



**РОСНАНО**

Российская корпорация нанотехнологий

# Ускорители в современном мире


Профессор

д. ф.-м. н. **ЧЕРНЯЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ**

Московский государственный  
университет им. М В. Ломоносова



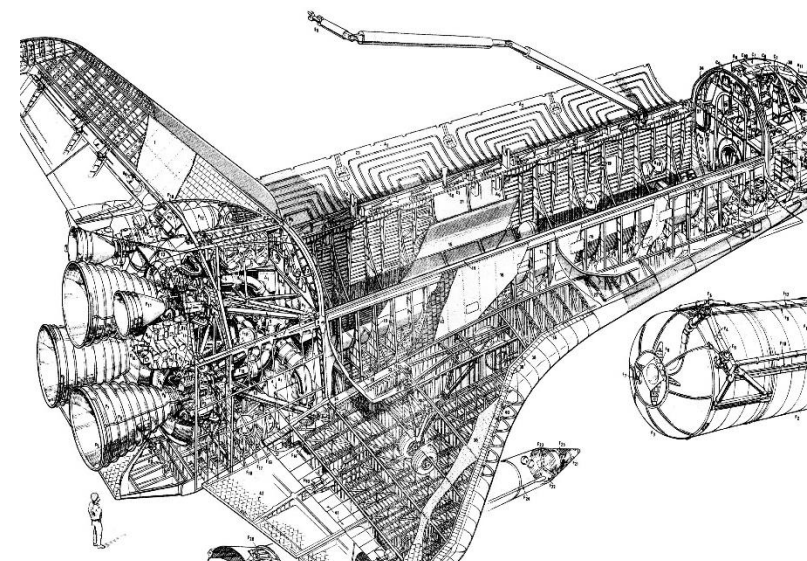
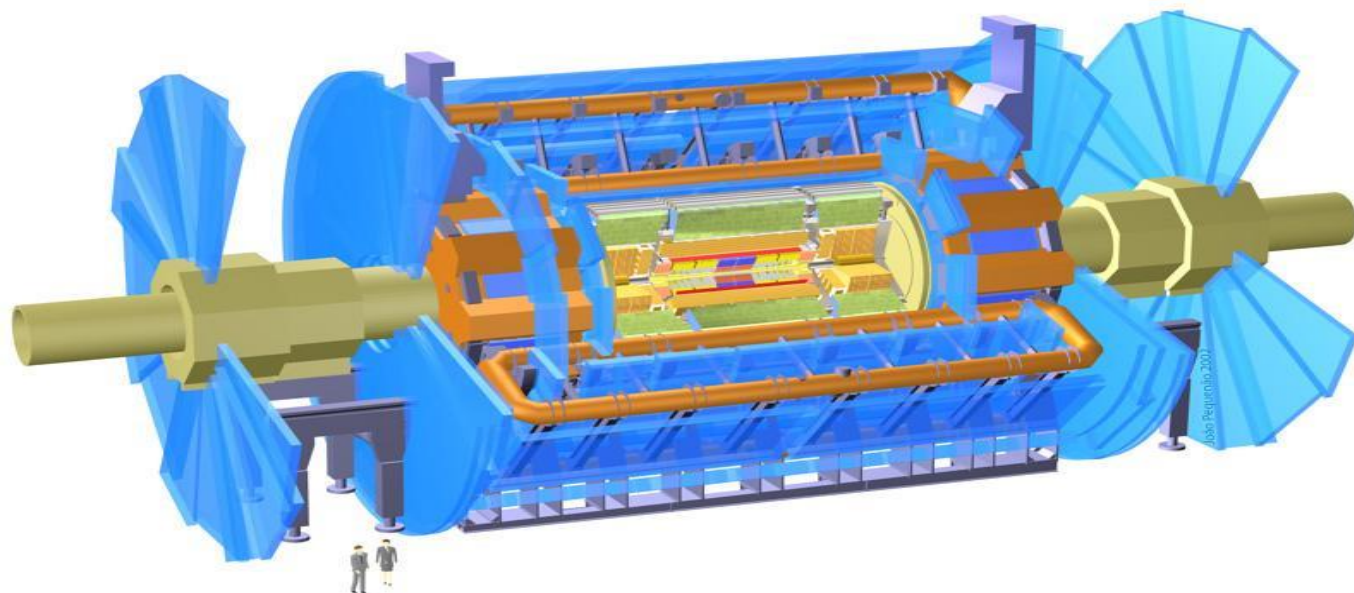
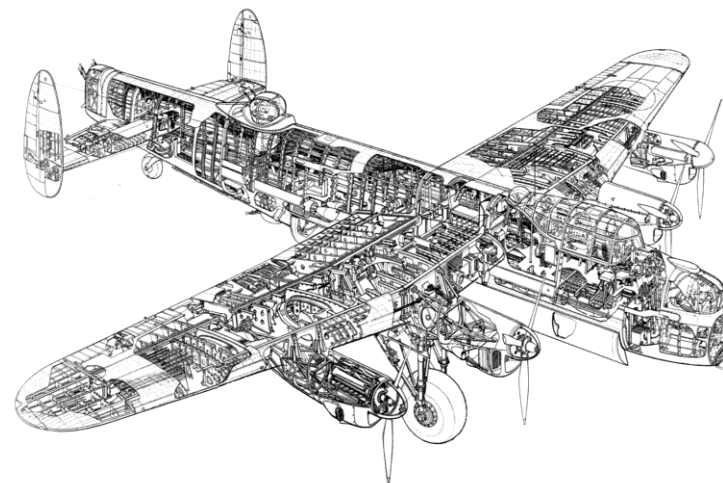
- **Ускорители в мировом хозяйстве**
  - ❖ В науке
  - ❖ В промышленном производстве и в сельском хозяйстве
  - ❖ В медицине
- **Ускорители в народном хозяйстве России**
- **Тенденции развития ускорительной техники**



# **Ускорители в мировом хозяйстве**

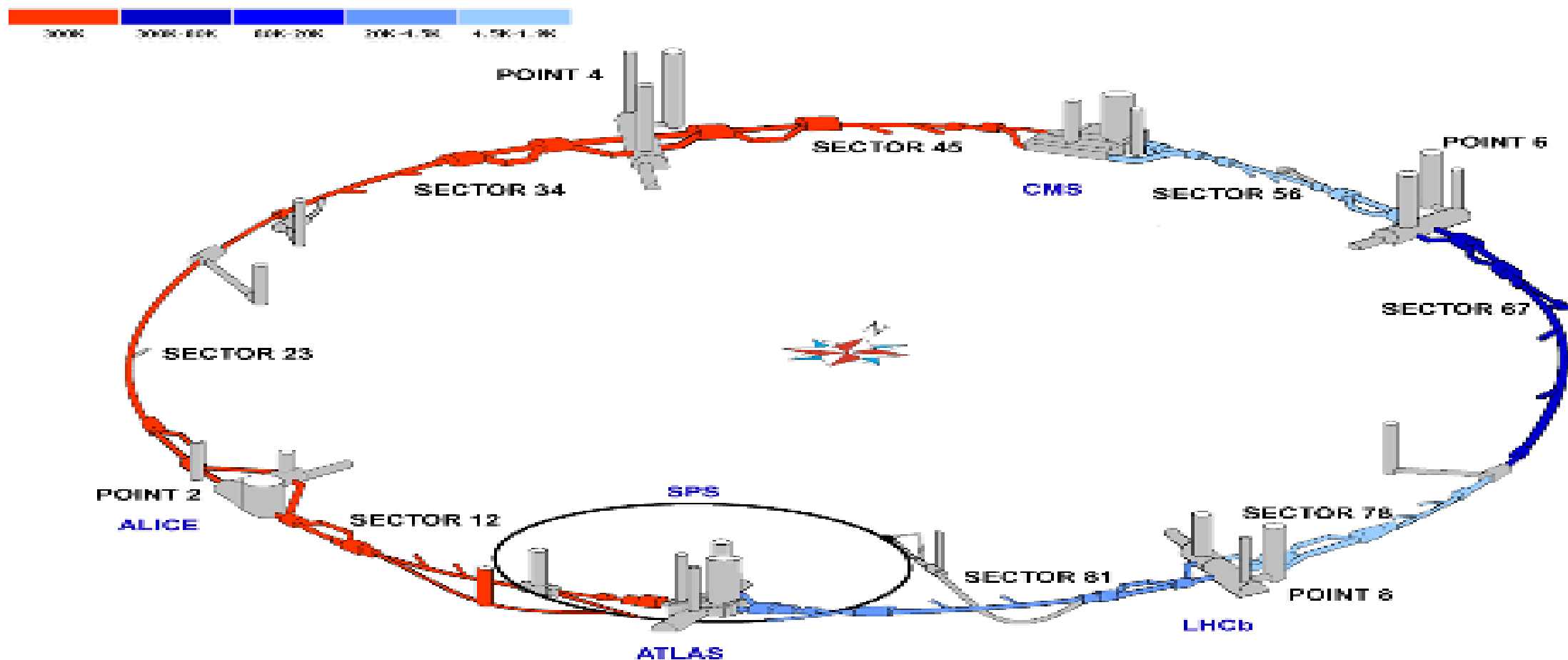
# Ускорители совершили переворот в нашем понимании окружающего мира

Устройство ускорителей по сложности сравнимо с самолетами, и даже шаттлами



# Ускорители совершили переворот в нашем понимании окружающего мира

## БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР



# Ускорители в мировом хозяйстве

**Наука**

~ 1 200

**Промышленность и  
сельское хозяйство**

~ 27 000

**Медицина**

~ 12 300

**Стерилизация и  
сельское  
хозяйство**

~ 1 500

**В мире**

~ 42 000

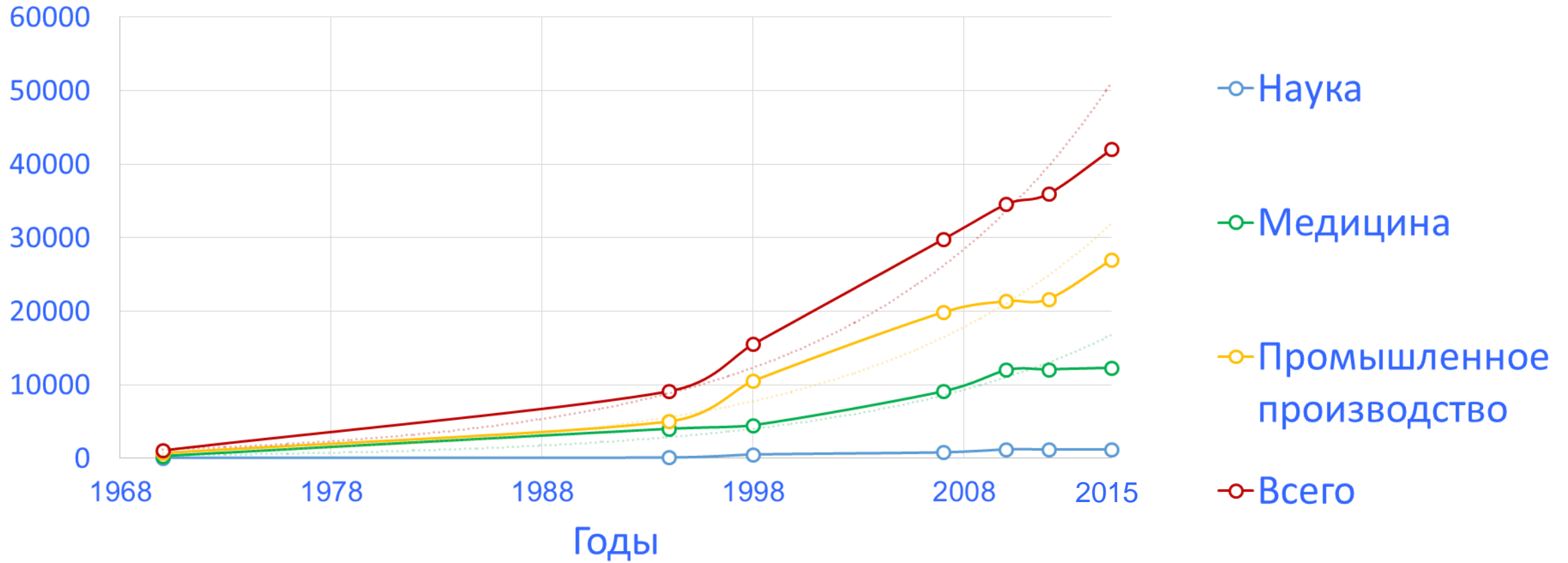
**Ускорители  
электронов**

~ 28 000

**Ускорители  
протонов и  
ионов**

~ 14 000

# Динамика роста ускорителей в современном мире

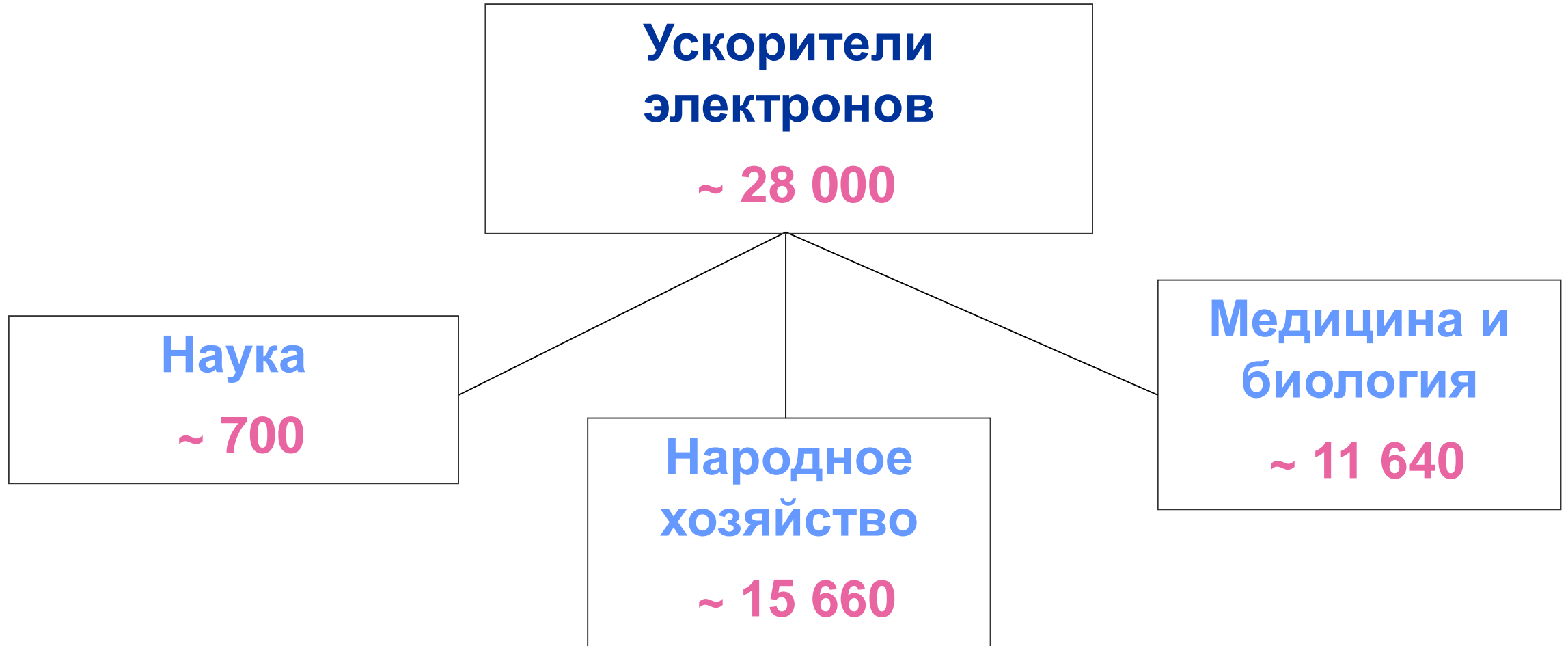


# Ускорители в мировом хозяйстве

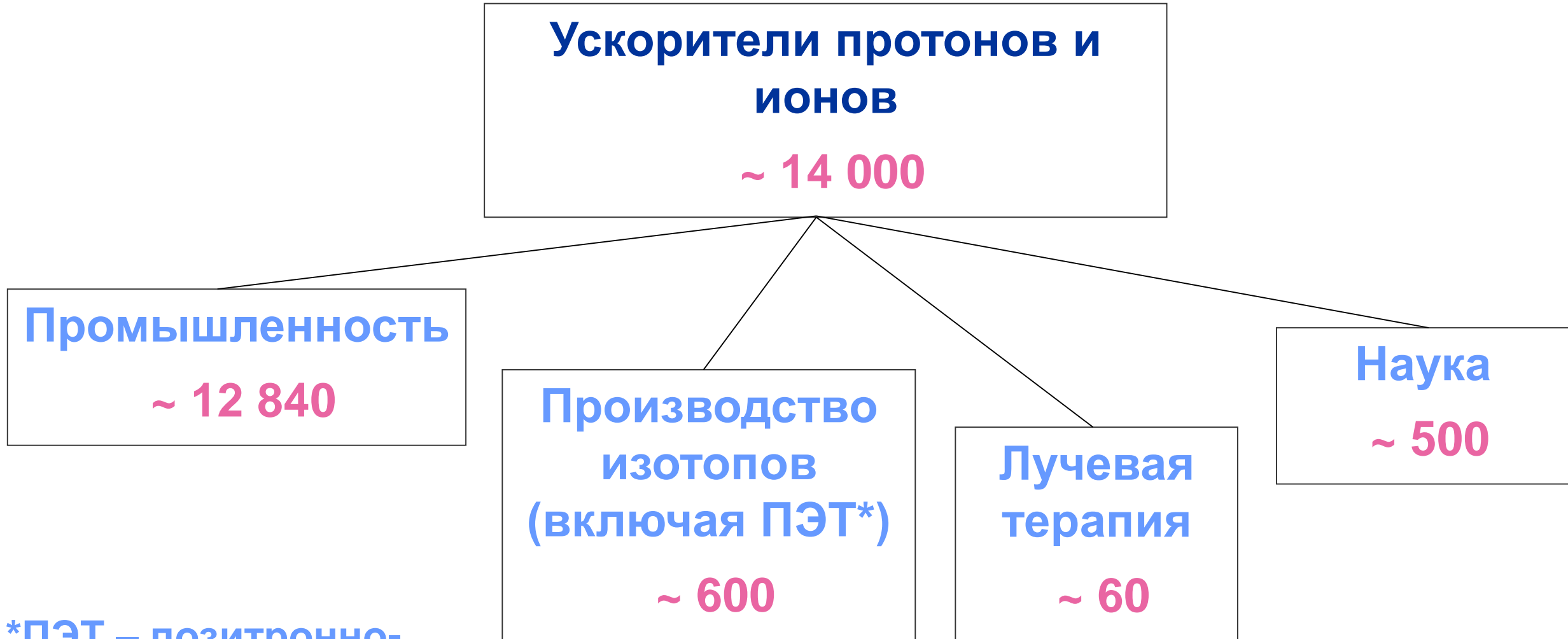




# Ускорители электронов в мире



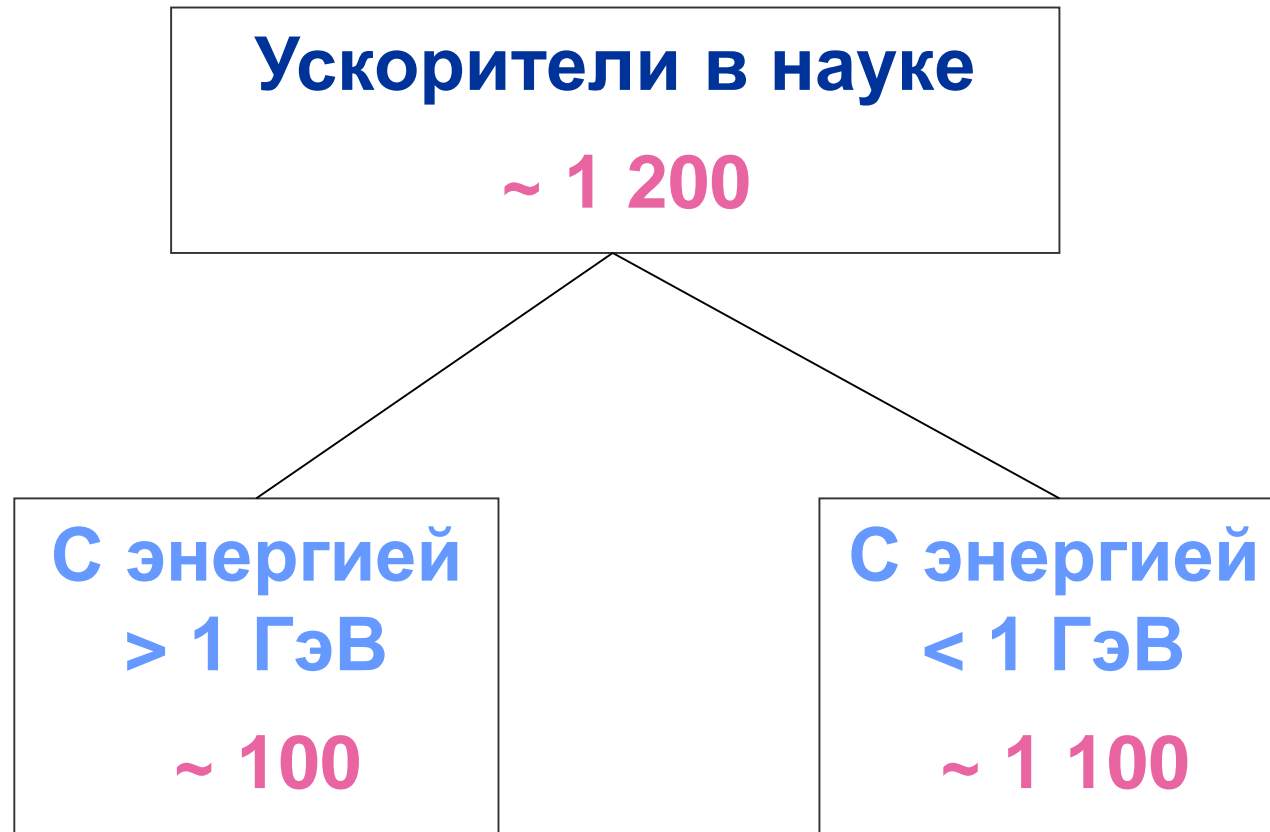
# Ускорители протонов и ионов в мире



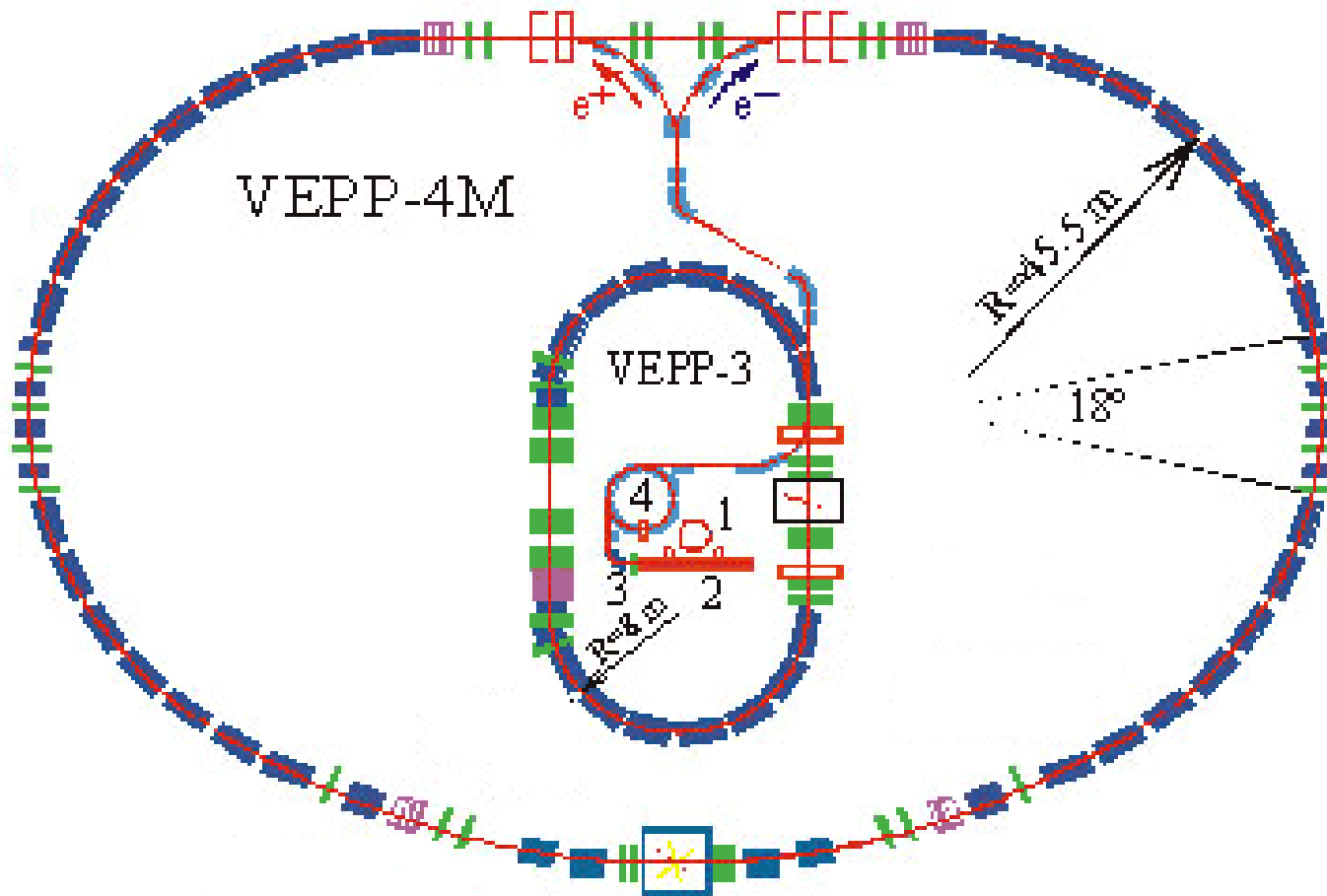
\*ПЭТ – позитронно-эмиссионный томограф



# Ускорители в науке



# Коллайдер $e^+e^-$ на энергию 6 ГэВ в Новосибирске



# Протонный синхротрон на 70 ГэВ в Протвино



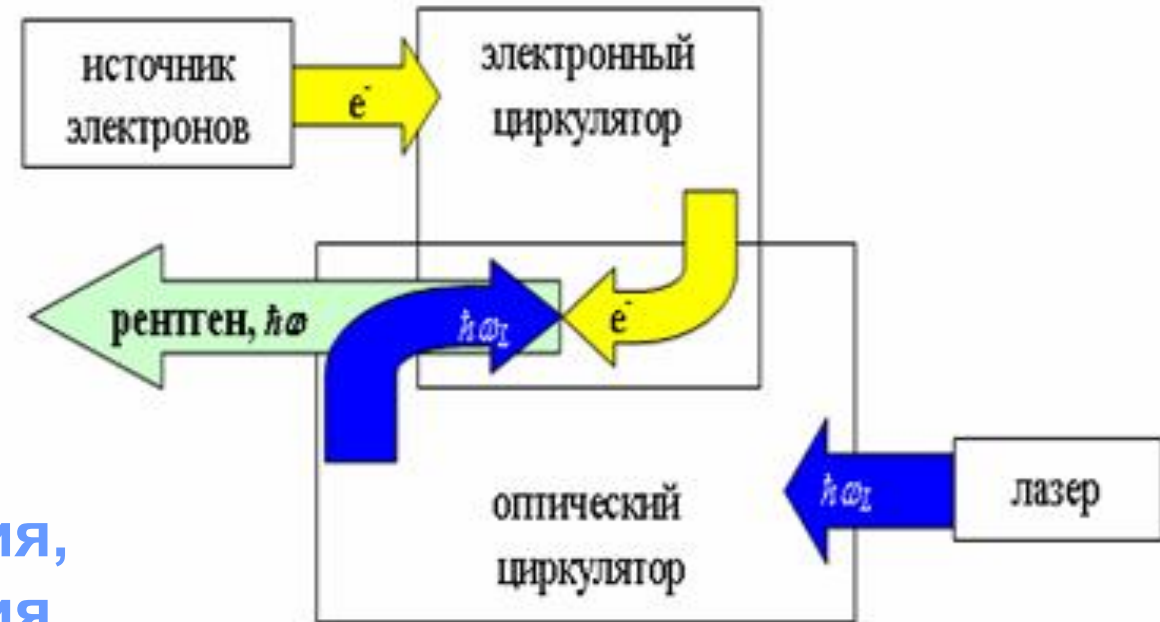
# Лазеры на свободных электронах


- 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

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





# **Ускорители в промышленном производстве**

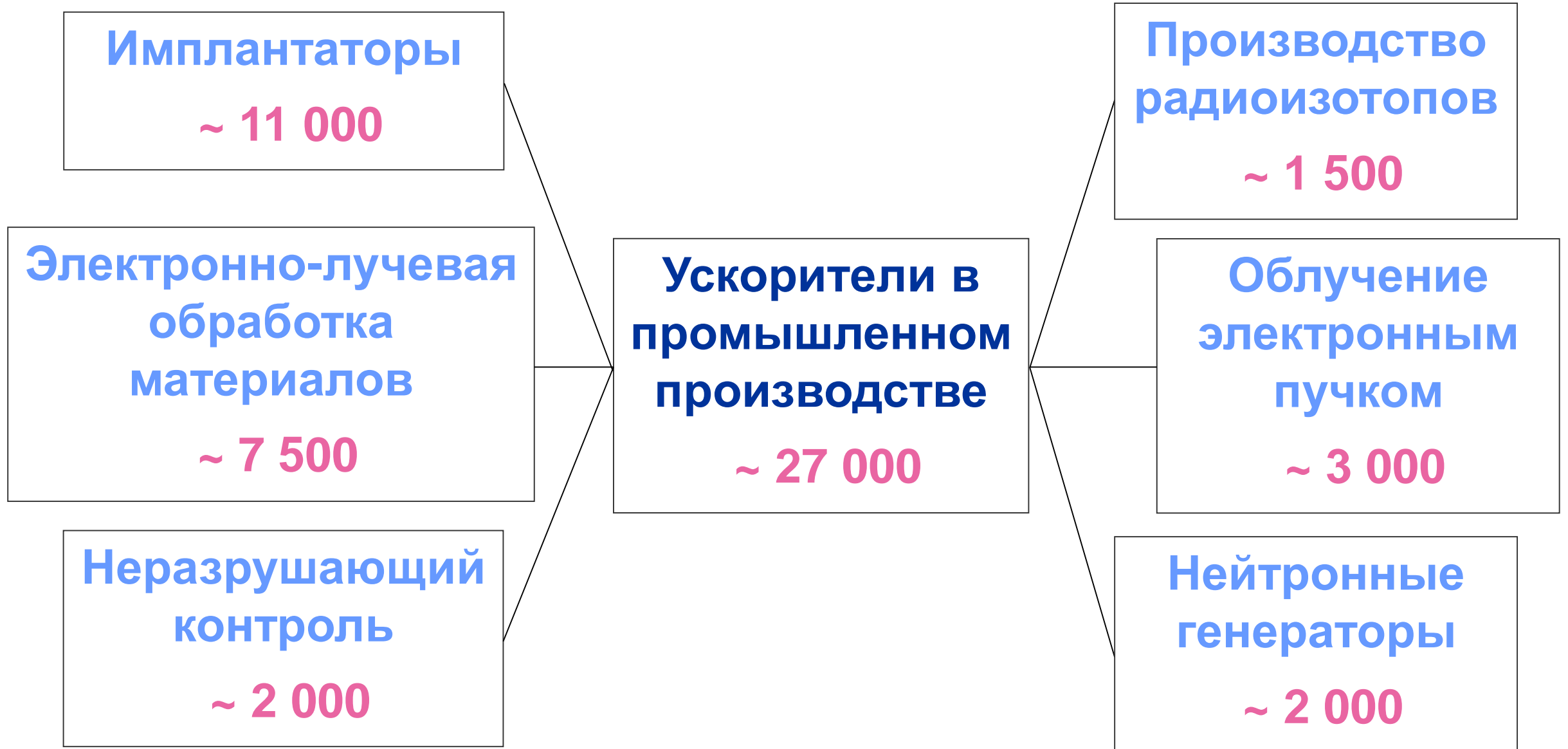


# Области применения ускорителей в промышленном производстве

- ✓ Стерилизация и обеззараживание медицинских изделий
- ✓ Радиационная сшивка изоляции кабелей и проводов
- ✓ Модификация полимеров
- ✓ Обработка продуктов питания
- ✓ Гражданская безопасность
- ✓ Экологические применения
- ✓ Обработка драгоценных камней
- ✓ Радиационная обработка в химической промышленности
- ✓ Обработка полупроводников



# Ускорители в промышленном производстве в мире



## Родотроны



### Основные параметры

<b>Частицы</b>	Электроны	Рентген
<b>Энергия</b>	2 -10, МэВ	5 – 7, МэВ
<b>Мощность</b>	35 – 700, кВт	

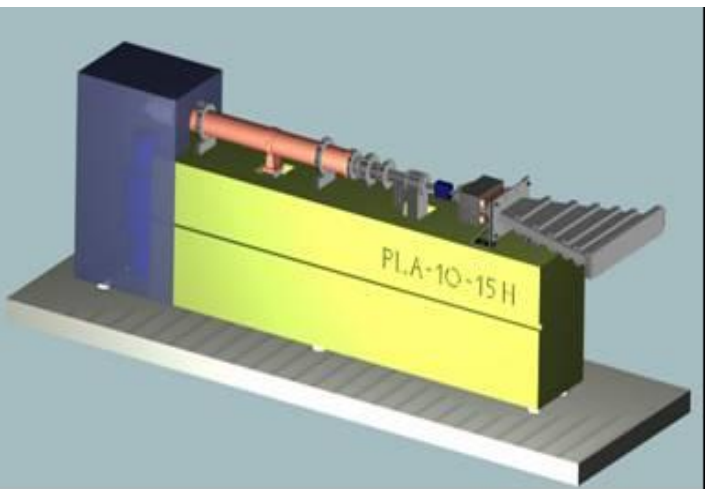
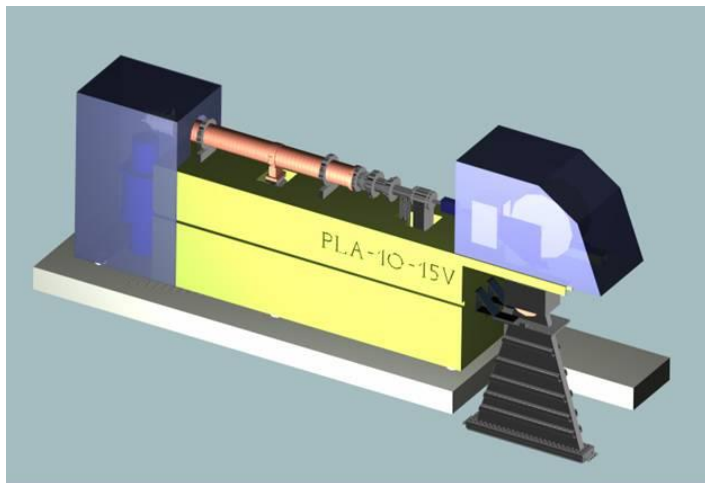
## Линейные ускорители



### Основные параметры

<b>Частицы</b>	Электроны	Протоны
<b>Энергия</b>	0,5 - 5, МэВ	до 4, МэВ
<b>Ток</b>	50 – 160, мА	до 10, мА

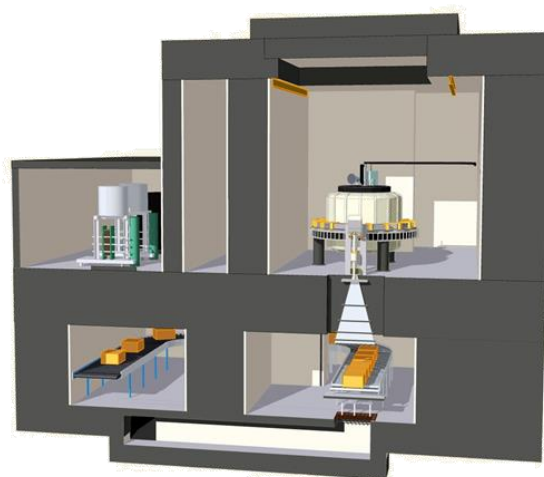
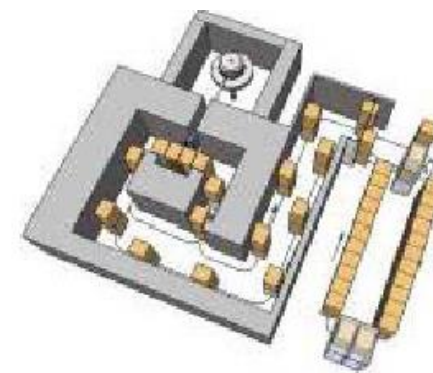
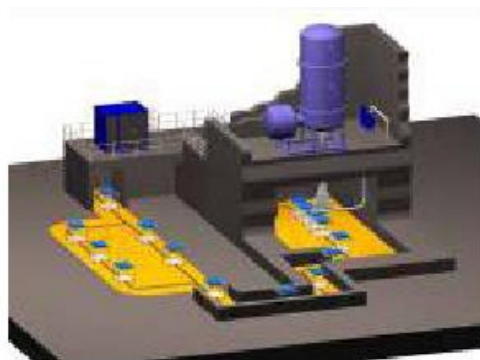
# Линейный ускоритель для стерилизации оборудования и медикаментов (НИИЯФ МГУ)



## Параметры:

Энергия пучка	10 МэВ
Импульсный ток	430 мА
Средняя мощность пучка	15 кВт
Рабочая частота	2856 МГц
Импульсная мощность клистрона	6 МВт
Средняя мощность клистрона	25 кВт
Полный КПД	20%
Ширина развертки	5 x 80 см
Размеры ускорителя	510 x 1100 x 2600 мм

# Возможны различные конфигурации центра радиационных технологий



# Объемы облученных продуктов питания в мире (тонн) на 2010 год

Китай	> 200 000
США	103 000
Вьетнам	66 000
Индонезия	6 923
Япония	6 246
Бельгия	5 840
Индия	2 100
Нидерланды	1 539
Таиланд	1 484
Франция	1 024


И еще около **3 330** в 11 странах

Облучение продуктов питания применяется **более чем в 40** странах мира

Всего **около 400 ктонн** облученных продуктов питания на **2010 год**

Мировые потери продукции на всех этапах производства **от 20 до 45 %**

Общая стоимость продуктов и товаров, созданных с использованием ускорителей, в год составляет **500 млрд \$**

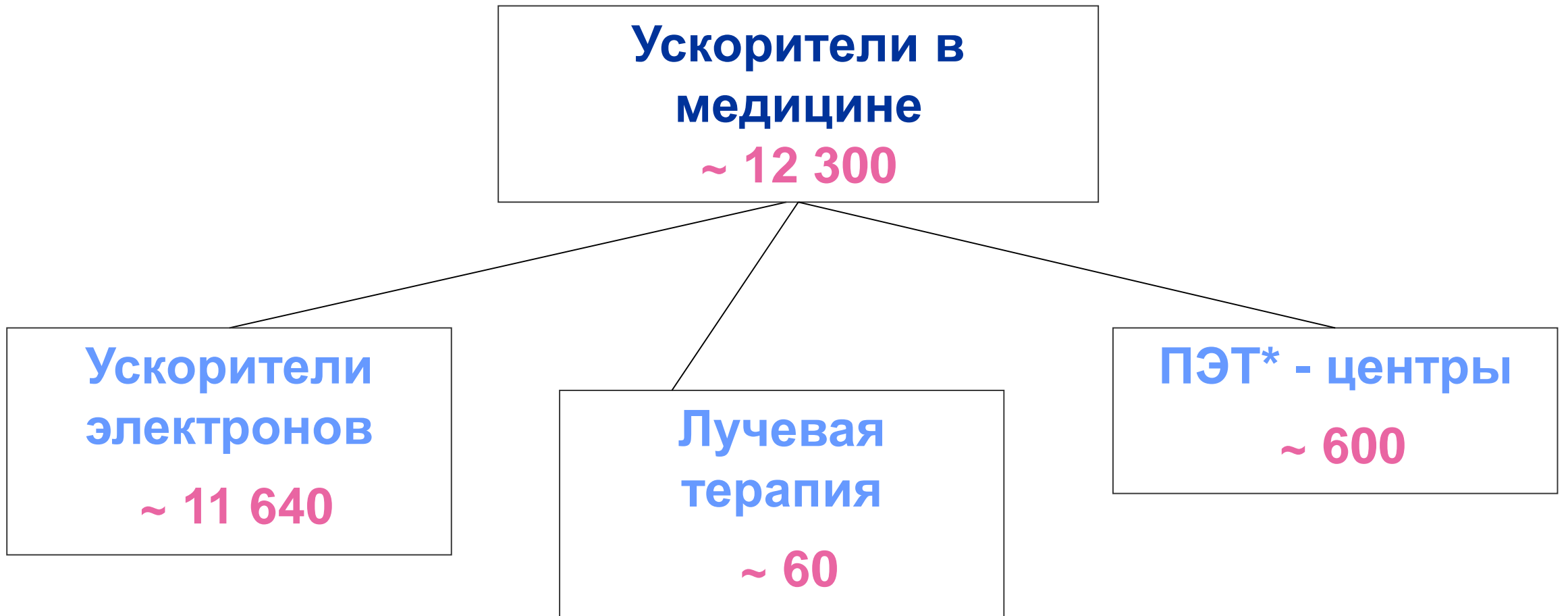


# **Ускорители в медицине**

# Ядерно-физические технологии в медицине в мире







\*ПЭТ – позитронно-эмиссионный томограф

Страна	Кол – во
1. США	3818
2. Китай	1017
3. Япония	847
4. Германия	514
5. Франция	476
6. Италия	376
7. Великобритания	314
8. Бразилия	288
9. Канада	267

Страна	Кол – во
10. Испания	207
11. Индия	176
<b>12. Россия</b>	<b>150</b>
13. Турция	141
14. Австралия	137
15. Нидерланды	128
16. Корея	121
17. Польша	112

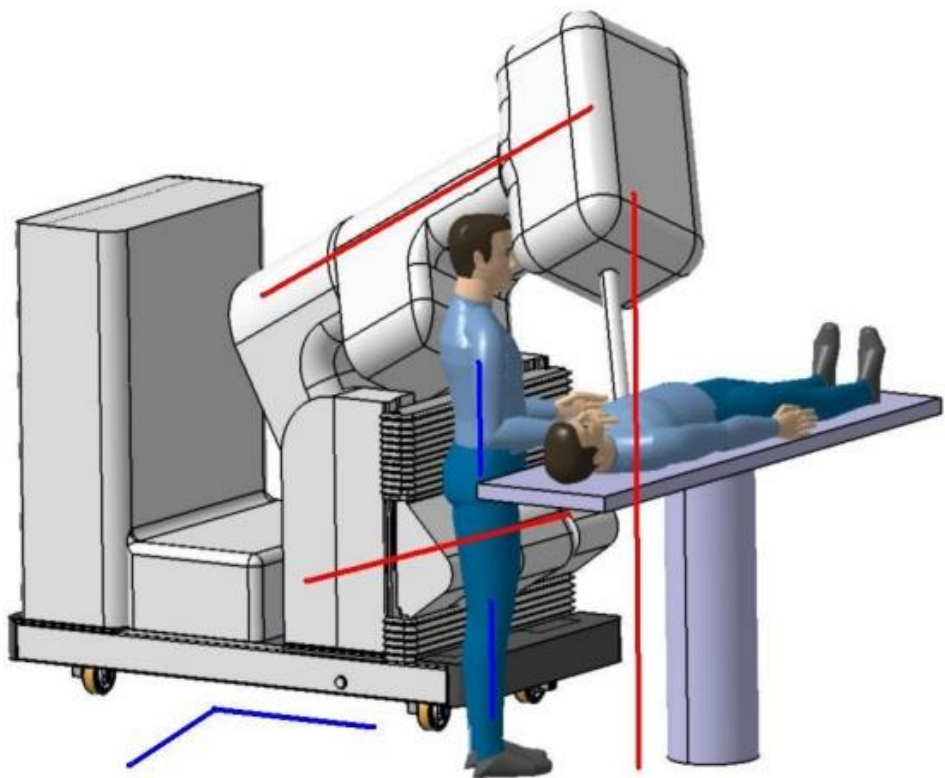
В 2014 году в **Москве** работали **33** медицинских ускорителя, в том числе **5** кибер-ножей

# Конвенциональная лучевая терапия Медицинские ускорители электронов



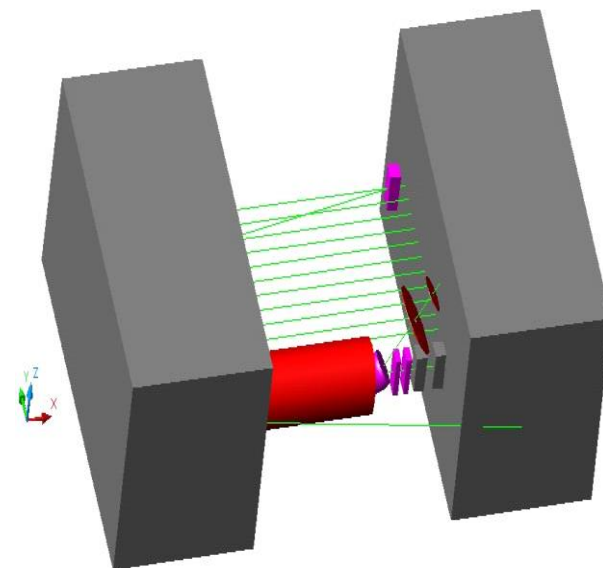
Основным инструментом лучевой терапии являются медицинские ускорители электронов  
Новейшие медицинские ускорители способны подвести к опухоли фотонное или электронное излучение, создав необходимое врачам распределение дозы с точностью до 0,5 мм





Ускорение электронов осуществляется в линейной ускорительной секции. Затем электроны разворачиваются в двух постоянных магнитах с магнитной индукцией 1 Тл, и ускорение вновь происходит в линейной секции

На каждом обороте электроны получают прирост энергии 1.0 МэВ

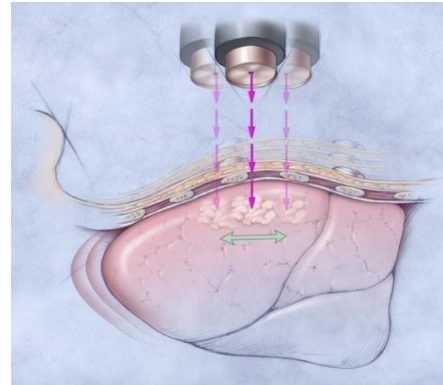
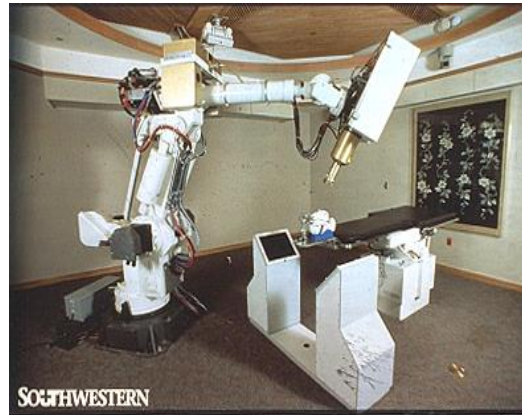


# Стереотаксическая ЛТ и радиохирургия

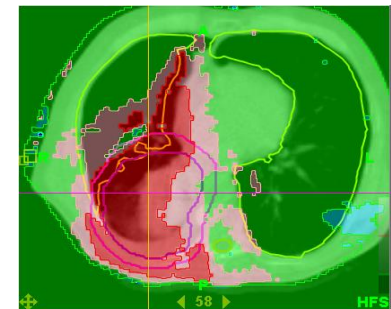
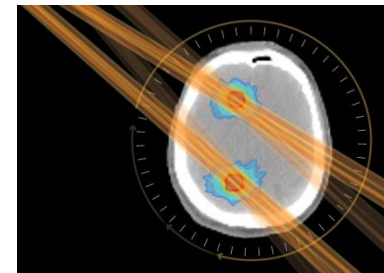
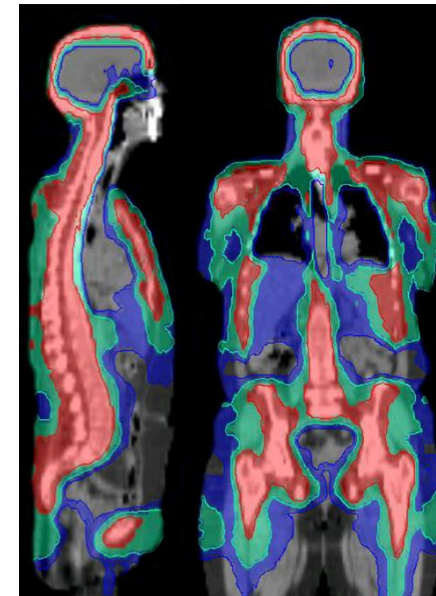
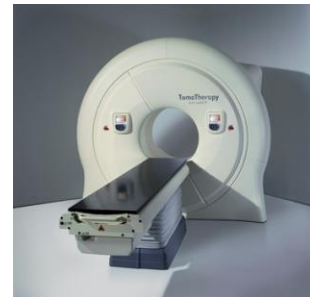
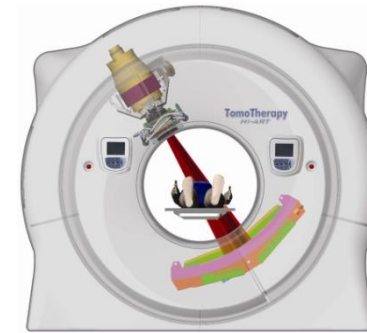
## «Гамма-нож»

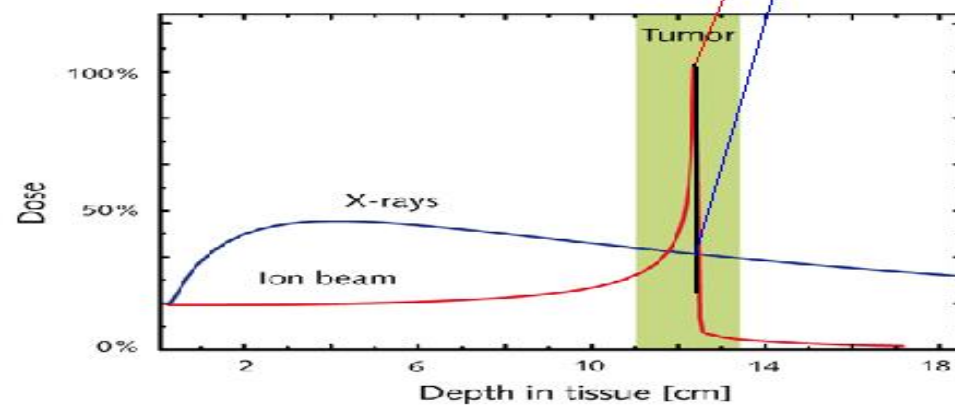
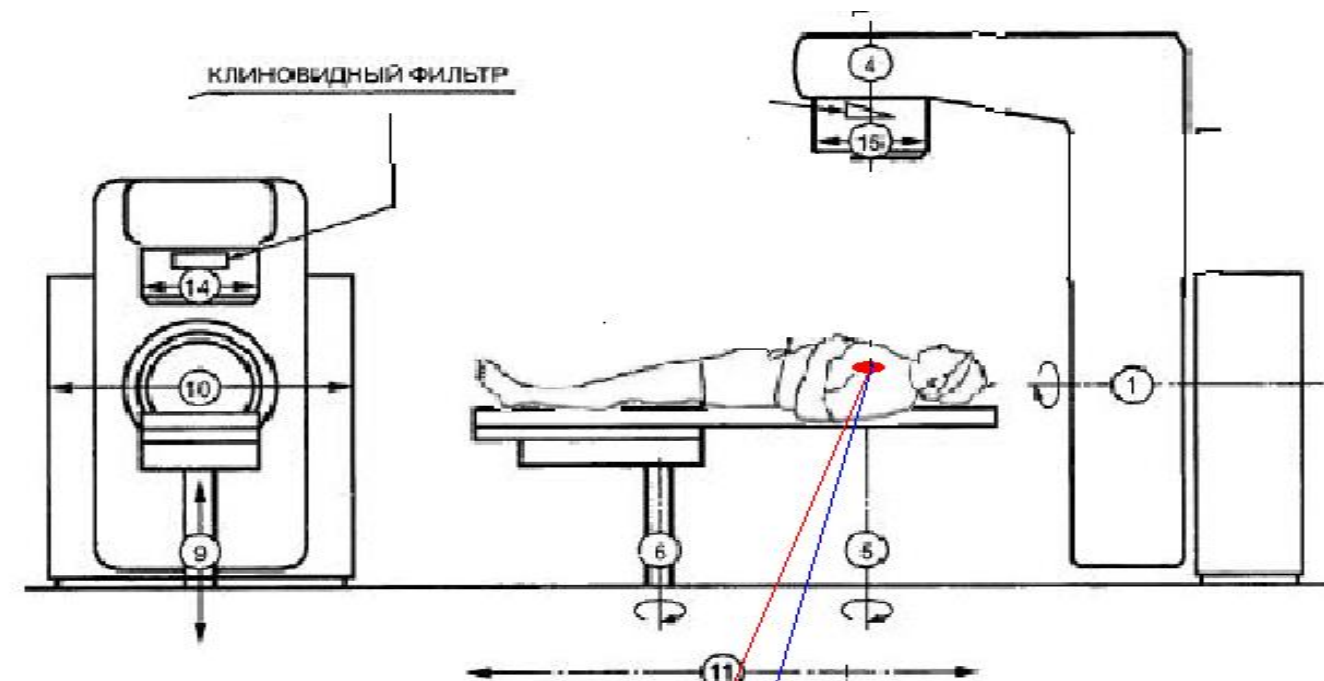


## «Кибер-нож»



## Томотерапия



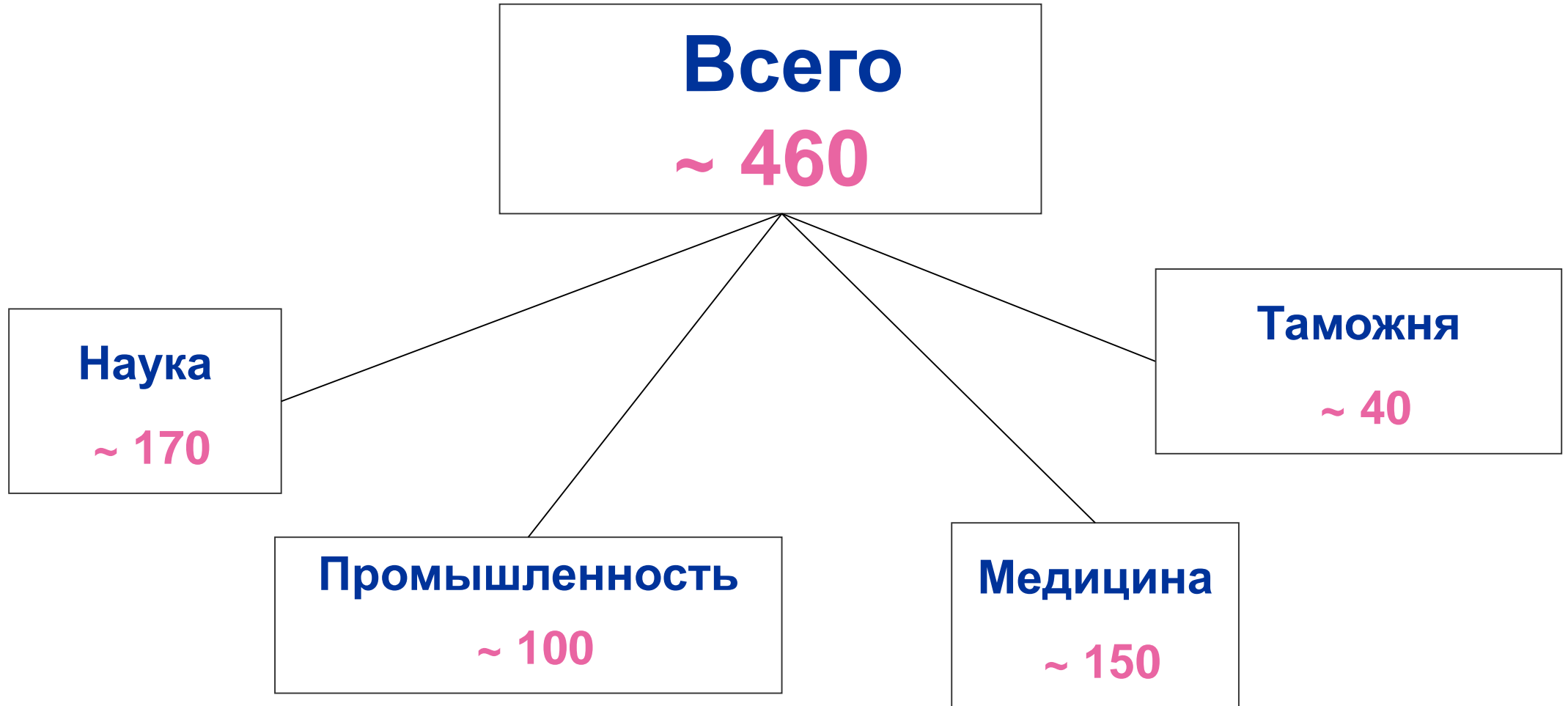




# **Ускорители в народном хозяйстве России**







# Ускорители в народном хозяйстве России

Распределение российских ускорителей и источников ионов, установленных за рубежом

---

Великобритания	220
Германия	121
Китай	78
Индия	20
США	19
Южная Корея	18

---

Всего **более 515**  
установок  
российского  
производства **в мире**

В России **работают 8**  
производителей  
ускорителей

И еще более 50 установок в 16 странах мира



# **Тенденции развития ускорительной техники**

## В промышленности:

- ❖ «Серийное» внедрение ускорителей в технологические процессы
- ❖ Разработка ускорителей, сконцентрированных на определенную технологию и обладающих уникальными параметрами (энергия, ток, точность облучения, размер, КПД, стабильность работы, простота эксплуатации и т. д.)
- ❖ Разработка новых технологий базирующихся на использовании ускорителей

## В фундаментальной науке:

- ❖ Реализация проекта линейного коллайдера
- ❖ Ускорение до высоких энергий пучков тяжелых ионов
- ❖ Поиск «новых» методов, значительно повышающих темп набора энергии (~100 МэВ - 1 ГэВ/м)
- ❖ Разработка источников синхротронного излучения четвертого поколения

## В медицине:

- ❖ Быстрый рост количества линейных ускорителей электронов с энергией 3 – 25 МэВ и протонов с энергией 200 – 250 МэВ для лучевой терапии
- ❖ Развитие ускорительной техники для стереотаксической хирургии (уменьшение их размеров, веса и увеличение мощности пучка)
- ❖ Строительство «холодных» кольцевых ускорителей для ядерной медицины (производство изотопов для радиотерапии, для диагностики ПЭТ и ОФЭКТ)
- ❖ Разработка компактных установок синхротронного излучения в медицинских целях
- ❖ Внедрение «холодных» ускоряющих структур и «холодных» магнитов в новые ускорительные установки



**РОСНАНО**

Российская корпорация нанотехнологий

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**ЧЕРНЯЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ**  
**Московский государственный**  
**университет им. М В. Ломоносова**  
Заведующий кафедрой ускорителей и  
радиационной медицины



г. Москва,

Ленинские горы 1 стр. 2, к. 335



Тел.: +7 495 939 13 44



Email: [a.p.chernyaev@yandex.ru](mailto:a.p.chernyaev@yandex.ru)