


Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Физический Факультет, НИИЯФ МГУ

# Ядерная физика и медицина

Профессор А.П. Черняев



На всем своем пути формирования и развития науки естествознания – физика и математика, биология и медицина шли рядом. Уже в глубокой древности медицина, наряду с лекарствами, использовала такие физические факторы, как механические воздействия, тепло, холод, звук, свет. Явления оценивались количественно. Живой и растительный мир тщательно исследовался.

# Врачи, внесшие вклад в развитие медицины

- Гиппократ (ок 460 – 365 до н. э.) – знаменитый древнегреческий **врач**.
- Гален ( 129– 200 гг.) – **медик**, философ.
- Леонардо да Винчи (1452 –1519 гг.) – итальянский физик, **анатом**, естествоиспытатель (а также писатель, скульптор, художник и архитектор).
- Луиджи Гальвани (1737 –1798 гг.) – итальянский **врач**, физиолог и физик.
- Алессандро Вольта (1745 –1827) – итальянский **физиолог**, физик и химик.
- Роберт Броун (1773 – 1858 гг.) – британский (шотландский) **биолог**, морфолог и систематик растений.
- Томас Юнг (1773 – 1829) – английский физик, **врач**, астроном.
- Жан Луи Пуазейль (1799 – 1869 гг.) – французский **врач** и физик, занимавшийся физическими аспектами кровообращения и дыхания животных и людей.
- Юлиус Роберт фон Майер (1814 – 1878 гг.) – немецкий **врач** и естествоиспытатель.
- Герман фон Гельмгольц (1821 – 1894) – немецкий физик, **врач** и психолог.

## Вильгельм Рентген

(27 марта 1845 – 10 февраля 1923 гг.)

Выдающийся немецкий **физик**.

- ❖ **Нобелевская премия** по физике 1901 г. За **открытие рентгеновских лучей**.



В мире работают миллионы рентгеновских установок, в медицине и других отраслях мирового хозяйства.



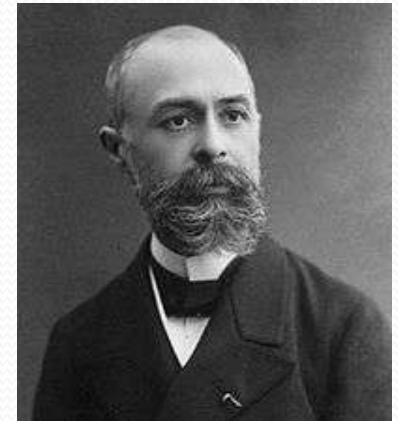
## Антуан Анри Беккерель

(15 декабря 1852 – 25 августа 1908 гг.)

Французский **физик**

- ❖ Лауреат **Нобелевской премии** по физике и один из первооткрывателей **радиоактивности**.

❖ Беккерель случайно открыл в 1896 году радиоактивность во время работ по исследованию фосфоресценции в солях урана. В 1903 г. он получил совместно с **Пьером и Марией Кюри**



Нобелевскую премию по физике «В знак признания его выдающихся заслуг, выразившихся в открытии **самопроизвольной радиоактивности**».

- ❖ Его открытие послужило основой для развития **ядерной медицины**.

## Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри

(1859—1906 гг., 1867 - 1934 гг.)

Французский и польско-французский **физики**, одни из первых исследователей радиоактивности

- ❖ **Нобелевская премия** по физике (1903 г.)



- ❖ Открытие **пьезоэлектрического эффекта**



- ❖ Открытие **полония**
- ❖ Открытие **радия**

## Фредерик и Ирен Жолио-Кюри

(1900-1958 гг., 1897-1856 гг.)

Французские **физики**, лауреаты **Нобелевской премии** по химии (1935 г.)

- ❖ Открытие **искусственной радиоактивности**

- ❖ Открытие и исследование процессов **аннигиляции** и **рождения пар**



- ❖ Создание важных предпосылок для открытия Джеймсом Чадвиком незаряженной частицы – **нейтрона**

## Ускоритель

**Эрнест Орландо Лоуренс**  
(8 августа 1901 – 27 августа 1958 гг.)

Американский физик, создатель  
первого **циклотрона** (1931)

❖ Был удостоен **Нобелевской премии** (1939).



Он предложил идею многократного прохождения частицами ускоряющего зазора с относительно небольшим напряжением. Первый образец такого устройства был создан совместно с М.Ливингстоном в 1931 году. Оно получило название **циклотрон**.

- ❖ **Циклотроны** широко используются в медицине для:
- лучевой терапии тяжелыми заряженными частицами ;
  - производство радионуклидов;
  - является основным элементом ПЭТ-центров.

## Электронный микроскоп

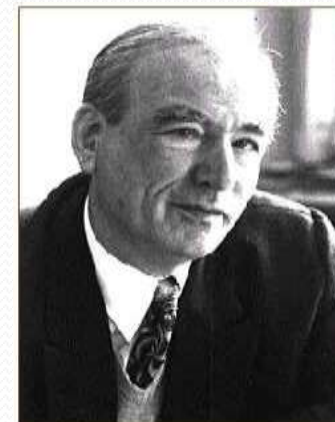
**Эрнст Август Руска**

(25 декабря 1906 – 27 мая 1988 гг.)

Немецкий физик, создатель **электронного микроскопа** (1931)

❖ Лауреат **Нобелевской премии** по физике (1986 год)

❖ 9 марта 1931 года Руской и М. Кноллем был представлен прототип первого электронного микроскопа, состоящий из двух последовательно расположенных магнитных линз.



- ❖ Он продемонстрировал использование соленоида в качестве линзы для пучка электронов и получения увеличенное изображение
- ❖ Широко используется в сверхточных исследованиях в биологии и медицине.

# Магнитно-резонансная томография

## 5 Нобелевских премий



❖ **Ядерный магнитный резонанс** (ЯМР) был открыт в 1938 году **И.Раби**, за что в 1944 году он был удостоен Нобелевской премии.

❖ **Нобелевская премия по физике** за 1952 г. была присуждена **Ф. Блоху** и **Э.М. Пёрселлу** «За развитие новых методов для точных ядерных магнитных измерений и связанные с этим открытия».



**Ф. Блох**



**Э. М. Перселла**

❖ **Нобелевская премия по химии** за 1991 г. была присуждена **Р.Эрнсту** «За вклад в развитие методологии ядерной магнитной резонансной спектроскопии высокого разрешения».



❖ **Нобелевская премия по химии** за 2002 г. (1/2 часть) была присуждена **К. Вютриху** «За разработку применения ЯМР-спектроскопии для определения трехмерной структуры биологических макромолекул в растворе».

❖ **Нобелевская премия по физиологии и медицине** за 2003г. Была присуждена **П.Лотербуру** и **П.Мэнсфилду** «За изобретение метода магнитно-резонансной томографии».



**П.Мэнсфилд**



**П.Лотербур**

## Компьютерная томография (КТ)



- ❖ Теоретические основы КТ разработал **физик А. Кормак** из ЮАР в 1963 г.

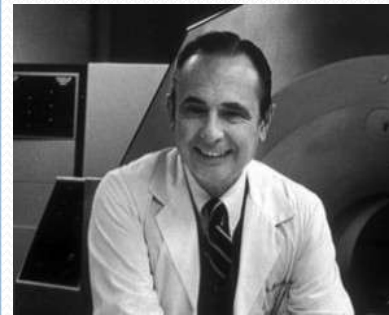


- ❖ Первый **компьютерный томограф** был создан в 1972 г. английским **инженером Г. Хаунсфилдом**.

- ❖ В 1979 году они получили **Нобелевскую премию** по медицине за создание компьютерного томографа.

## Позитронно-эмиссионный томограф (ПЭТ)

**Авторы:** Первый ПЭТ создали американские физики **Майкл Тер-Погосян, Дж. Эуджен-Робинсон и К. Шарп Кук**.

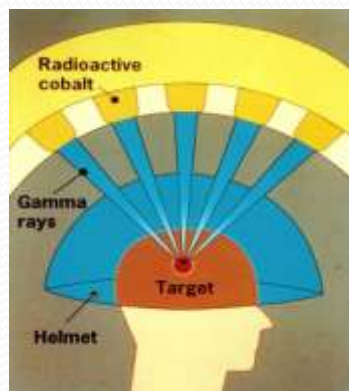


- ❖ **Первый прототип ПЭТ сканера** появился в 1952 году в **Массачусетском госпитале**
- ❖ **Первые ПЭТ сканеры** с множеством детекторов были созданы в начале 1960-ых годов. Они позволяли повысить чувствительность метода и получить двумерное изображение.



## Гамма-нож

**Гамма-нож** - медицинская установка, разработанная шведским **врачом нейрохирургом Л. Лекселем** в 1950 г.



- ❖ Первая установка гамма-нож была запущена в 1968 году.
- ❖ Сейчас они (их ~300) прочно вошли в арсенал нейрохирургических методик лечения различных внутричерепных патологических образований.

## Кибер-нож

**Кибер-нож** – стереотаксическая система для лучевой терапии. Создан в 1992 г. в Стэнфордском университете под руководством **врача нейрохирурга Д. Адлера**.

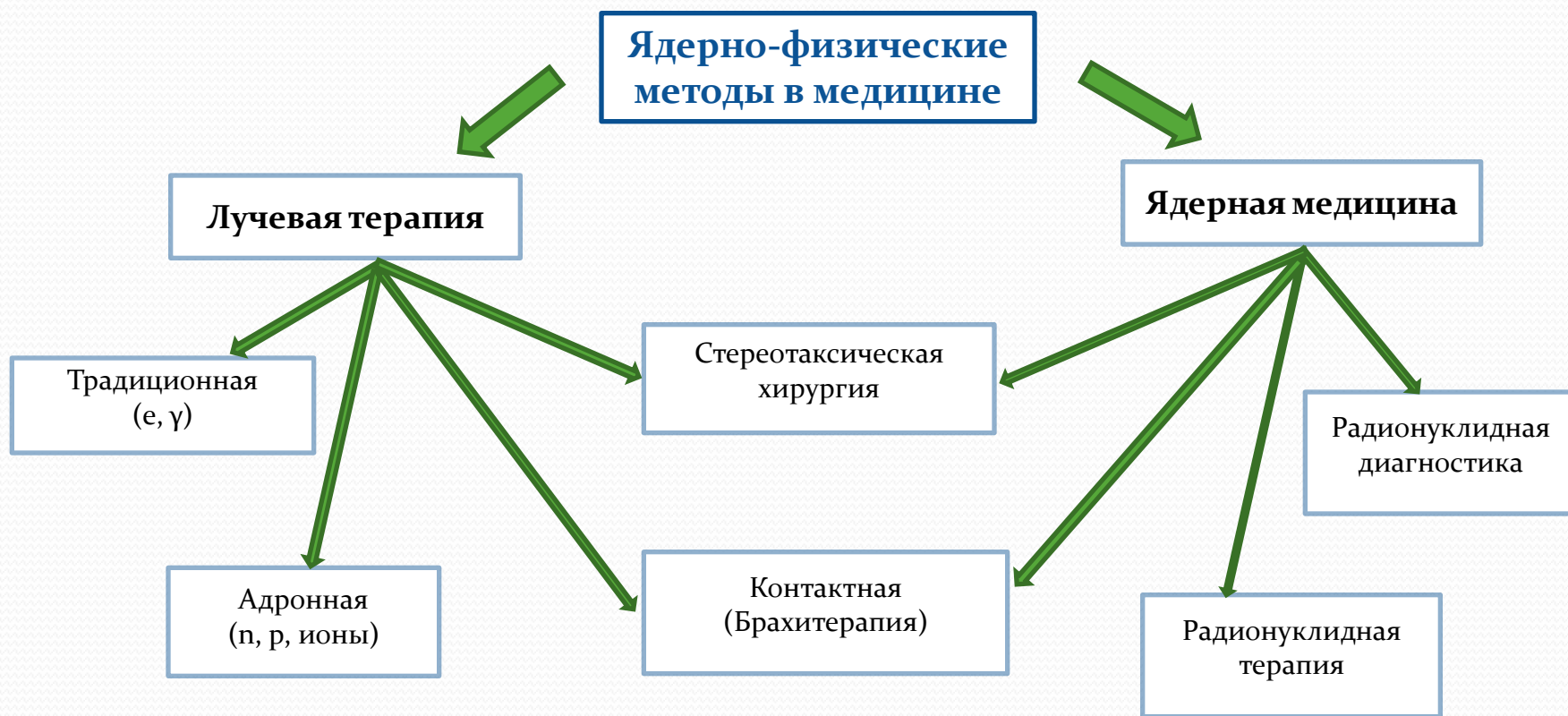


- ❖ Она содержит два основных элемента – легкий линейный ускоритель и робот-манипулятор, контролируемый компьютером, имеющий 6 степеней свободы.

- ❖ Позволяет облучать мишень с 1200 возможных позиций. В мире около 300 кибер – ножей.

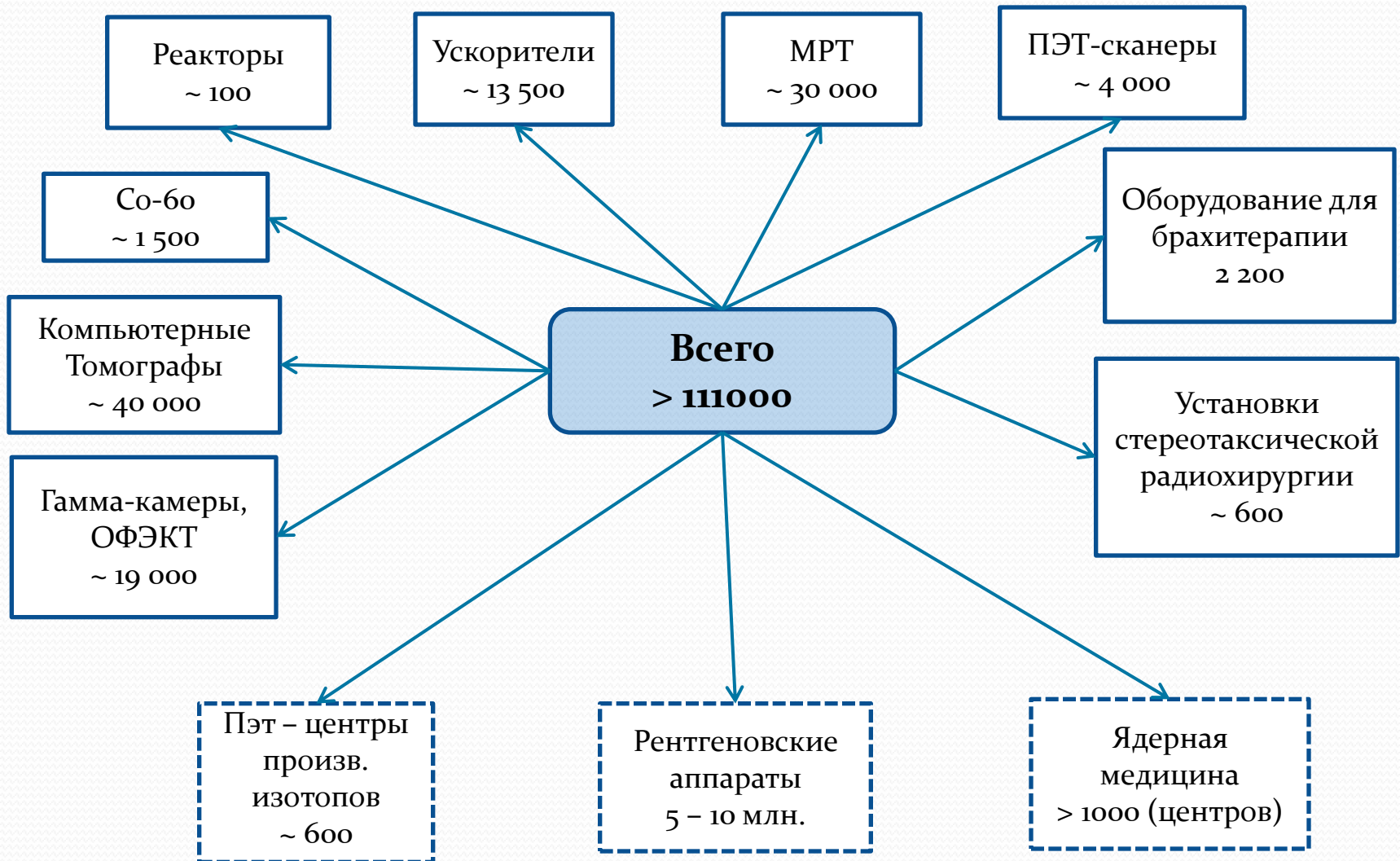


# Структура ядерно-физических технологий, действующих в медицине



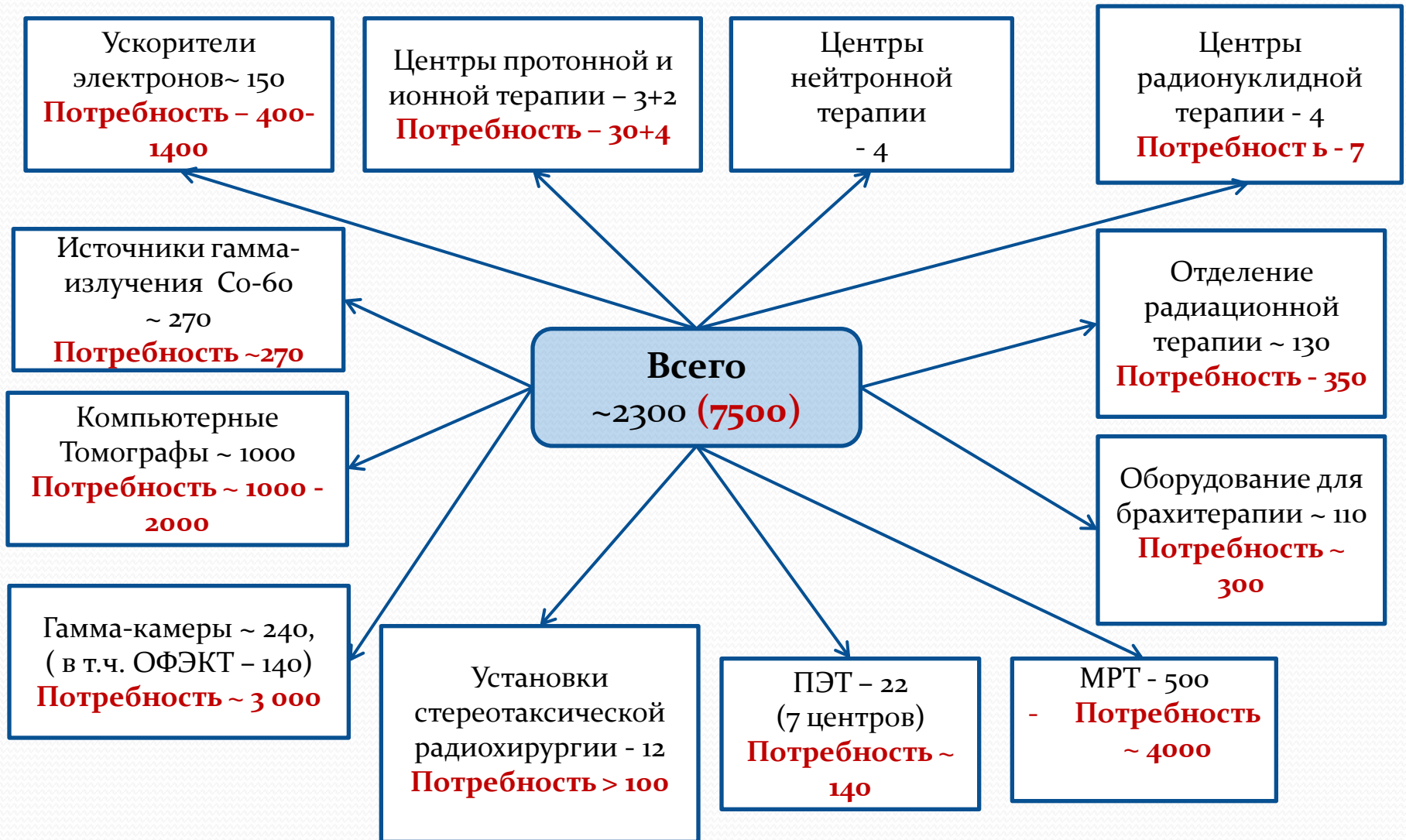
# В МИРЕ

## Радиационные технологии в медицине



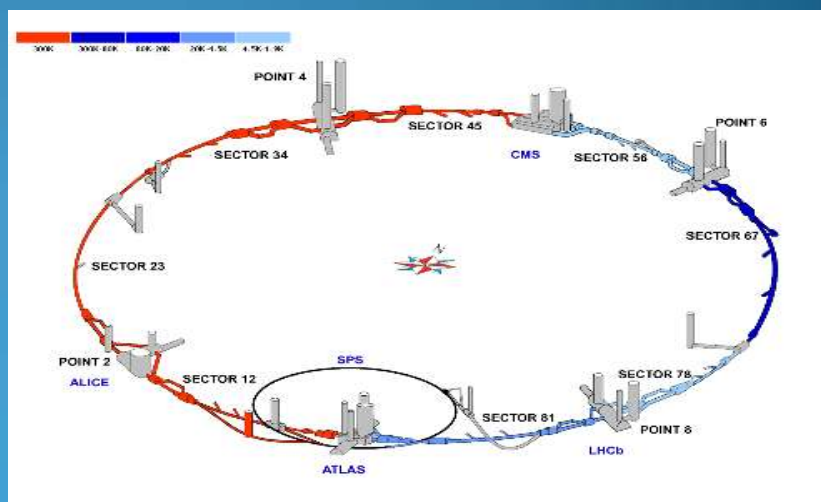
# В РОССИИ

## Радиационные технологии в медицине

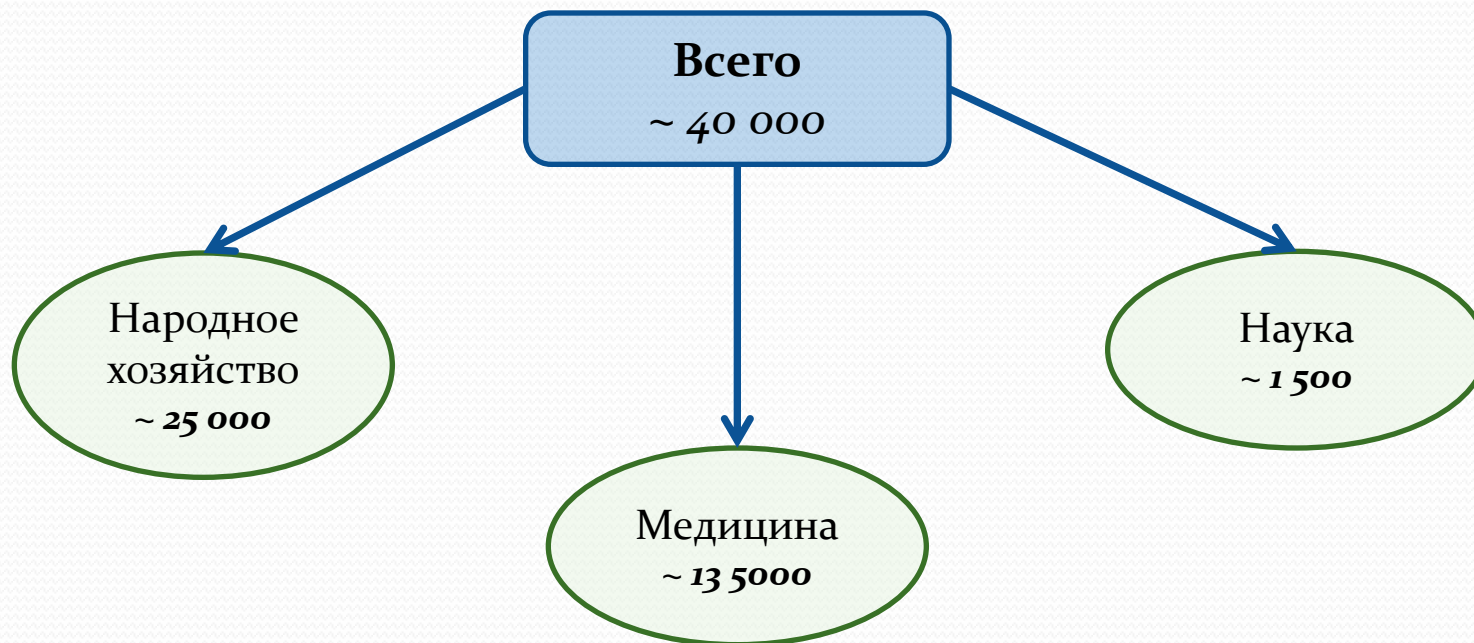




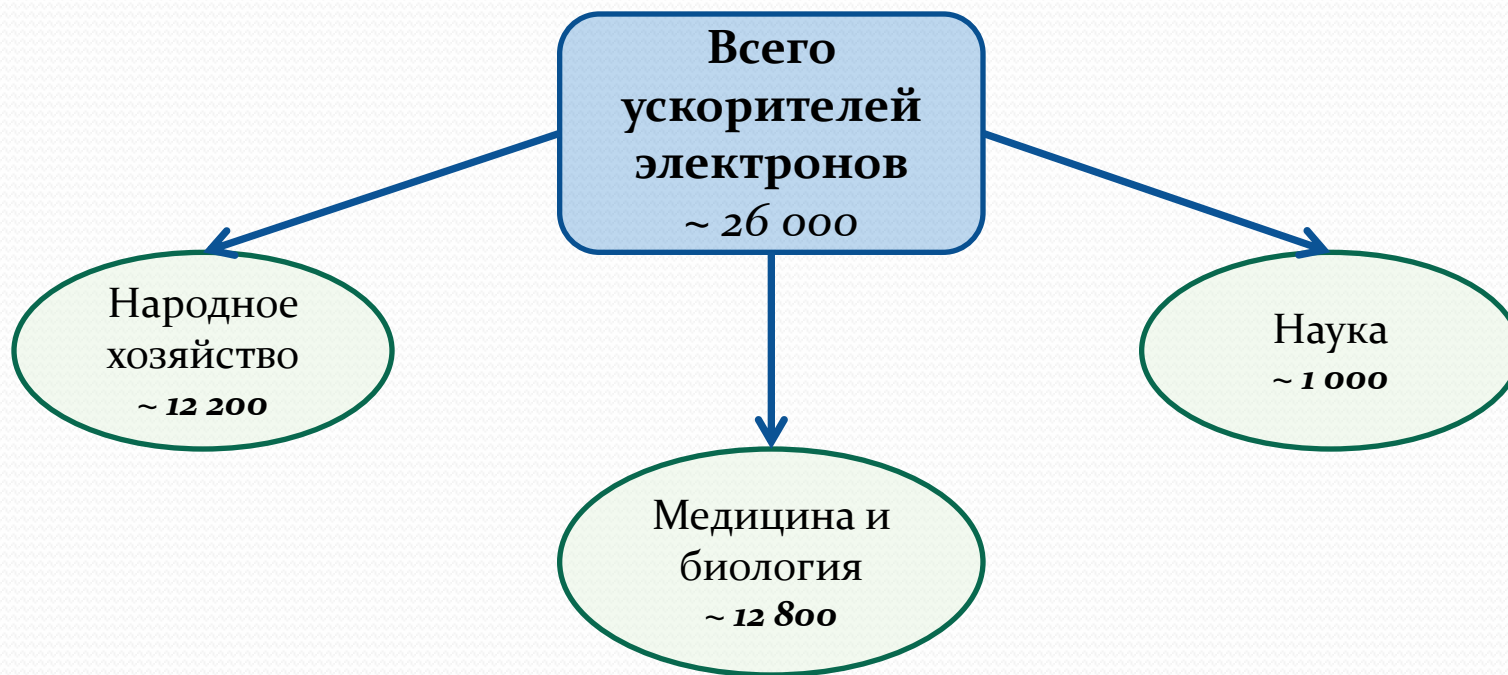
# Ускорители



## Ускорители в мировом хозяйстве



## Ускорители электронов

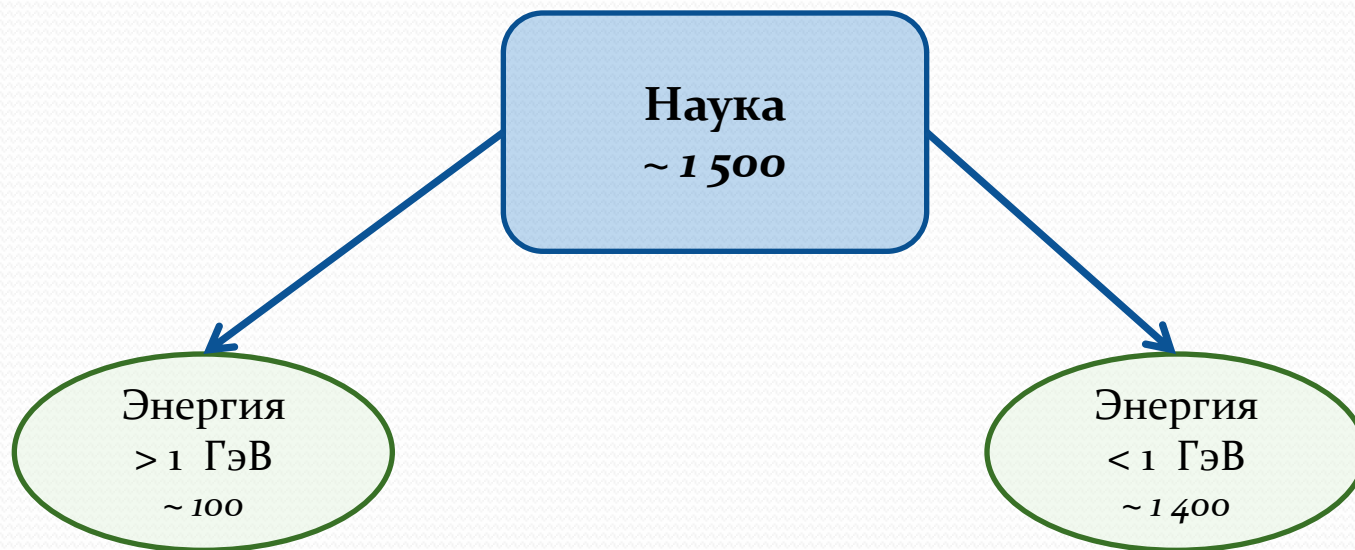


# Ускорители протонов и ионов





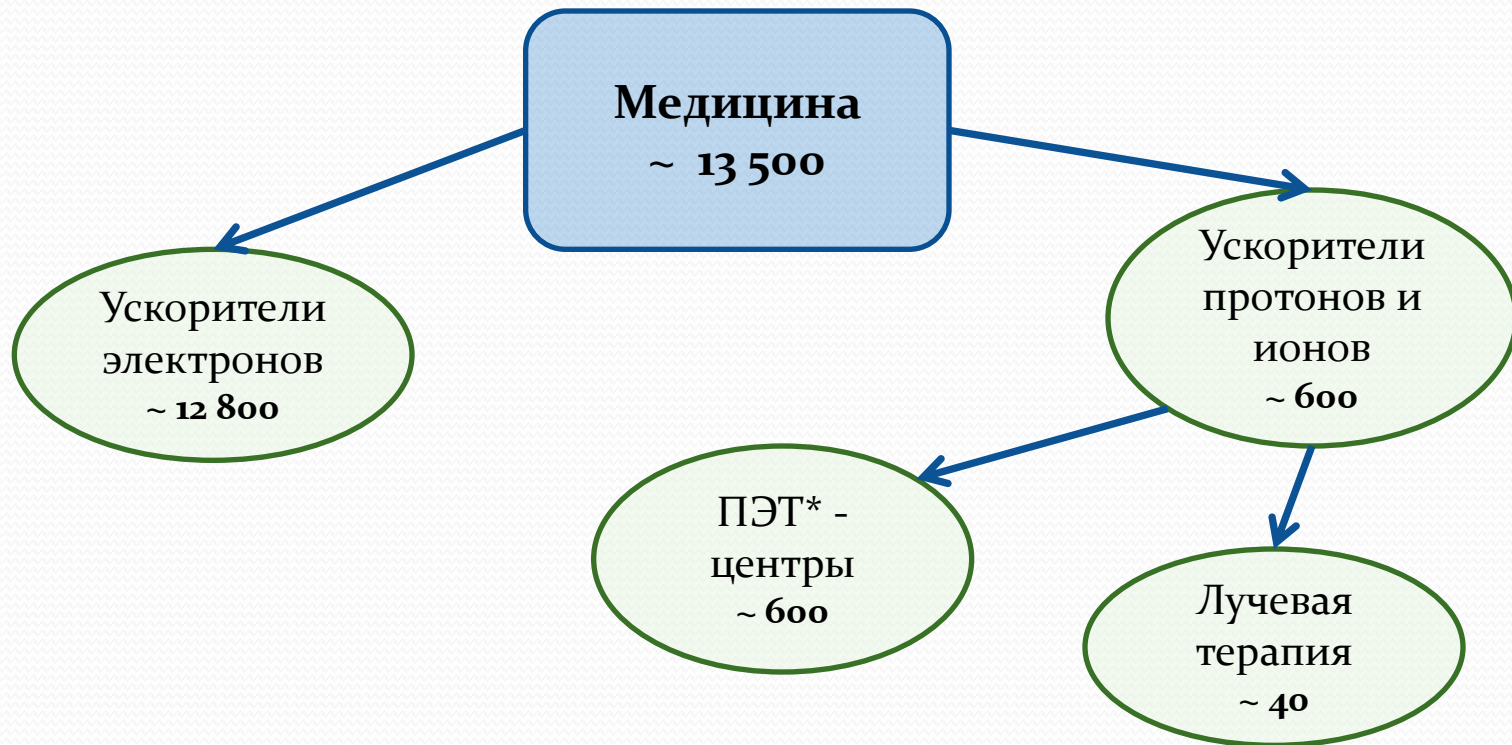
# Ускорители в науке



## Ускорители в народном хозяйстве

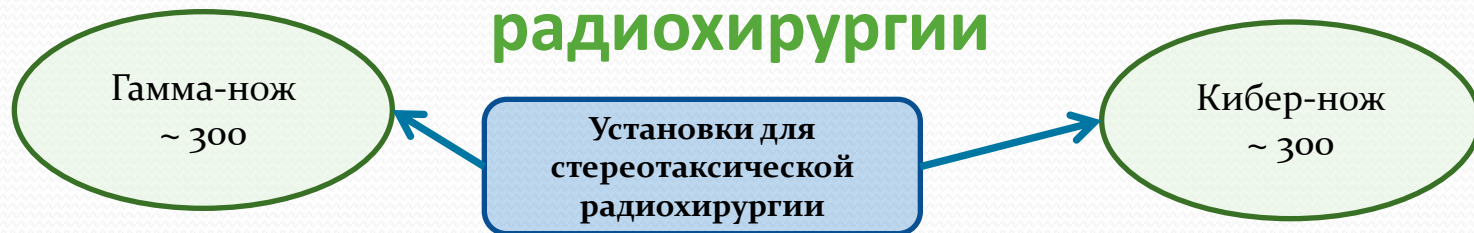


# Ускорители в медицине



\*ПЭТ – позитронно-эмиссионный томограф

# Установки для стереотаксической радиохирургии



США	120
Япония	55
Корея, Китай	20
Индия, Тайвань	10
Великобритания, Италия, Германия, <b>Россия</b>	5
Канада, Турция, Франция	3
Австрия, Бразилия, Египет, Колумбия, Мексика, Пуэрто-Рико,	2
Австралия, Аргентина, Бельгия, Венесуэлла, Вьетнам, Греция, Гонконг, Иран, Испания, Иордания, Марокко, Нидерланды, Норвегия, Пакистан, Польша, Португалия, Румыния, Сингапур, Таиланд, Филиппины, Хорватия, Чехия, Чили, Швеция, Швейцария и т.д.	1

США	160
Япония	30
Китай	15
Южная Корея	10
Италия	8
Франция, Турция, <b>Россия</b>	7
Германия	6
Тайвань, Великобритания	5
Канада	3
Индия, Польша, Испания, Венесуэла	2
Колумбия, Чехия, Греция, Гонконг, Малайзия, Мексика, Голландия, Саудовская Аравия, Швейцария, Таиланд, Украина, Вьетнам, Бельгия и т.д.	1

## Кибер - нож

**Содержит два основных элемента:** легкий линейный ускоритель, мобильная контролируемая компьютером роботизированная рука, имеющая 6 степеней свободы, позволяющая облучать мишень с 1200 возможных позиций для облучения

**Основное достоинство кибер – ножа** в том, что после определения положения опухоли и метастазов, каждый из объектов с высокой точностью облучается с многих направлений в одном сеансе.

Это оказывается возможным благодаря размещению легкого ускорителя на манипуляторе – руке робота.

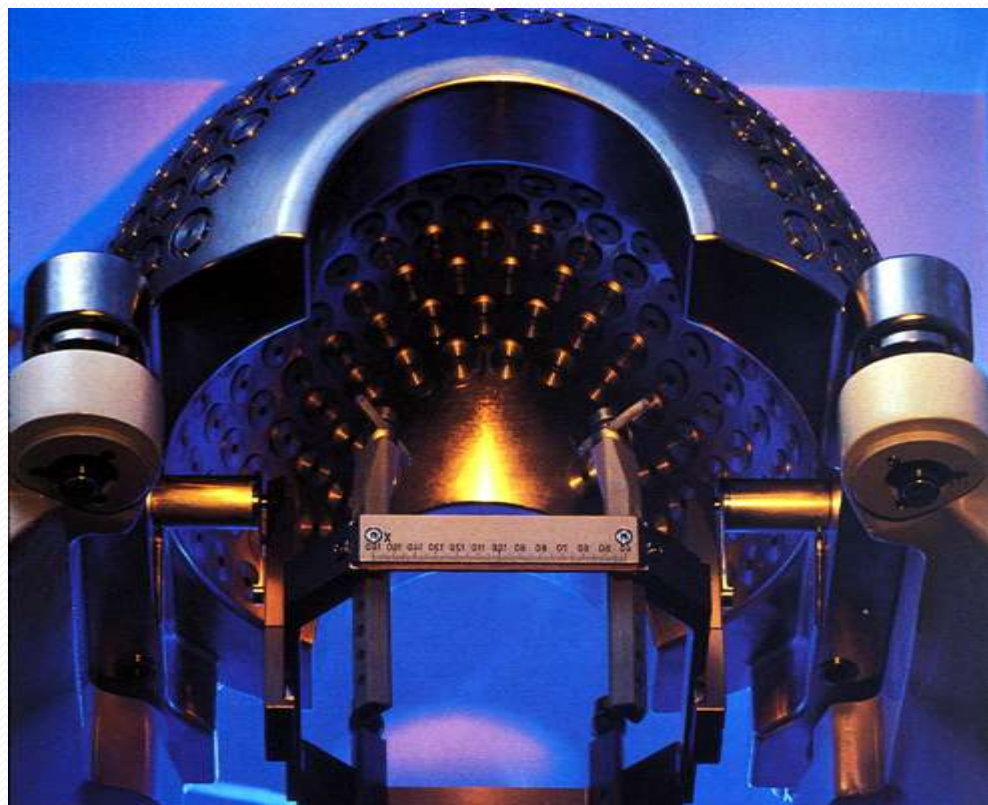
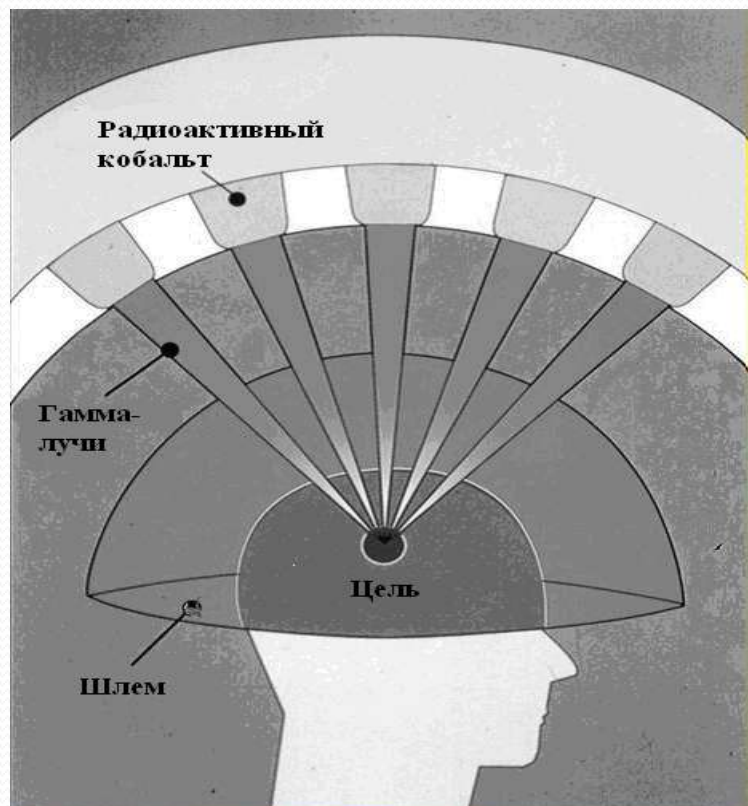
**Кибер – нож позволяет излечивать большое количество локализаций в теле человека**



## Гамма - нож

Гамма-нож - это медицинская установка, работающая на основе направленного, концентрированного  $\gamma$ - излучения.

Достоинство установки заключается в том, что 201 пучок от радиоактивных источников  $\text{Co}^{60}$  направляется в одну точку. Накапливаемая в мишени доза во много раз превышает дозу на поверхности тела человека



# Лазер на свободных электронах (ЛСЭ)

- ❖ США (Jlab, DFELL, VU FEL)
- ❖ Голландия (FELIX)
- ❖ Франция (CLIO)
- ❖ Япония (FELI, IR FEL)
- ❖ Россия (Новосибирск)
- ❖ **Планируется построить:** Европейский XFEL, Гамбург, Германия. В проекте участвует 14 стран: Германия, Россия, Великобритания, Венгрия, Греция, Дания, Италия, Испания, КНР, Польша, Словакия, Франция, Швеция, Швейцария.

**Применение в медицине:** хирургия, диагностика, точечная сварка тканей, удаление опухолей.

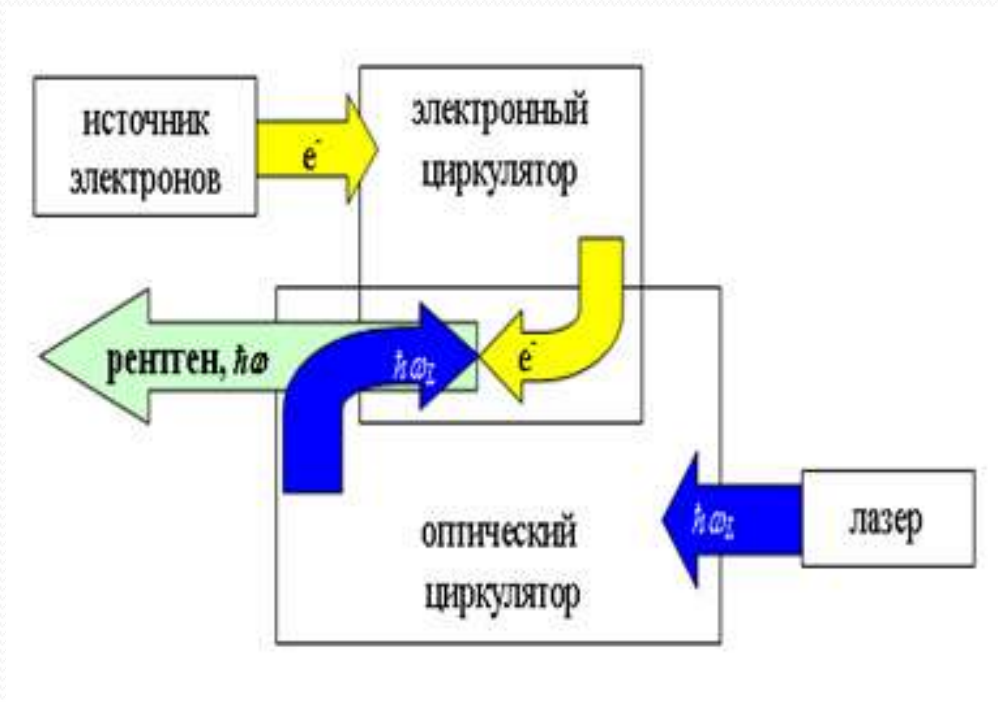
# Пучки монохроматического рентгеновского излучения

Идея установки - лазер на свободных электронах

$$E_e = 25 - 50 \text{ МэВ}$$

$$E_\gamma = 10 - 100 \text{ кэВ}$$

Средний поток  $10^{12} - 10^{14}$   
фотонов в секунду





# *Радиоизотопы*

## в мире

# Установки и центры, использующие радионуклиды



# В РОССИИ

## Установки и центры, использующие радионуклиды



# Позитронно-эмиссионный томограф (ПЭТ)

В ПЭТ используются радиоактивные изотопы, при распаде которых испускается позитрон

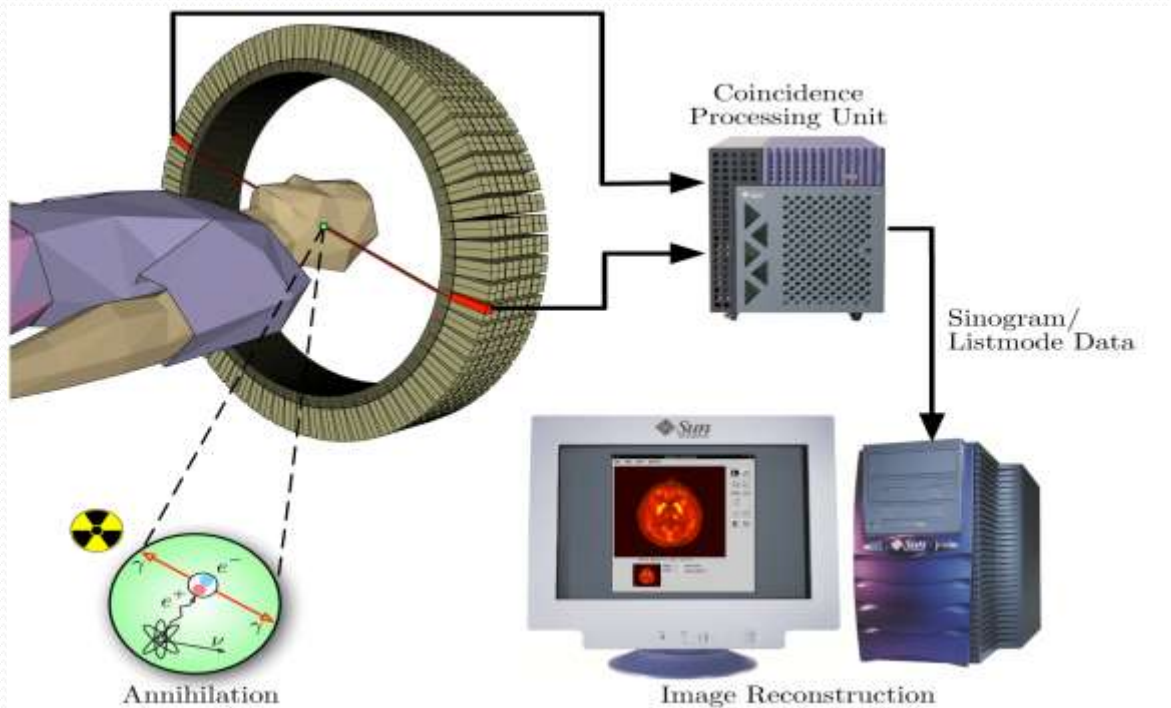
Позитрон проходит в окружающих тканях расстояние, равное 1-3 мм, теряя энергию при соударении с другими молекулами и атомами .



Позитрон с электроном аннигилируют, превращаясь в два фотона с энергией 0.511 МэВ, разлетающихся в противоположные стороны.



фотоны регистрируются сцинтилляционными кристаллами



# Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ)

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) и гамма – камера основана на использовании радиоактивных изотопов таллия-201 ( $Tl^{201}$ ) и технециума-99m ( $Tc^{99m}$ ), которые вводятся в тело человека

Гамма-камера состоит из коллиматора, детектора на базе сцинтилляционного кристалла  $NaI$  ( $Tl$ ), фотоэлектронных умножителей, электронной схемы определения положения и величины вспышек, компьютер для отображения и консоль оператора.



# *Подготовка кадров*

# Необходимое количество физико-технического персонала в РФ

Необходимо физико-технического персонала

~ 2 300

Инженеры  
~ 800

Медицинские  
и физики  
~ 1 500

Имеется физико-технического персонала

250

Инженеры  
~ 80

Медицинские  
физики  
~ 170

■ США ■ Европа ■ Россия



Сегодня физико-технических специалистов

В **10 раз** меньше, чем в Европе  
и В **28 раз** меньше, чем в США

# Подготовка специалистов в области медицинской физики на Физическом факультете МГУ

Кафедра физики ускорителей и радиационной медицины



Более **50 %** выпускников остается в специальности!



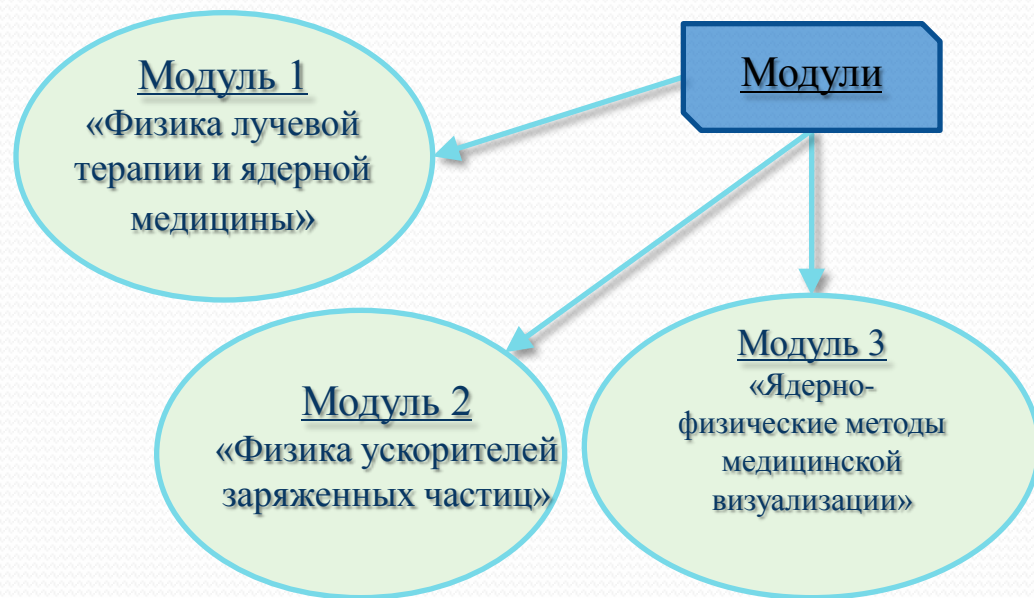
# Программа повышения квалификации «Физика ускорителей и радиационной медицины»

## Цель

Повышение качества профессиональной теоретической и практической подготовки специалистов, которые обеспечивают в медицине физико-математическое, техническое или инженерное сопровождение методов диагностики и терапии, основанных на применении ионизирующих излучений; выполняют научные исследования на ускорителях заряженных частиц; связаны с разработкой и внедрением радиационных технологий для промышленности и здравоохранения, или используют их.

## Категория слушателей

Специалисты с высшим образованием в области физико-математических и технических наук



<b>Объем программы</b>	88-264 часов
<b>Форма обучения</b>	дневная
<b>Режим обучения</b>	30-36 часов в неделю
<b>Сроки обучения</b>	3 недели для каждого модуля

# Тенденции развития ядерно-физических установок в медицине

## ❖ Создание полных диагностических комплексов, включающих

- УЗИ, МРТ, КТ, ОФЭКТ, ПЭТ;
- Комбинированных диагностических комплексов (МРТ+КТ, ПЭТ+КТ, ОФЭКТ+КТ и т. д.)

## ❖ Создание новых и переоснащение имеющихся радиологических отделений в регионах России.

## ❖ Широкое внедрение ускорительной техники в медицине:

- увеличение числа линейных ускорителей электронов;
- строительство центров протонной и адронной лучевой терапии;
- создание отделений стереотаксической радиохирургии.

## ❖ Развитие производства радиоизотопов и радиофармпрепаратов для диагностики и терапии:

- развитие действующего производства;
- разработка новых технологий.

## ❖ Разработка и внедрение ядерно-физической техники (ускорителей и томографов) российского производства.

Спасибо за внимание