаборатории совместно с кафедрой ФУиРМ опубликовано за 2016-2020 гг.:

- ✓ **26** учебников и учебных пособий;
- ✓ **210** статей в журналах, входящих в международные базы данных и списки журналов ВАК (**83** статьи в SCOPUS и WOS);
- ✓ **76** статей в сборниках;
- ✓ **166** тезисов докладов;
- ✓ **21** патент.

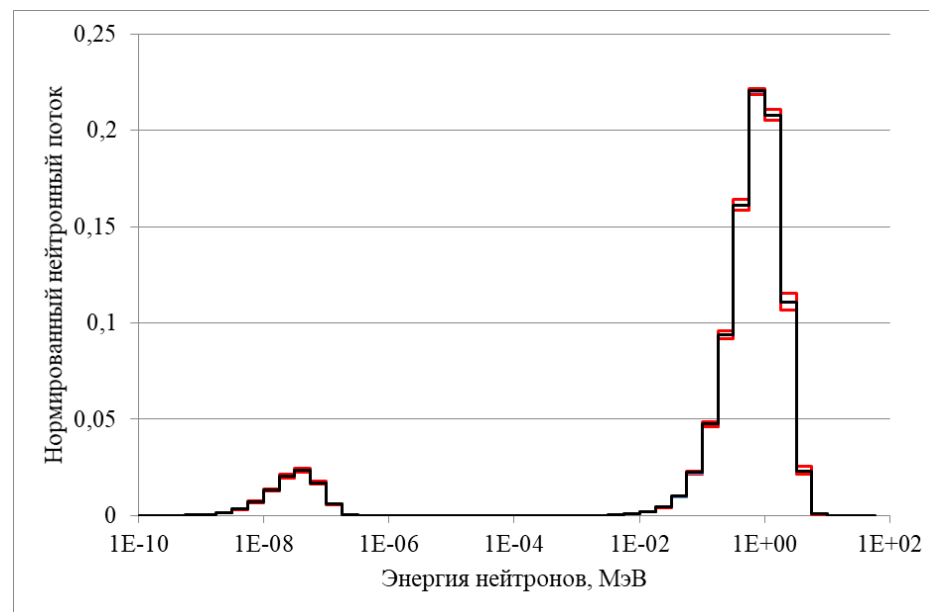
**ВСЕГО: 499**

# Исследование роли вторичных частиц при работе медицинского линейного ускорителя с энергиями от 18 до 20 МэВ

(профессор Черняев А.П., ассистент Лыкова Е.Н., с.н.с. Желтоножская М.В., аспирант Зон А.Г.)

В результате проведенных исследований получены данные о потоках нейтронов и тормозных фотонов при работе линейных медицинских ускорителей различных производителей: Varian Trilogy, Varian Clinac 2100, Varian 2300, Elekta Synergy с энергиями пучка от 15 до 20 МэВ.

Разработана методика определения потоков нейтронов активационными мишенями из естественного тантала и методика измерения спектров вторичных нейтронов сферическим детектором Боннера с использованием детектирующих мишеней из естественного тантала. Предложен алгоритм восстановления спектра измеряемого потока нейтронов и для его реализации адаптирован комплекс программного обеспечения.



Спектр вторичных нейтронов при работе медицинского ускорителя с энергией 20 МэВ

*За период 2016-2021 гг. по этому направлению опубликовано 7 статей, в том числе 5 индексируемых в Scopus и Web of Science, сделано 6 докладов и защищена кандидатская диссертация Лыковой Е.Н.*

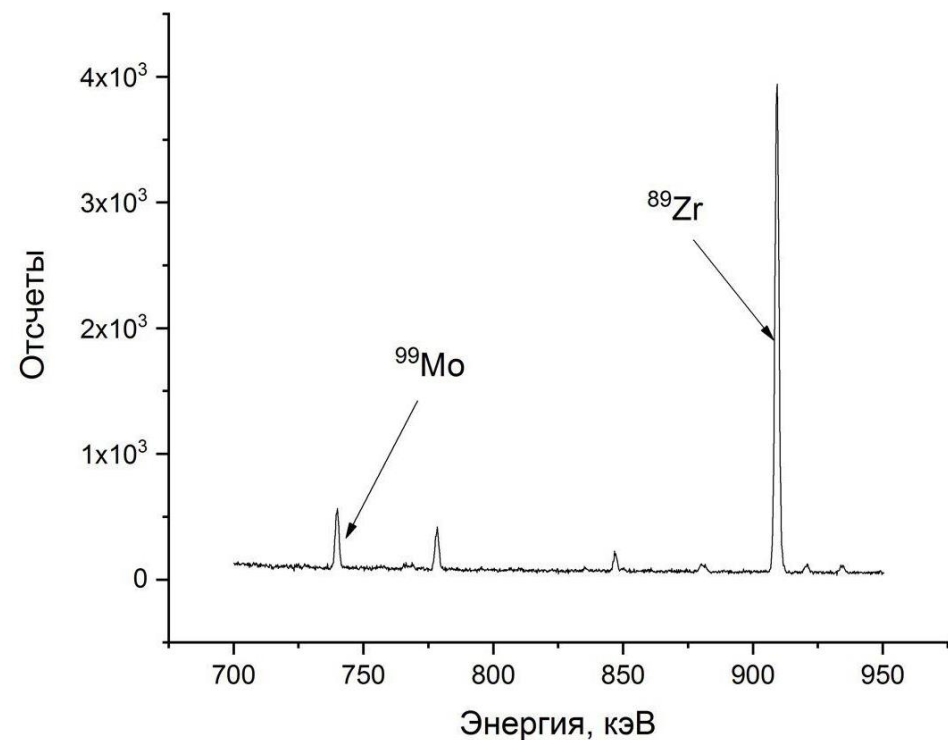
# Получение перспективных медицинских изотопов с использованием ускорителей электронов

(профессор Черняев А.П., с.н.с. Желтоножская М.В., с.н.с. Желтоножский В.А., аспирант Ремизов П.Д.)

В настоящее время в Российской Федерации сформирована целая сеть центров ядерной медицины, однако отмечаются затруднения в доступности радиофармацевтических препаратов. Традиционно медицинские изотопы получают в реакторах и на ускорителях нуклонов. Исследования новых путей получения перспективных медицинских изотопов является важной и актуальной задачей.

Кафедра занимается исследованием новых каналов получения следующих перспективных медицинских изотопов: **Лютеций-177** и **Цирконий-89**.

*За период 2016-2021 гг. по этому направлению опубликовано 11 статей, в том числе 8 индексируемых в Scopus и Web of Science (4 в Q2 журналах), сделано 15 докладов.*



Фрагмент спектра мишени, обогащенной по молибдену-94, после облучения тормозными гамма-квантами с максимальной энергией 20 МэВ

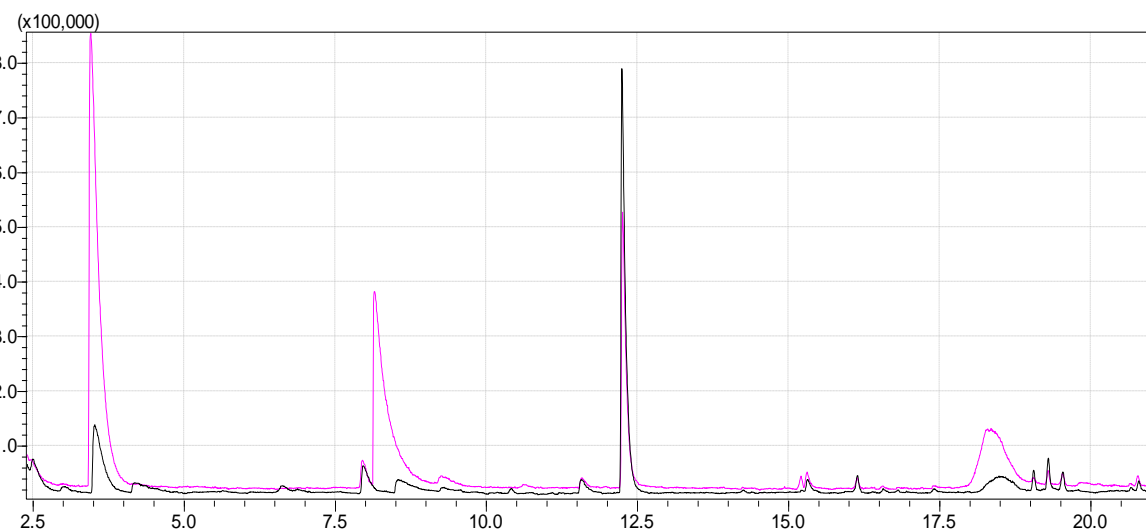
## Радиационная обработка продуктов питания

(профессор Черняев А.П., ст. преподаватель Близнюк У.А., доцент Борщеговская П.Ю., м.н.с. Студеникин Ф.Р., вед. инженер Ипатова В.С.)

В настоящее время широкое применение находит радиационный метод обработки продуктов питания и сельскохозяйственного сырья.

В данной области работает ~1500 ускорителей электронов и ~300 радиоактивных источников  $\gamma$ -излучение (Co-60 и Cs-137).

На кафедре ведутся фундаментальные исследования совместно с ФГБНУ ВИЛАР, Химическим факультетом МГУ, центров рад.обработки «Теклеор» и др. по влиянию различных типов ионизирующих излучений, их физических характеристик на физико-химические и биохимические процессы, возникающие в продуктах питания, в том числе ряда функциональных продуктов питания, в ходе хранения после проведения их радиационной обработки.



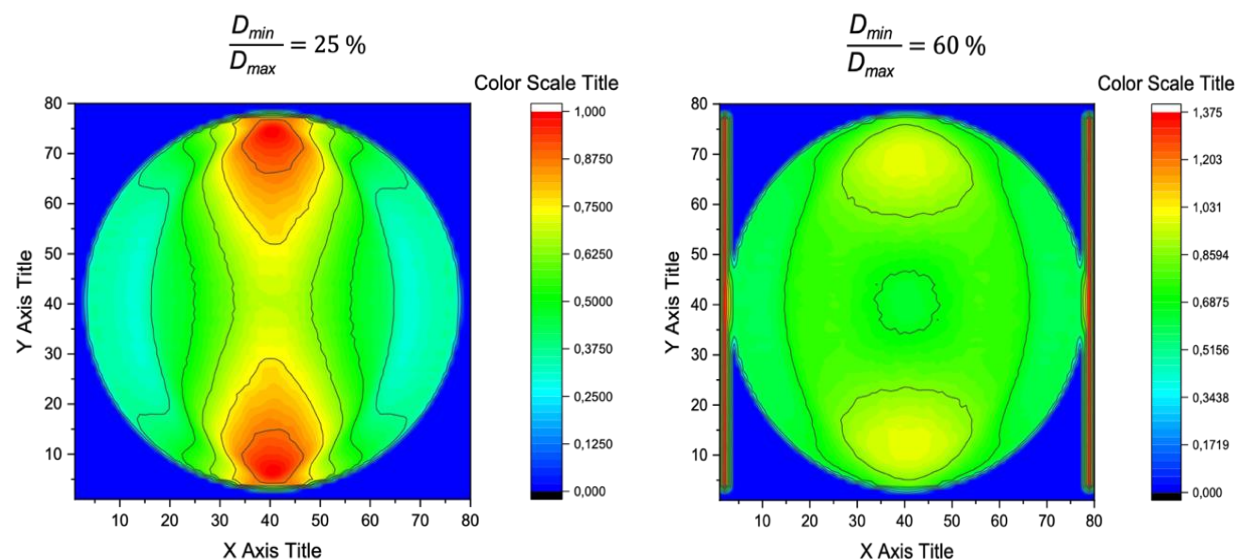
Хроматограмма контрольного образца индейки (фиолетовая хроматограмма соответствует контрольному образцу, черная – облученному в дозе 10 кГр)

*За период 2016-2021 гг. по этому направлению опубликовано 21 статья, индексируемая в Scopus и Web of Science, сделано более 30 докладов.*

## Методы модификации распределения дозы в образцах сложной геометрии (профессор Черняев А.П., ст. преподаватель Близнюк У.А., доцент Борщеговская П.Ю., м.н.с. Студеникин Ф.Р.)

С увеличением ассортимента различных категорий продуктов, обрабатываемых ионизирующим излучением, возрастает необходимость обеспечения равномерности облучения по объему обрабатываемых продуктов сложной формы (колбаса, курица, ягоды и пр.).

На кафедре ведутся исследования по разработке и применению модификаторов энергетического спектра пучка, которые размещаются между выходным окном ускорителя электронов и облучаемым продуктом. Такие модификаторы позволяют изменять дозовое распределение, обеспечивая более равномерное облучение отдельных категорий продуктов питания схожей геометрии и состава.



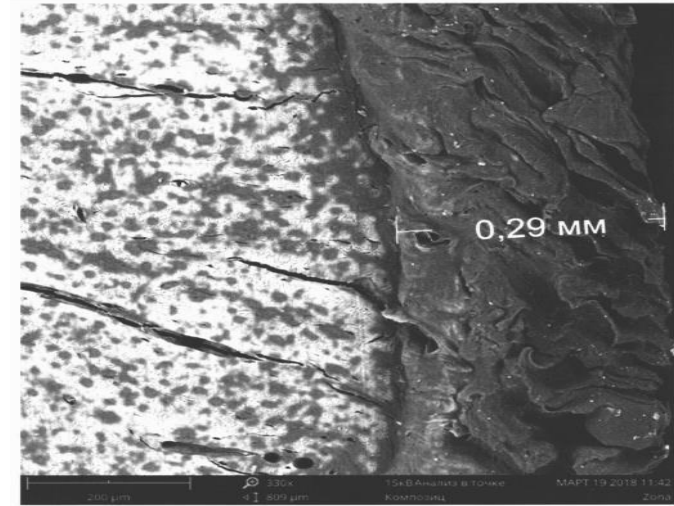
Распределение дозы, нормированной на ее максимальное значение, по срезу фантома с координатами  $5 < X < 75$ ,  $5 < Y < 75$ ,  $Z = 1$  при облучении электронами с двух сторон с размещением пластин-модификаторов а) толщиной 1.0 мм; б) толщиной 2.0 мм

*За период 2016-2021 гг. по этому направлению опубликовано 5 статей, индексируемая в Scopus и Web of Science, сделано 10 докладов.*

# Технологии радиационной стерилизации костных имплантатов (профессор Черняев А.П., профессор Розанов В.В.)

Одной из актуальных проблем современной биоимплантологии является разработка новых высокотехнологичных методов стерилизации костных имплантатов и совершенствование традиционных технологий, применяемых многие годы в практике банков тканей.

В отчетный период в рамках разрабатываемой тематики разработан высокотехнологичный метод двухэтапной стерилизации, сочетающий последовательные озонное и радиационное воздействия. Начаты работы по изучению характеристик поверхностного слоя костных фрагментов после различного типа воздействий и их роли в изменении свойств костных имплантатов.



Зона деминерализации поверхностного слоя и фронт деминерализации на поперечном срезе образца. СЭМ, увеличение X 330

*За период 2016-2021 гг. результаты этих исследований опубликованы в 35 статьях в научных журналах (из них 14 – в изданиях, индексируемых в международных базах WoS и Scopus), сделано 59 докладов на Всероссийских и международных научных конференциях. На разработанные технологии изготовления костных имплантатов получено 8 Патентов РФ.*

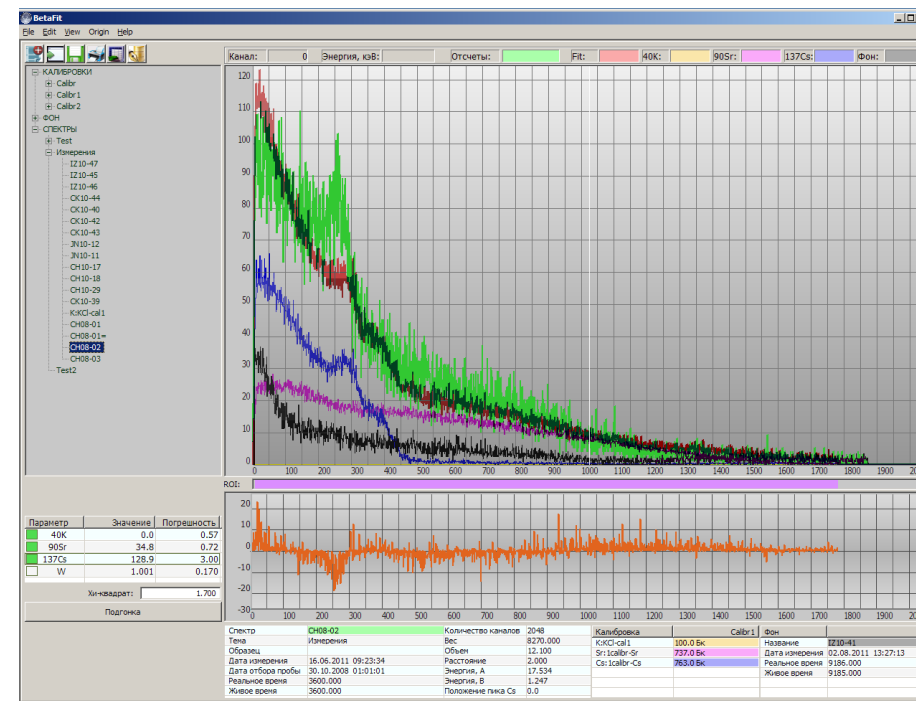


# Разработаны неразрушающие методы контроля особо опасных радионуклидов $^{10}\text{Be}$ , $^{90}\text{Sr}$ и изотопов плутония

(профессор Черняев А.П., с.н.с. Желтоножская М.В., с.н.с. Желтоножский В.А.)

В настоящее время большое количество атомных электростанций выводится или планируется их вывод из эксплуатации. Поэтому проблемы обращения с облученными конструкционными материалами АЭС в отрасли ядерной энергетики занимает сегодня одно из центральных мест.

На базе кафедры разработан фотоактивационный метод для определения активности  $^{10}\text{Be}$  в образцах конструкционных материалах и РАО АЭС. А также разработаны спектроскопический метод одновременного определения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в образцах окружающей среды и в мелких живых объектах; неразрушающий метод определения изотопов плутония, основанный на измерении в исследуемых образцах характеристического рентгеновского  $L_X$ -излучения, сопровождающее альфа-распад этих нуклидов.



Разработанная программа Beta+, для реализации метода одновременного измерения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в образцах

*За период 2016-2021 гг. по этому направлению опубликовано 10 статей, в том числе 8 индексируемых в Scopus и Web of Science (2 в Q1 журналах, 1 в Q2 журнале), сделано 17 докладов, получено 5 патентов.*

# ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ

# ПАРТНЕРЫ ЛАБОРАТОРИИ



Международная межправительственная научно-исследовательская организация ОИЯИ в наукограде Дубна Московской области



Научно-исследовательская организация ФГБНУ ВИЛАР в области лекарственного растениеводства и разработки новых лечебных препаратов из лекарственного сырья

## Прикладные радиационные технологии



Химический факультет МГУ



Испытательный центр «Certification Group»



Промышленный центр антимикробной обработки продуктов питания ускоренными электронами «Tescleor»

# ПАРТНЕРЫ ЛАБОРАТОРИИ

Медицинская физика



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



Varian Medical Systems



Европейский медицинский  
центр EMC



РОНЦ им. Н.Н. Блохина

ЦКБ №2 им. Н.А. Семашко

ФГБУ «РНЦР»

МНИОИ им. П.А. Герцина

ГБУЗ «ГКБ им. братьев  
Бахрушиных ДЗМ»

ОИЯИ, г. Дубна

ФМБЦ им. А.И. Бурназяна

НМИЦ им. Д. Рогачева

ИФВЭ, г. Протвино

НМИЦ им. Н.Н. Бурденко

ГБУЗ МО «МООД»

МГМУ им. И.М. Сеченова

# РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ В МИРЕ

## Ускорители:



~ 13 900

- Кибер-нож
- Томотерапия
- Линейные ускорители
- Протонные ускорители

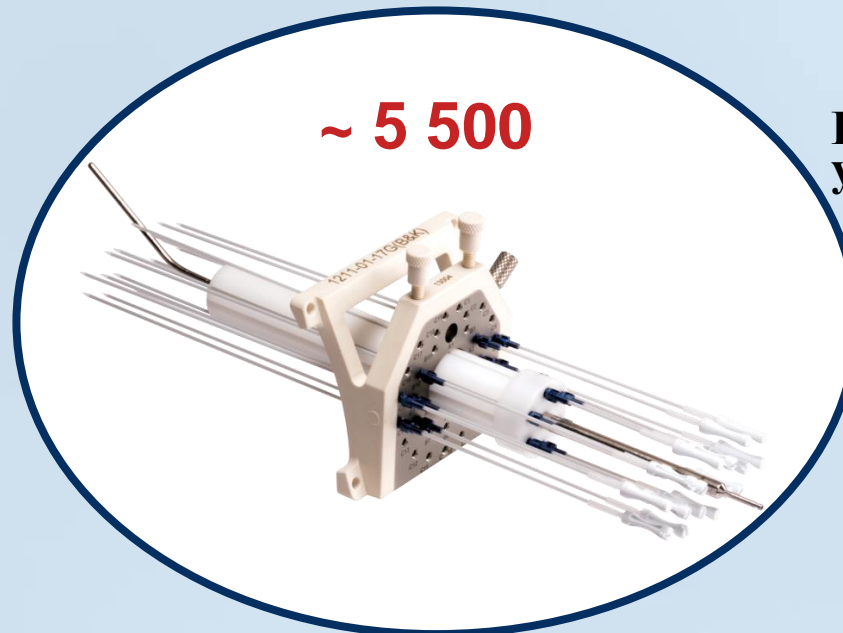
## Лучевая диагностика:



~ 94 000

- ПЭТ
- КТ
- МРТ
- Гамма-камера
- ОФЭКТ

## Изотопные установки:



~ 5 500

- Брахитерапия
- Гамма-нож
- Кобальтовые установки

**ВСЕГО: ~113 400**

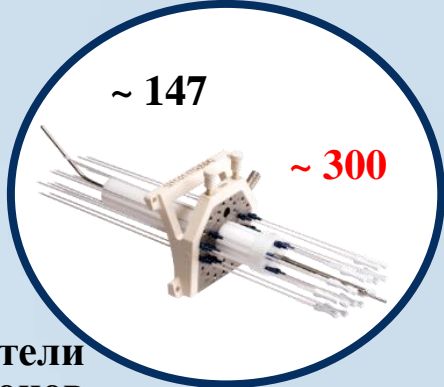
# РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ В РОССИИ

Имеется в настоящее время

**Потребность**

**ВСЕГО:**  
**~2631 (5800)**

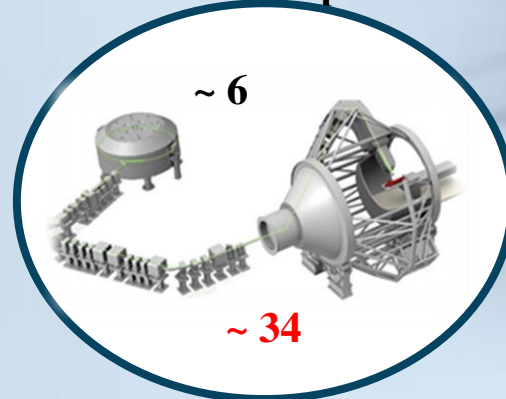
Оборудование  
для  
брахитерапии



Ускорители  
электронов



Центры протонной  
и ионной терапии



Источники  
гамма-излучения  
Co-60

ПЭТ сканеров



МРТ

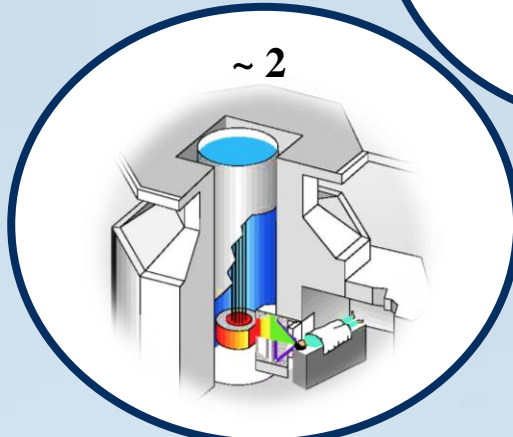


Гамма-камеры  
в т.ч. ОФЭКТ

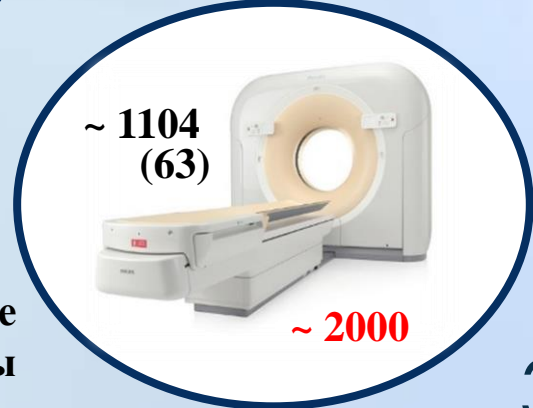
Установки  
стереотаксической  
радиохирургии



Центры нейтронной  
терапии



Компьютерные  
томографы



# ПЕРСОНАЛ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Необходимое количество физико-технического персонала для лучевой терапии в РФ

**НЕОБХОДИМО**  
физико-технического  
персонала

~ 3000



Инженеры ~ 1000  
Медфизики ~ 2000



**ИМЕЕТСЯ**  
физико-технического  
персонала

~ 790



Инженеры ~ 250  
Медфизики ~ 640

! Сегодня медицинских физиков в России  
в **6 раз** меньше, чем в Европе  
● и в **14 раз** меньше, чем в США



640



3800



9000

# Программа профессиональной переподготовки «Медицинская физика»

## Разработчик:

физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

## Цель:

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

**Объем программы:** 530 часов

**Форма обучения:** очная

**Режим обучения:** 30–36 часов в неделю

**Срок обучения:** 4–5 месяцев



## 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 2020 г. — 10 физиков из Москвы, Новосибирска, Орска, Рязани, Калуги и Архангельска



# Программа профессиональной переподготовки «Медицинская физика»

Программа профессиональной переподготовки включает в себя три этапа:

## **I этап**

- Дистанционная часть 70 часов

## **II этап**

- Очная часть: лекции, семинары, практикум 180 часов
- самостоятельная работа 180 часов

## **III этап**

- Клиническая практика:  
онкологические 100 часов  
центры и больницы

**ВСЕГО**

**530 часов**

# Программа профессиональной переподготовки «Медицинская физика»



На основании решения аттестационной комиссии слушателю программы выдается диплом о профессиональной переподготовке по следующим направлениям:

- физика дистанционной лучевой терапии (на пучках фотонов и электронов);
- физика контактной лучевой терапии;
- физика протонной лучевой терапии.

Образец диплома о профессиональной переподготовке

# Программа профессиональной переподготовки «Медицинская физика»



**Первый выпуск**

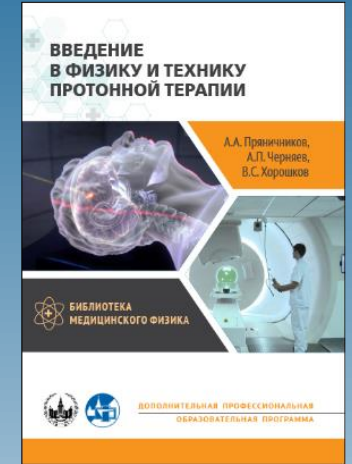
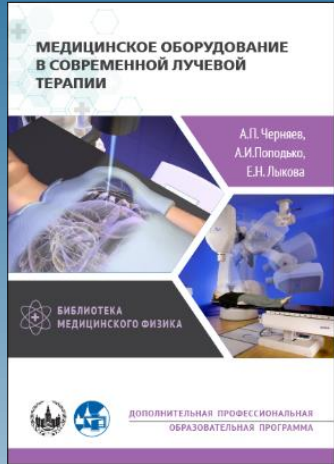


**Третий выпуск**

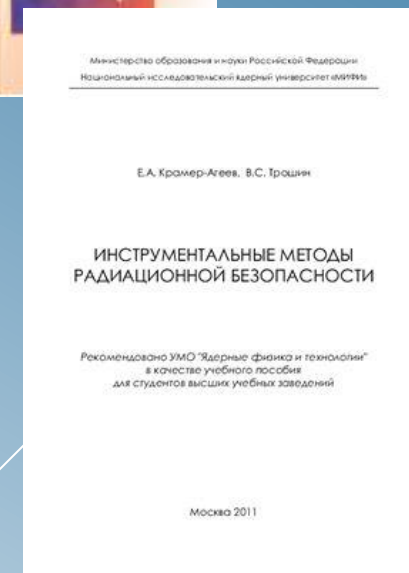
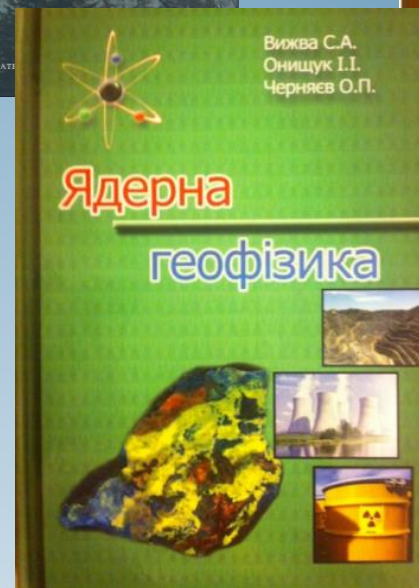
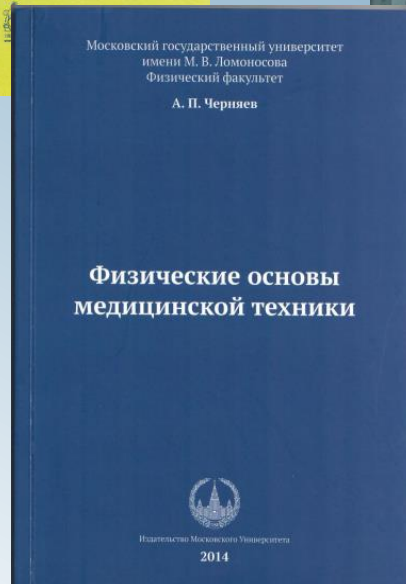
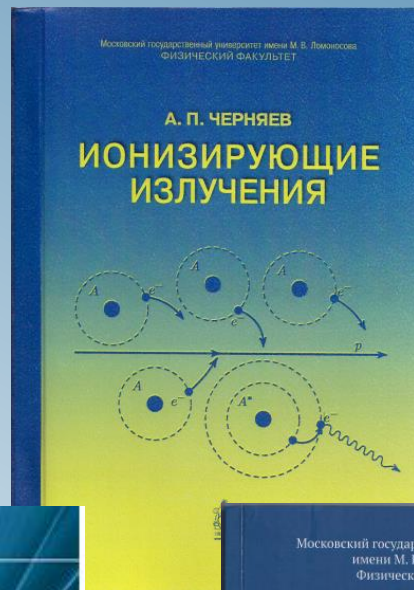
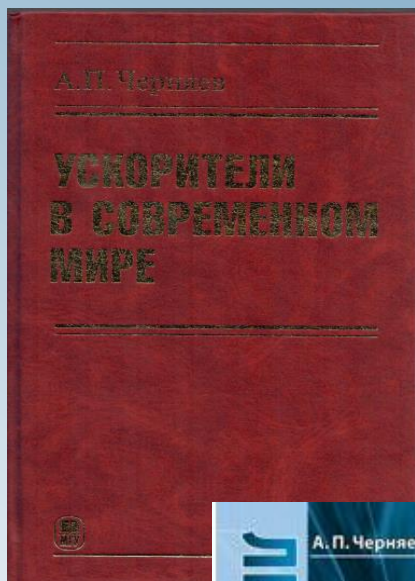


**Второй выпуск**

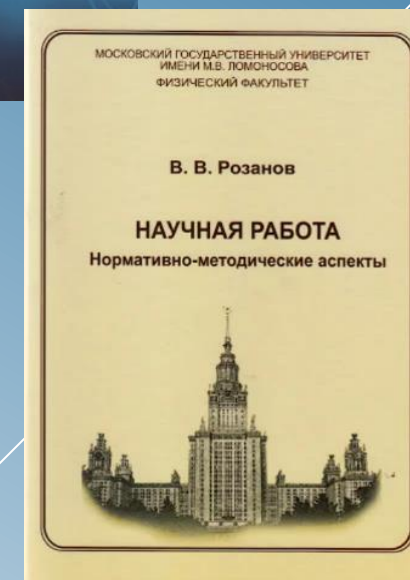
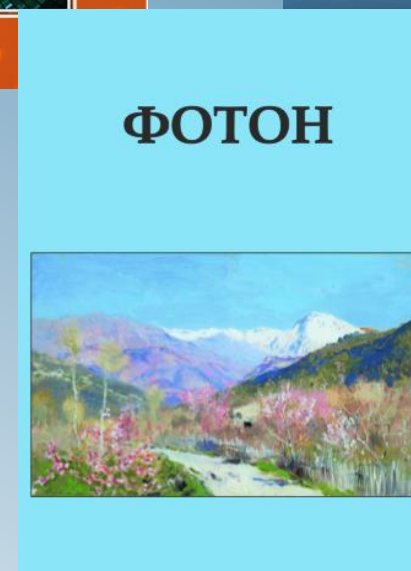
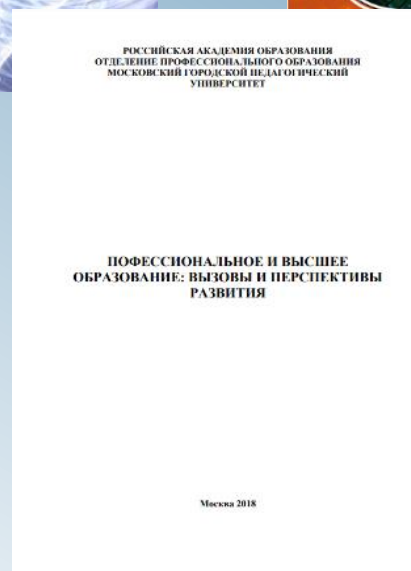
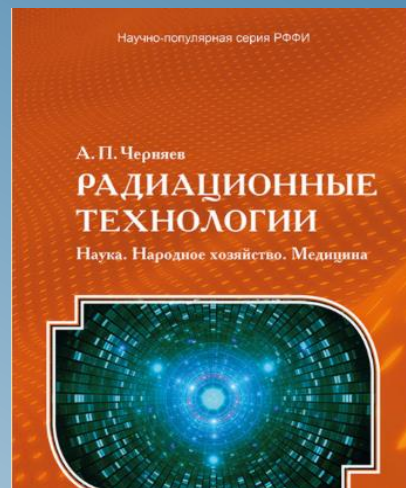
# БИБЛИОТЕКА МЕДИЦИНСКОГО ФИЗИКА



# УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА 2011-2015



# УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА 2016-2020



# Программа повышения квалификации «Радиационная обработка пищевых продуктов и испытаний пищевых продуктов, прошедших радиационную обработку»

## **Разработчик:**

физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

## **Цель:**

кадровое обеспечение организаций и предприятий, работающих в области испытаний пищевых продуктов, прошедших обработку ионизирующим излучением, а также в области разработки рекомендательных методик по обработке ионизирующим излучением для разных видов пищевой продукции.

**Объем программы: 300 часов**

**Форма обучения: очно-дистанционная**

**Режим обучения: 30–36 часов в неделю**

**Срок обучения: 2–3 месяца**



**ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММЕ ПРОШЛИ:  
в 2020 г. — 15 специалистов из Москвы**

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Контактные данные:

Черняев Александр Петрович – заведующий кафедрой ФУиРМ ФФ МГУ,  
заведующий лабораторией ЛПТиМФ НИИЯФ МГУ

E-mail: [a.p.chernyaev@yandex.ru](mailto:a.p.chernyaev@yandex.ru)

Тел: +7(495)939-13-44



# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РОССИИ

В фундаментальной науке предпочтение отдается международным проектам.

В Российской Федерации такой проект “Ника” реализуется в ОИЯИ (Дубна).

К важным для ядерной медицины фундаментальным исследованиям XXI века относятся:

- увеличение темпа ускорения
- уменьшение размеров ускорителя
- создание ускорителей на “холодных магнитах” и с “холодными ускоряющими структурами”,
- создание источников синхротронного излучения четвертого поколения и лазеров на свободных электронах.

# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РОССИИ

Количество радиационных установок ежегодно увеличивается на 5-7%.

Количество рентгеновских аппаратов близко к их уровню в ведущих странах.

- Рентгеновских аппаратов около 40-43%
- Медицинских источников с радиоактивными изотопами около 51-54%.

Более 50% из них необходимо заменить современным оборудованием.

Необходимо разработать собственное высокотехнологичное оборудование: ПЭТ, КТ, МРТ, ОФЭКТ, а также комбинированные сканерные системы (такие как ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ, ПЭТ/ОФЭКТ). А также возглавить комбинированную тройную разработку ПЭТ/КТ/МРТ, ПЭТ/ОФЭКТ/МРТ и т.д., а также четырехкомпонентной ПЭТ/ОФЭКТ/МРТ/КТ, которые ведутся в Китае.

# ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РОССИИ

## В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ:

- ✓ увеличение количества отделений, в которых осуществляются процедуры с открытыми радиоактивными источниками;
- ✓ создание полного цикла производства радиоактивных изотопов для медицинского применения;
- ✓ разнообразить количество радиоактивных изотопов медицинского назначения;
- ✓ существенно увеличить мощности производства радиофармпрепаратов в нашей стране.