



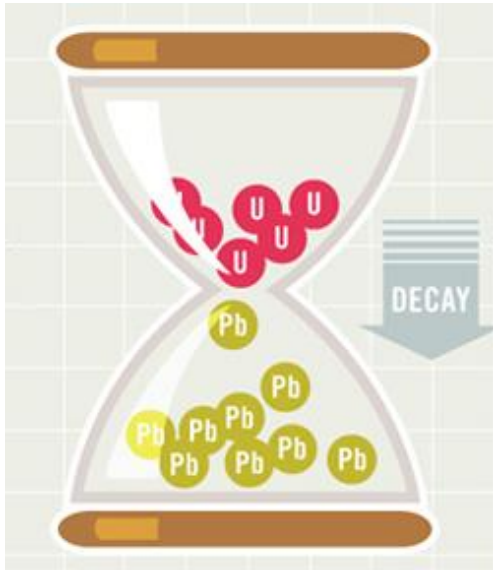
# Ядерная физика и Человек

# Радиационные технологии

# Как определить возраст Земли?



# Как определить возраст Земли?



ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

$$dN = -\lambda N dt$$

Число ядер урана

$$N_U(t) = N_U(0)e^{-\lambda_U t}$$

Число ядер свинца за счет распада урана

$$N_{Pb}(t) = N_U(0)(1 - e^{-\lambda_U t}) = N_U(t)(e^{\lambda_U t} - 1)$$

Соотношение между изотопами свинца

$$\frac{N_{206Pb}(t)}{N_{204Pb}(t)} = \frac{N_{206Pb}(0)}{N_{204Pb}(0)} + \frac{N_{238U}(t)}{N_{204Pb}(t)} (e^{\lambda_{238U} t} - 1)$$

# Как определить возраст Земли?

$$\Delta \left( \frac{N_{206}}{N_{204}} \right) = \frac{N_{206Pb}(t)}{N_{204Pb}(t)} - \frac{N_{206Pb}(0)}{N_{204Pb}(0)} = \frac{N_{238U}(t)}{N_{204Pb}(t)} (e^{\lambda_{238U}t} - 1)$$

$$\Delta \left( \frac{N_{207}}{N_{204}} \right) = \frac{N_{207Pb}(t)}{N_{204Pb}(t)} - \frac{N_{207Pb}(0)}{N_{204Pb}(0)} = \frac{N_{235U}(t)}{N_{204Pb}(t)} (e^{\lambda_{235U}t} - 1)$$

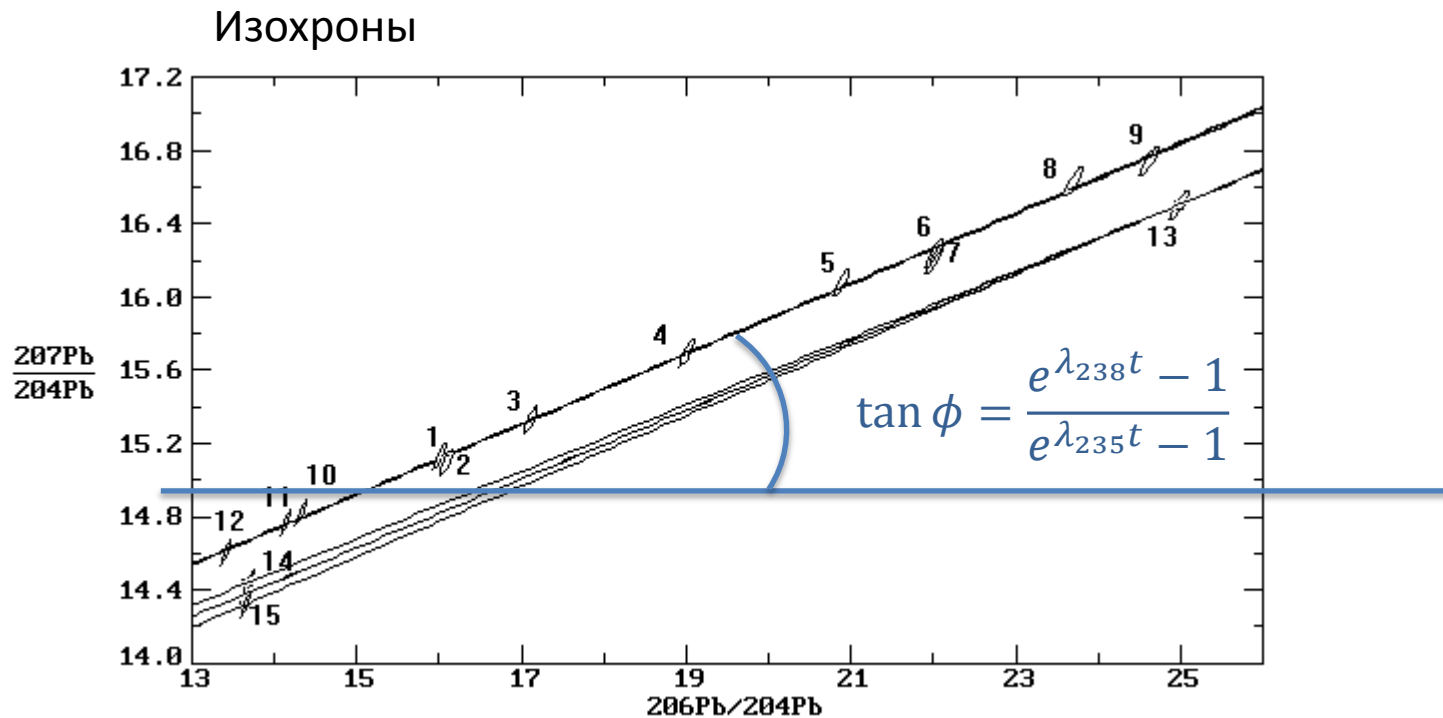
Изменение соотношения между изотопами свинца

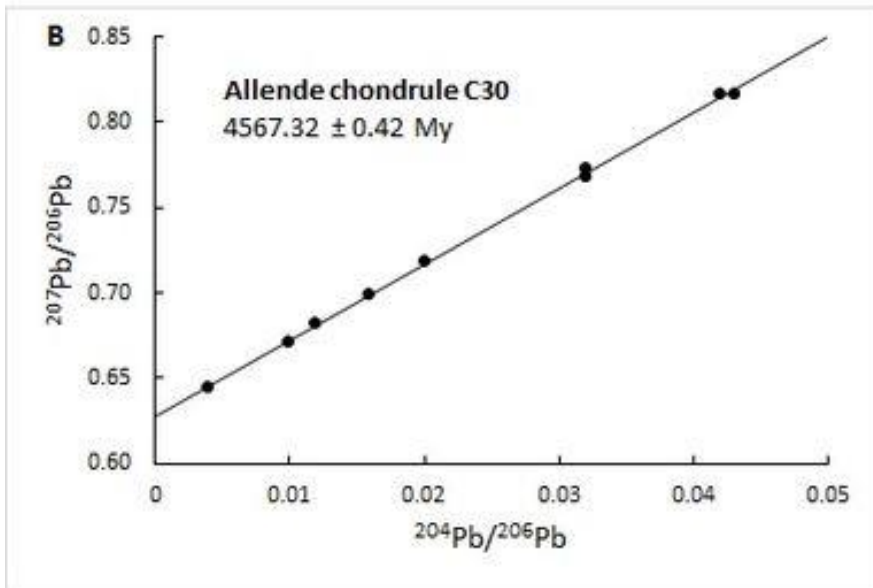
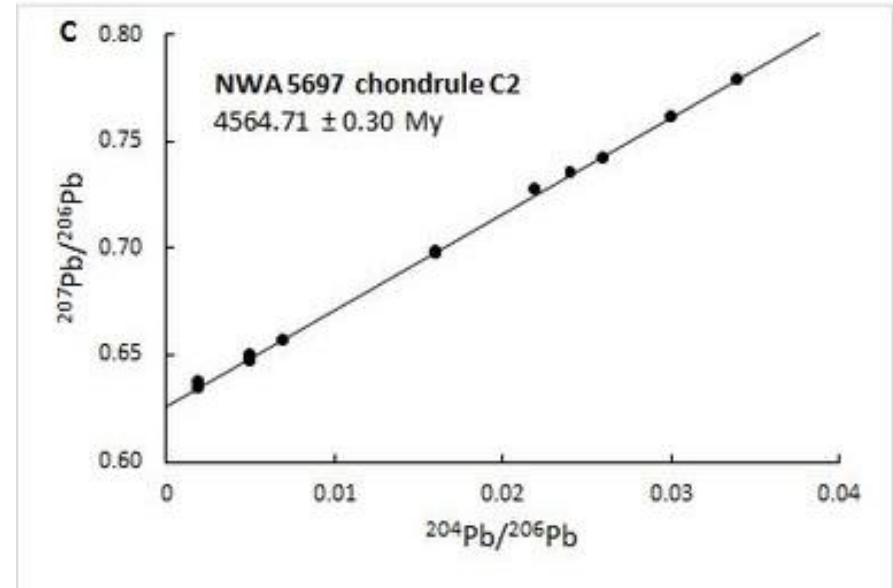
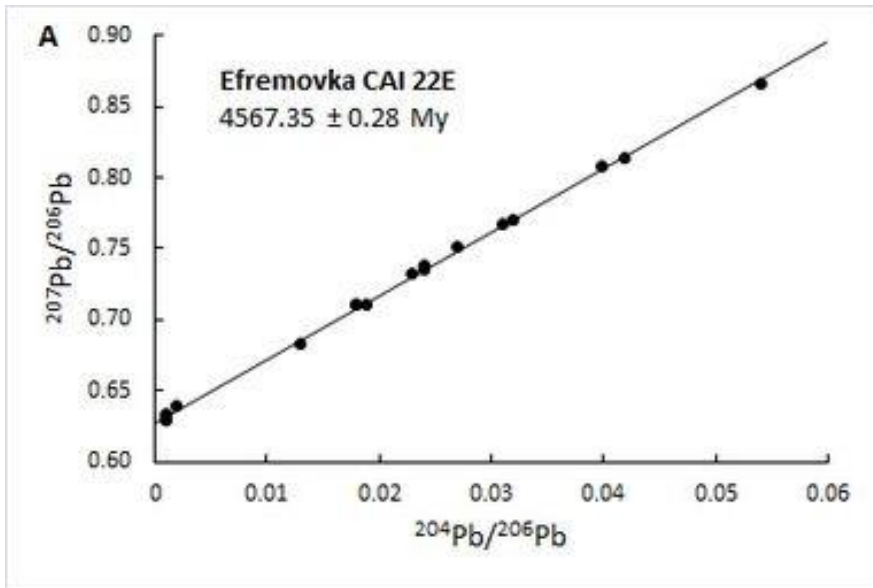
$$\frac{\Delta \left( \frac{N_{206}}{N_{204}} \right)}{\Delta \left( \frac{N_{207}}{N_{204}} \right)} = \frac{N_{238U}(t) (e^{\lambda_{238U}t} - 1)}{N_{235U}(t) (e^{\lambda_{235U}t} - 1)}$$

# Как определить возраст Земли?

$$\frac{N_{238U}(t)}{N_{235U}(t)} = Const = 137,798 \pm 0,013$$

Постоянная распада  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$





Возраст Солнечной системы  
 $T \sim 4567.7 \cdot 10^6$  лет

Connelly, J.N., Bizzarro, M., Krot, A.N., Nordlund, A., Wielandt, D., and M.A. (2012). The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk. *Science*, 338: 651 – 655.



# Ядерная хронология

## Изотопы, используемые в ядерной хронологии

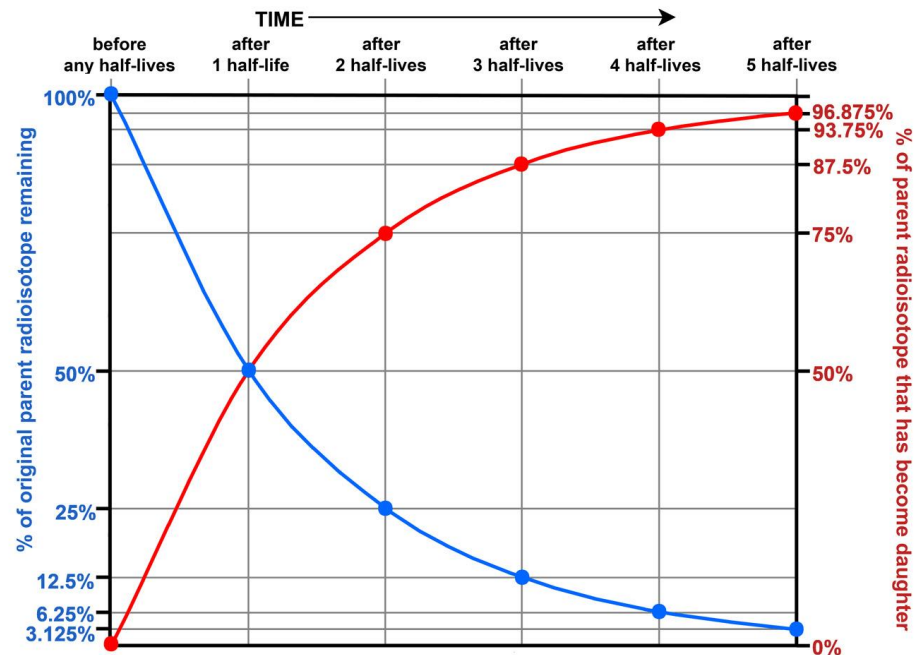
Исходный изотоп	Период полураспада, лет	Распространенность, %	Ядро-продукт
$^{14}\text{C}$	5700		$^{14}\text{N}$
$^{40}\text{K}$	$1.238 \cdot 10^9$	0.0117	$^{40}\text{Ar}$
$^{87}\text{Rb}$	$4.81 \cdot 10^{10}$	27.84	$^{87}\text{Sr}$
$^{129}\text{I}$	$1.57 \cdot 10^7$		$^{129}\text{Xe}$
$^{187}\text{Re}$	$4.12 \cdot 10^{10}$	62.6	$^{187}\text{Os}$
$^{232}\text{Th}$	$1.40 \cdot 10^{10}$	100	$^{208}\text{Pb}$
$^{235}\text{U}$	$7.04 \cdot 10^8$	0.7204	$^{207}\text{Pb}$
$^{238}\text{U}$	$4.468 \cdot 10^9$	99.2742	$^{206}\text{Pb}$

# Ядерная хронология

- ❑ долгоживущие радиоактивные изотопы, образующиеся при взаимодействии космических лучей с ядрами атмосферы Земли
- ❑ долгоживущие радиоактивные изотопы, образовавшиеся во время формирования Солнечной системы
- ❑ долгоживущие изотопы радиоактивных семейств

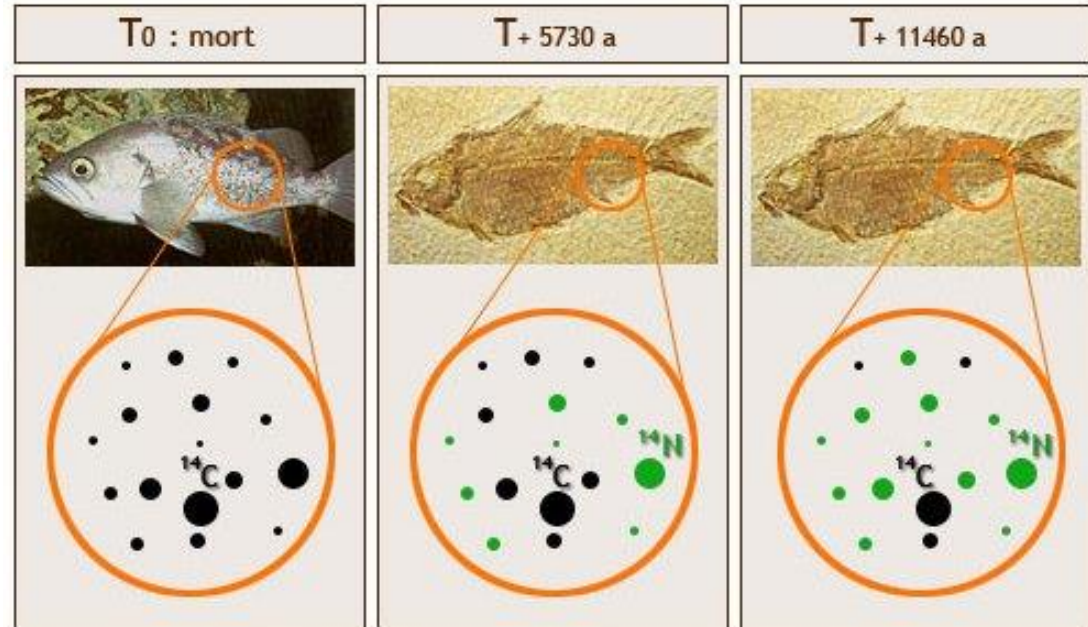
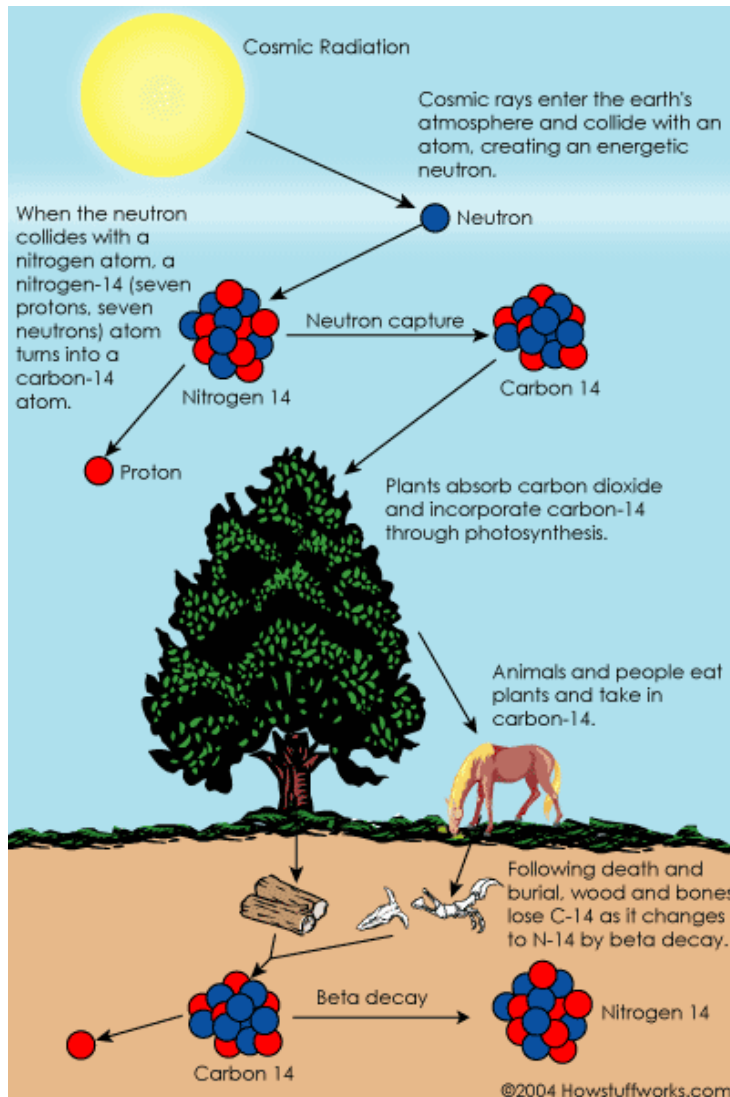
## Геохронология

- Уран -свинцовый метод
- Торий-свинцовый метод
- Свинец-свинцовый метод
- Рубидий-стронциевый метод
- Рений-осмиевый метод
- Калий-аргоновый метод



$$N_{Pb}(t)/N_U(t) = e^{\lambda_U t} - 1$$

# Радиоуглеродный метод



$$T_{1/2} ({}^{14}\text{C}) = 5700 \pm 30 \text{ лет}$$

## Нобелевская премия по физике

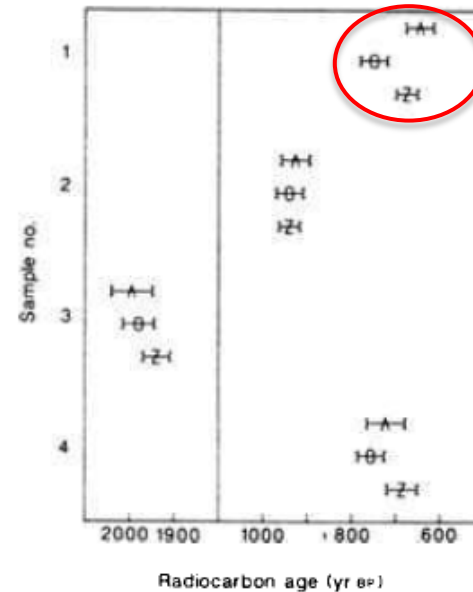
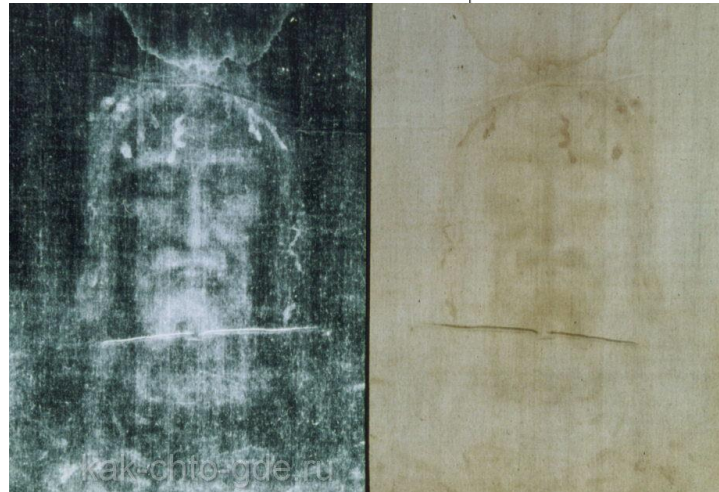
1960 г. **У. Ф. Либби** За введение метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки

# Radiocarbon dating of the Shroud of Turin

P. E. Damon<sup>†</sup>, D. J. Donahue<sup>†</sup>, B. H. Gore<sup>†</sup>, A. L. Hatheway<sup>†</sup>, A. J. T. Jull<sup>†</sup>,  
 T. W. Linick<sup>†</sup>, P. J. Sercel<sup>†</sup>, L. J. Toolin<sup>†</sup>, C. R. Bronk<sup>‡</sup>, E. T. Hall<sup>‡</sup>,  
 D. F. M. Hedges<sup>‡</sup>, R. Housley<sup>‡</sup>, I. A. Law<sup>‡</sup>, C. Perry<sup>‡</sup>, G. Bonani<sup>§</sup>, S. Trumbore<sup>||</sup>,  
 J. C. Ambers<sup>¶</sup>, S. G. E. Bowman<sup>¶</sup>, M. N. Leese<sup>¶</sup> & M. S. Tite<sup>¶</sup>

<sup>†</sup>Department of Physics, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA  
<sup>‡</sup>Department of Archaeology and History of Art, University of Oxford, Oxford, OX1 3QJ, UK  
<sup>§</sup>Radiophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Switzerland  
<sup>||</sup>Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York 10964, USA  
<sup>¶</sup>British Museum, London, WC1B 3DG, UK

*Four samples from the Shroud of Turin have been dated by accelerator mass spectrometry in laboratories at Arizona, Oxford and Zurich. As controls, three samples whose ages had been determined independently were also dated. The results provide strong evidence that the linen of the Shroud of Turin is mediaeval.*



**1260 – 1390 r**

Mean radiocarbon dates, with  $\pm 1\sigma$  errors, of the Shroud of Turin and control samples, as supplied by the three laboratories (A, Arizona; O, Oxford; Z, Zurich) (See also Table 2.) The shroud is sample 1, and the three controls are samples 2-4. Note the break in age scale. Ages are given in yr BP (years before 1950). The age of the shroud is obtained as AD 1260-1390, with at least 95% confidence.

# Радиоуглеродный метод

## ПРОБЛЕМЫ

- (1) Загрязнение образцов
- (2) Непостоянство процентного содержания  $^{14}\text{C}$  в атмосфере
- (3) Не доказано однородное распределение  $^{14}\text{C}$  в атмосфере
- (4) Содержание  $^{14}\text{C}$  в предмете может быть неоднородным
- (5) Человеческий фактор



Ладья Солнца. Длина – 43,3, ширина – 5,6 метров.  
RC датировка пирамиды - около 2977 г. до н.э.  
Историческая датировка – около 2566 г. до н. э.  
RC датировка ладьи - около 3400 г. до н.э.

(PYRAMIDS CARBON-DATING PROJECT 1984)

# PYRAMIDS CARBON-DATING PROJECTS

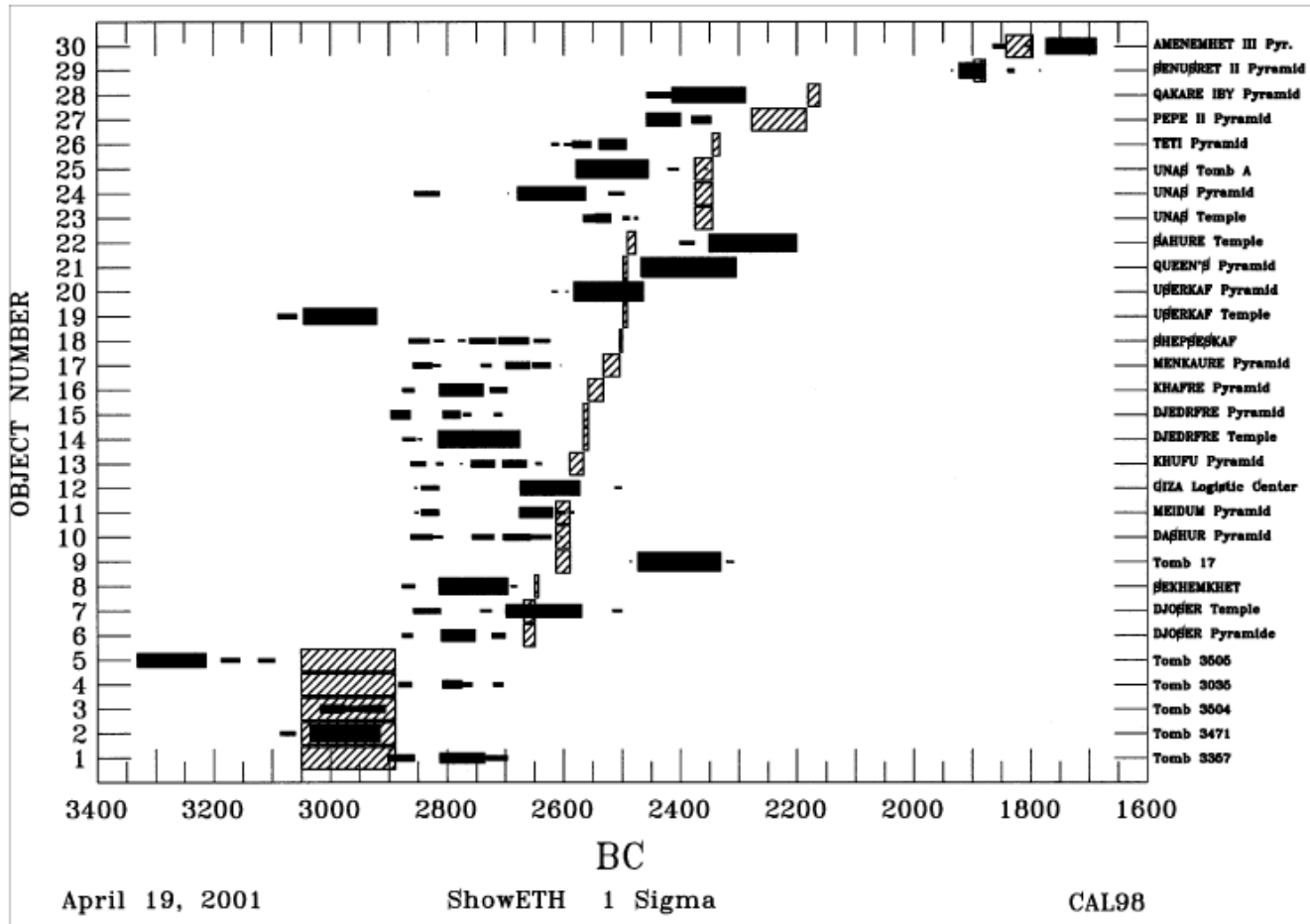
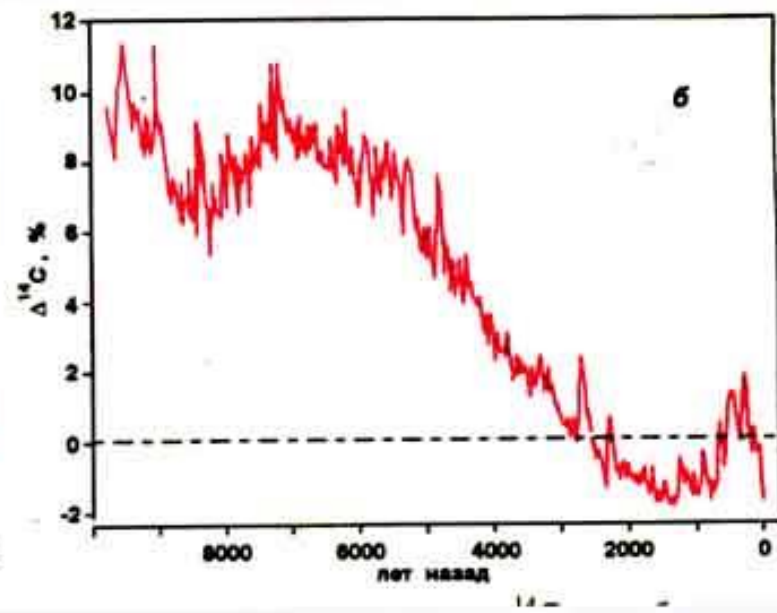
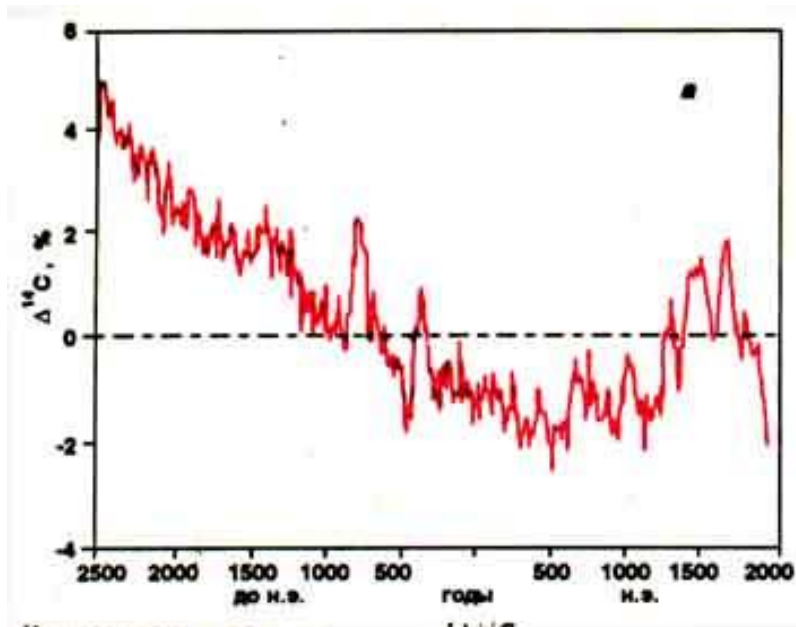


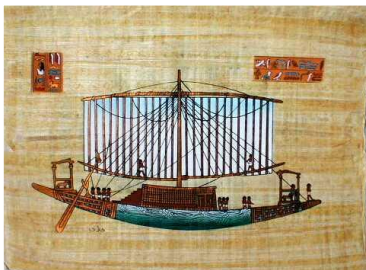
Figure 1 Comparison of the calibrated  $^{14}\text{C}$  ranges (horizontal black bars) with the historical chronology of Clayton (1994; hatched areas). The width of the black bars is proportional to the probability of finding the true age within the corresponding one sigma range.

*Georges Bonani et al. RADIOCARBON, Vol 43, Nr 3, 2001, p 1297–1320*



Концентрация радиоуглерода ( $\Delta^{14}\text{C}$  - отклонение от уровня международного стандарта радиоуглерода) в образцах долгоживущих деревьев известного возраста: а - в блоках древесины по 10-летиям за 4500 лет; б - в блоках древесины по 20-летиям колец за последние 9600 лет.

*В. А. Дергачев Природа, 1994, № 1, стр. 3-15*



A date for the last extant ring of the Senusret III boat is probably around **1898/95 - 1879/76 BC** (95.4% probability) – more consistent with a high Middle Kingdom Egyptian chronology

*S.W. Manning et al. Jour. of Arch. Sci. 46 (2014) 401–416*

# Области применения радиационных технологий

## **Радиология (ядерная медицина)**

- Изотопы
- Радиофармпрепараты
- Оборудование для лучевой терапии
- Диагностическая визуализация

## **Системы безопасности**

- Досмотровые системы
- Неразрушающий контроль

## **Индустриальное облучение**

- Дезинфекция продуктов питания и сельское хозяйство
- Стерилизация медицинских изделий
- Изменение свойств материалов

## **Геология**

- Геохронология
- геологоразведка

## **Управление водными ресурсами**

- Разведка динамики подземных вод
- Исследование загрязнений
- Водоочистка

## **Микроэлектроника**

## **Экология**

## **Биоинформатика**

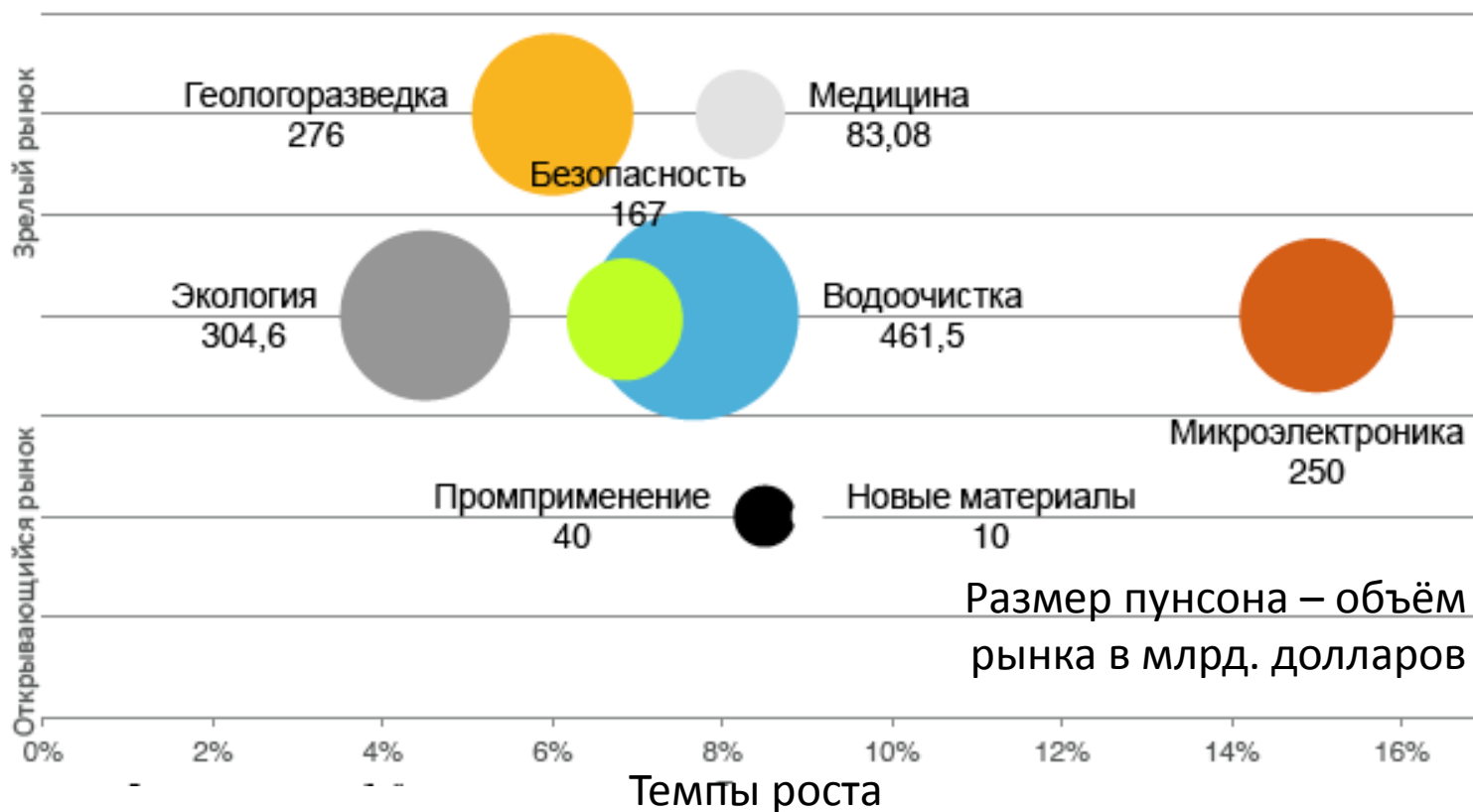
## **Информатизация**

## **И многое другое**



■ Из 100 лидирующих по выручке компаний мира, 20 присутствуют на рынках-потребителях радиационных технологий

■ Рынки, являющиеся потребителями радиационных технологий, достаточно велики и быстро развиваются



From: А. Фертман. Ядерный кластер Фонда «Сколково»

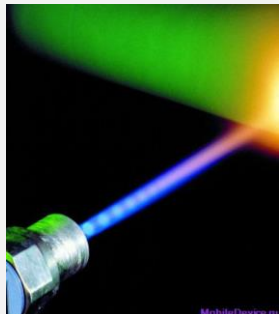
# Радиационные технологии -- приоритетное направление для Кластера Ядерных Технологий Фонда Сколково

From: А. Фертман. Ядерный кластер Фонда «Сколково»

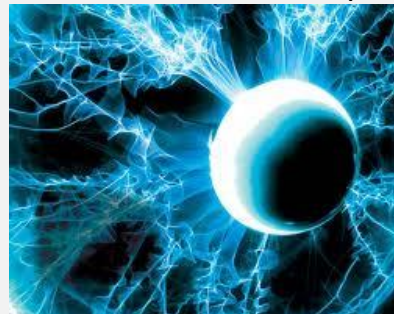
Источники радиации и поля



Ускорители



Лазеры



Плазма



Магниты



Изотопы

## Эффекты

Изменение свойств материалов

Разрушение связей

Изучение структур

## Отрасли

Безопасность  
(системы инспекции)



Медицина  
(диагностика и терапия)



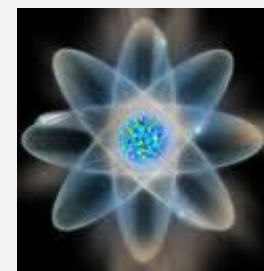
Продукты питания  
(обработка, дезинфекция)

Энергия  
(переработка выбросов, обработка нефти)



Промышленность  
(шины, кабели, микроэлектроника)

Наука  
(LHC, FAIR, XFEL)



# Досмотровые системы



Порог обнаружения, не более:

При ширине зоны контроля 3 м:	
Cs - 137	44 кБк (11 кБк)
Co - 60	23 кБк (7 кБк)
Ba - 133	35 кБк (11 кБк)
Pu	0,3 г
U	10 г
Pu в защите	52 г

## Технические характеристики Яantar-2ПЗ

Канал регистрации	гамма, нейтронный
Параметры зоны контроля	3 м (Ш) x 2 м (В)
Скорость объекта	5 км/ч

# Применение ускорителей

~ 100

- **Фундаментальные исследования**  
(элементарные частицы, ядерная физика, физика твердого тела)
- **Прикладные исследования** (физика, химия, биология и др)

- **Медицина и физиология**

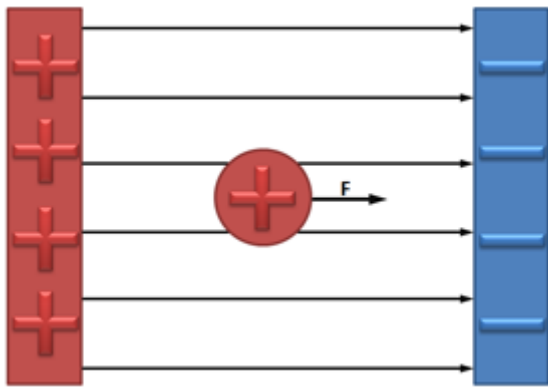
- **Промышленность**

- имплантация ионов,
- дефектоскопия,
- стерилизация пищевых продуктов,
- искусственная полимеризация лаков,
- модификация свойств материалов,
- радиационная обработка материалов,
- изготовление элементов микроэлектроники

~ 20 000

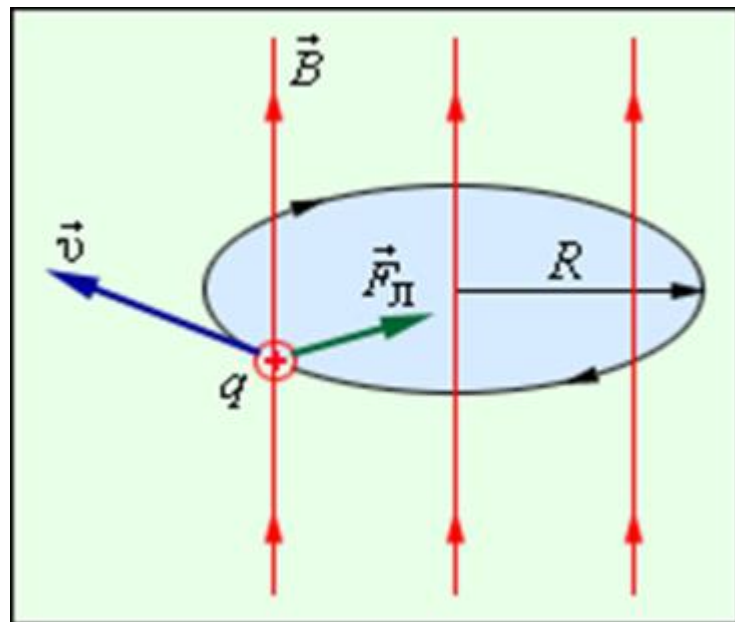
# Движение частиц в электромагнитном поле

Электрическое поле



$$E_{\text{кин}} = q(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Магнитное поле



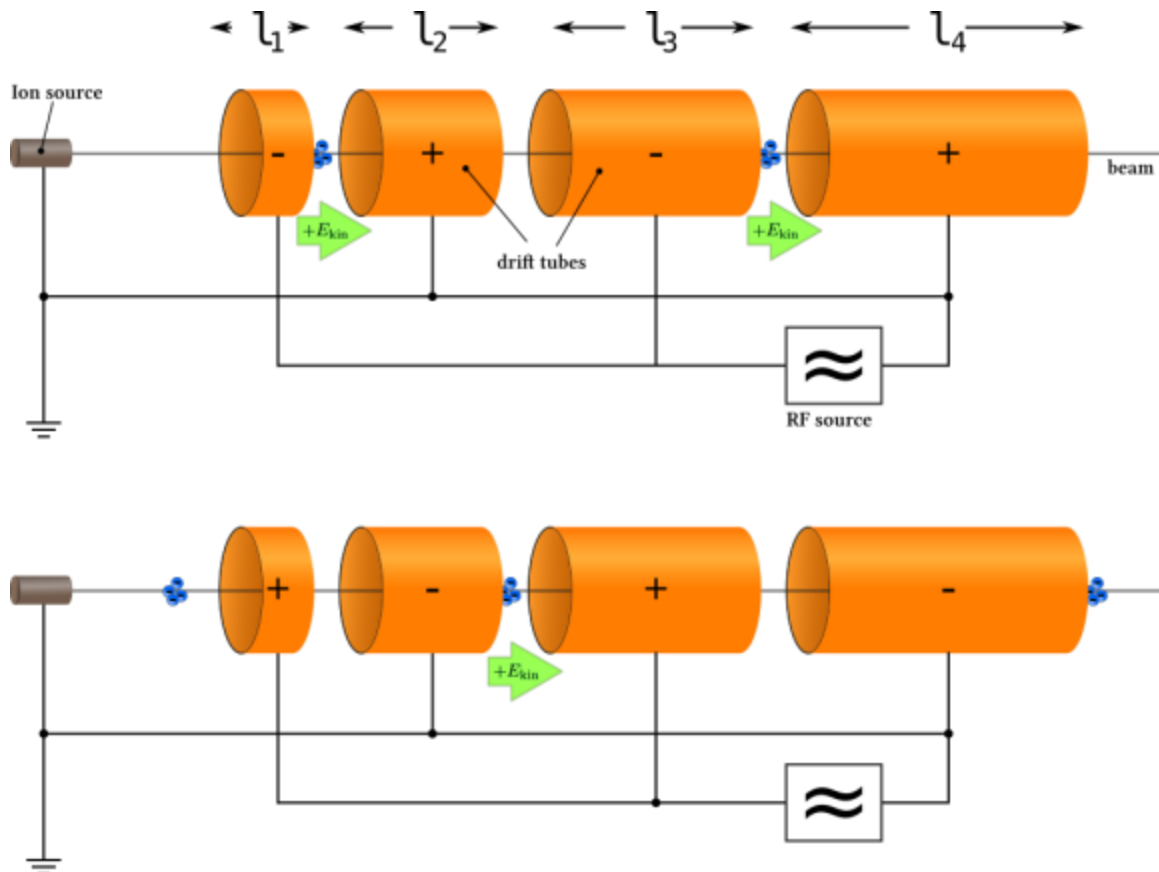
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

# Линейный ускоритель

1925 г. Г. Изинг Схема линейного ускорителя

1928 г. Р. Видероз Дрейфовая трубка

1946 г. Л. Альварец, В. Пановски Беркли, США ( $E_{кин}(p) = 32$  МэВ)



# Ускорители ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ



## 70-МэВ разрезной микротрон:

Энергия пучка	15 – 70 МэВ
Ток пучка	2 – 10 мА
Ширина спектра	0.2 МэВ
Длина импульса	15 мкс
Частота повторения	до 250 Hz
Размеры	0.8*1.4*2.2 м



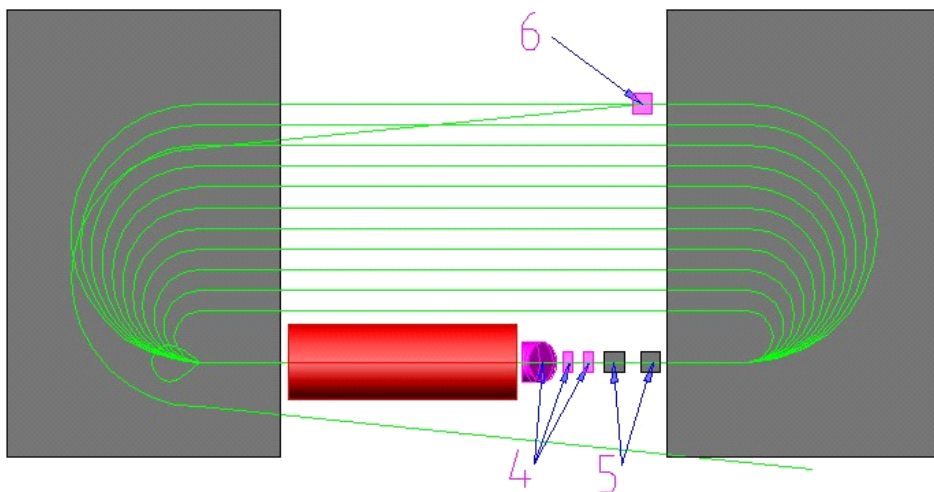
## Ускоритель с большой яркостью пучка:

Выходная энергия	5 - 35 МэВ
Длина сгустка	4 – 1 пс
Частота следования	1 - 150 Гц
Рабочая частота	2,856 MHz
Магнитное поле	0.5 Т

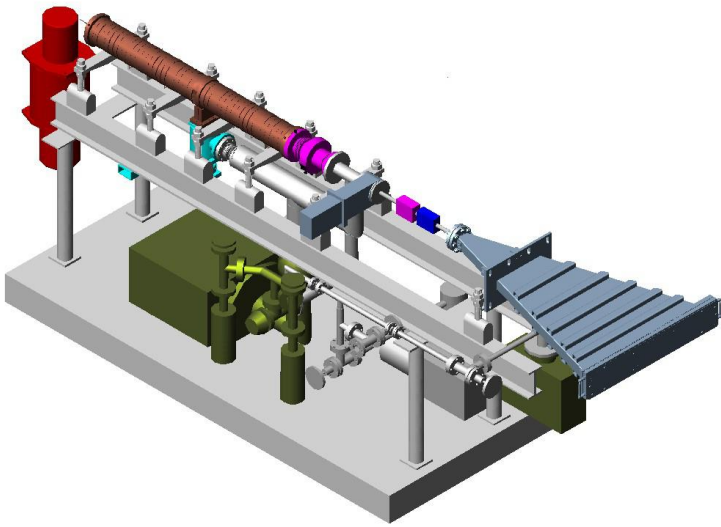


## Мощный промышленный ускоритель:

Энергия пучка	1.2 МэВ
Макс. мощность пучка	60 кВт
Рабочая частота	2450 МГц
Размеры модуля	1*0.4*0.7 м3
Вес модуля	70 кг
КПД	30%



# Инспекционно - досмотровый комплекс



*6/3.5 МэВ линейный ускоритель электронов с поимпульсной модуляцией энергии с коллиматором*

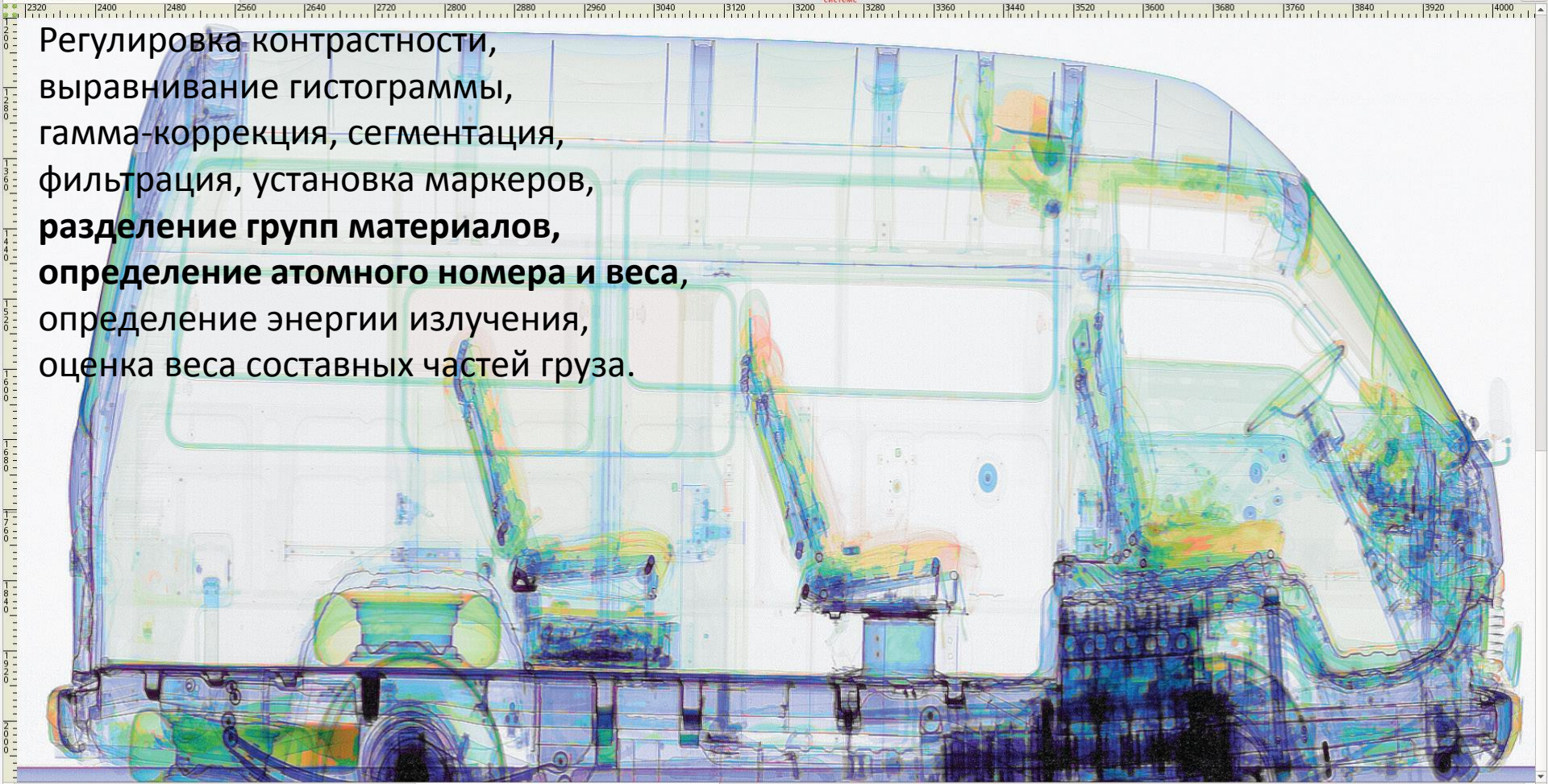


# Инспекционно - досмотровый комплекс

A603501 2014-05-28 12:57:52 0000022 0017

Изображение 28-05-2014 13:30:30

СКАНТРОНИК  
СИСТЕМС



Регулировка контрастности,  
выравнивание гистограммы,  
гамма-коррекция, сегментация,  
фильтрация, установка маркеров,  
**разделение групп материалов,**  
**определение атомного номера и веса,**  
определение энергии излучения,  
оценка веса составных частей груза.

Решение

Подозрений не выявлено  Подозрения выявлены

Повторная обработка

Обработка

Фильтры

Оконтуривание Анализ сыпучих грузов

Темные области Светлые области

Режимы

Инструментарий

Анализ области

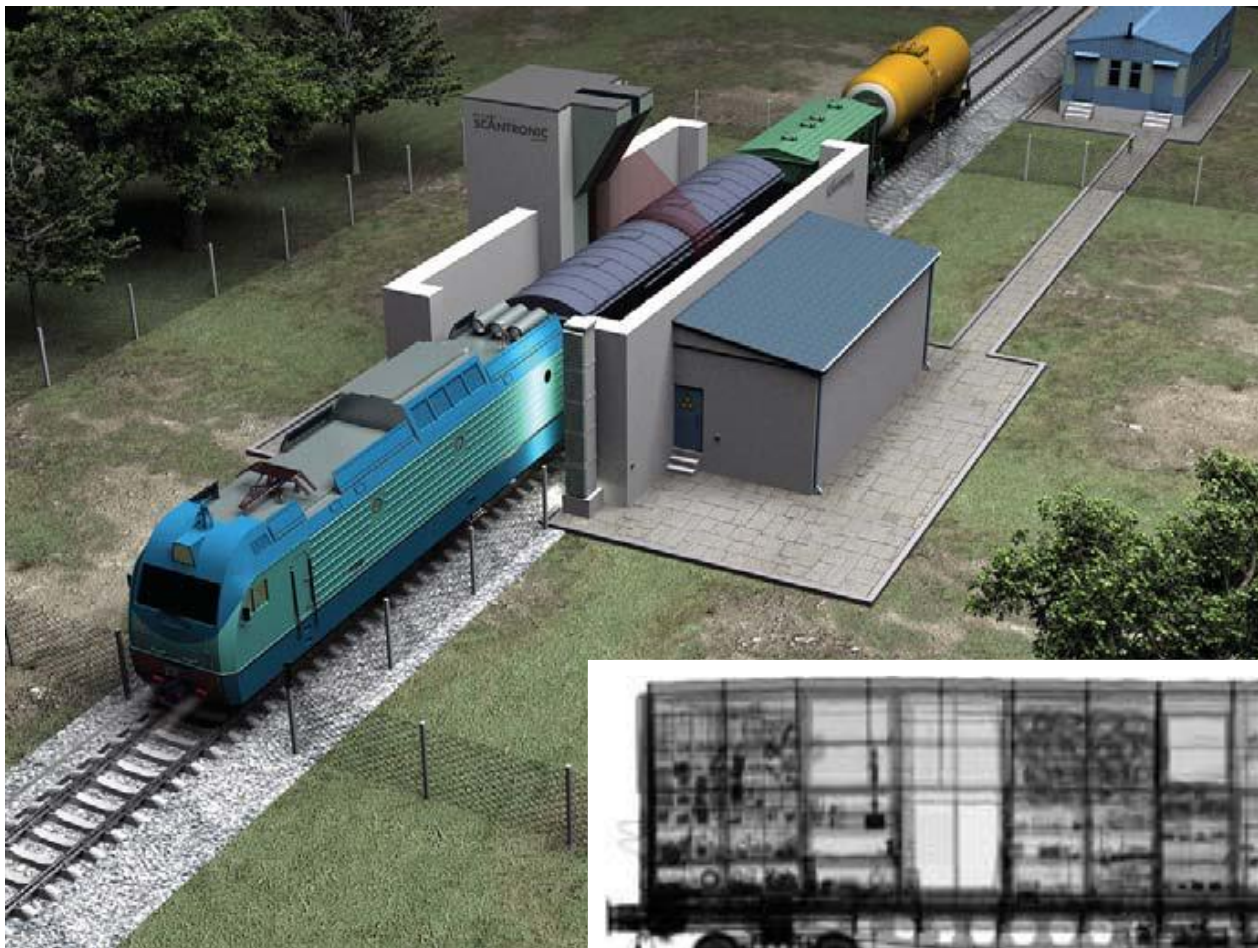
Эксперт

Печать

Скрыть

Сброс

# Инспекционно - досмотровый комплекс



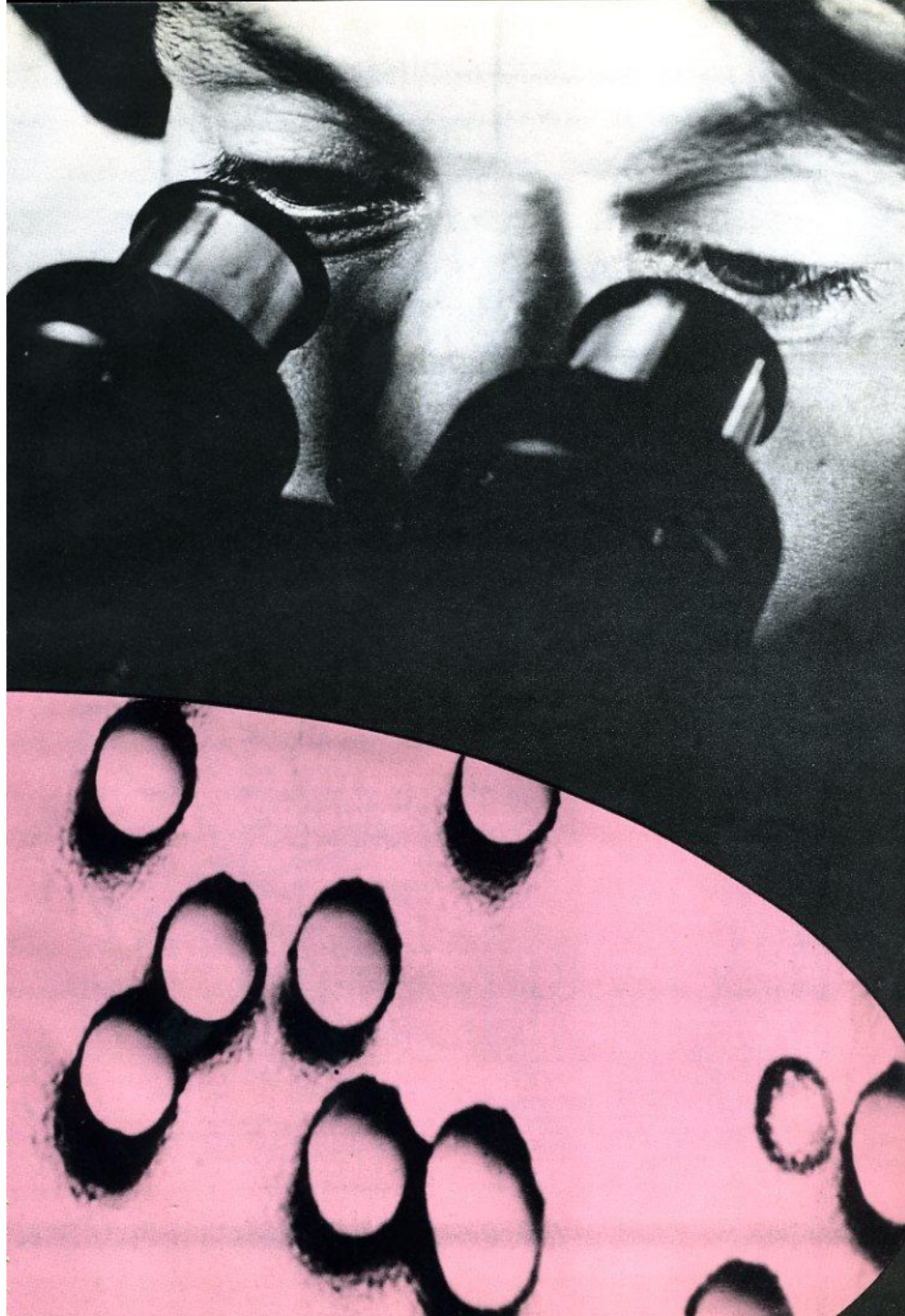
Скорость поезда при досмотре с распознаванием материалов **до 50 км/час**

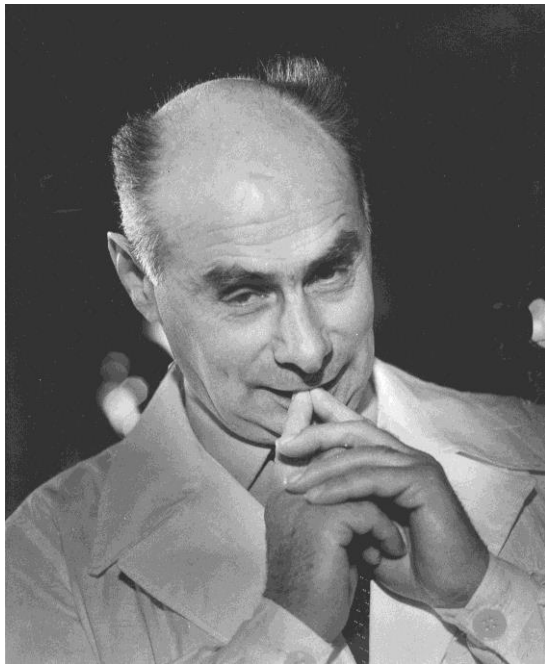
# Какая практическая польза от больших проектов фундаментальной науки?



Объединенный институт  
ядерных исследований,  
Дубна, СССР

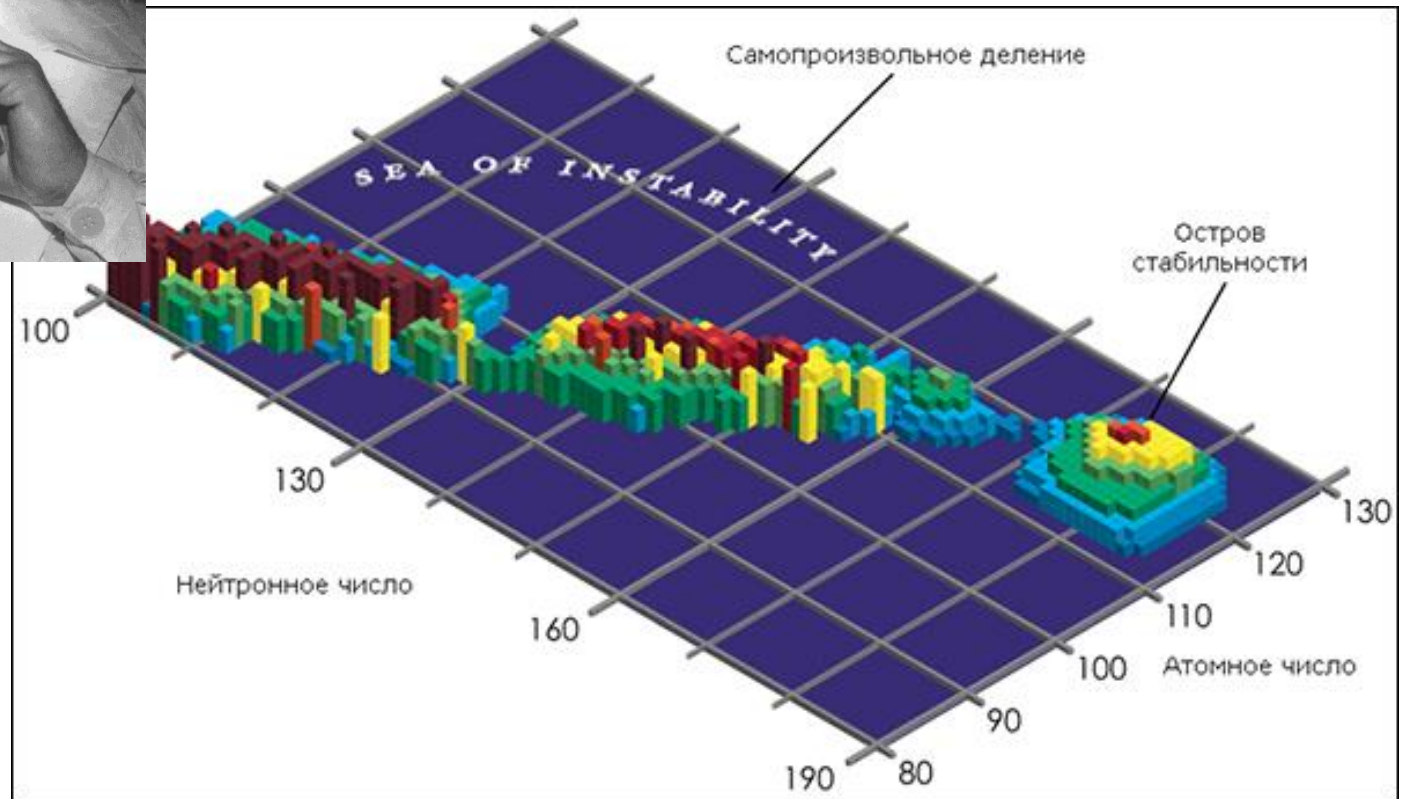
## ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ





Георгий  
Николаевич  
ФЛЕРОВ

# Поиск сверхтяжелых элементов





## ДИПЛОМ

НА ОТКРЫТИЕ

Явление образования радиоактивного изотопа элемента  
с атомным номером 106

В соответствии с Положением об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий установил, что граждане Союза Советских Социалистических Республик

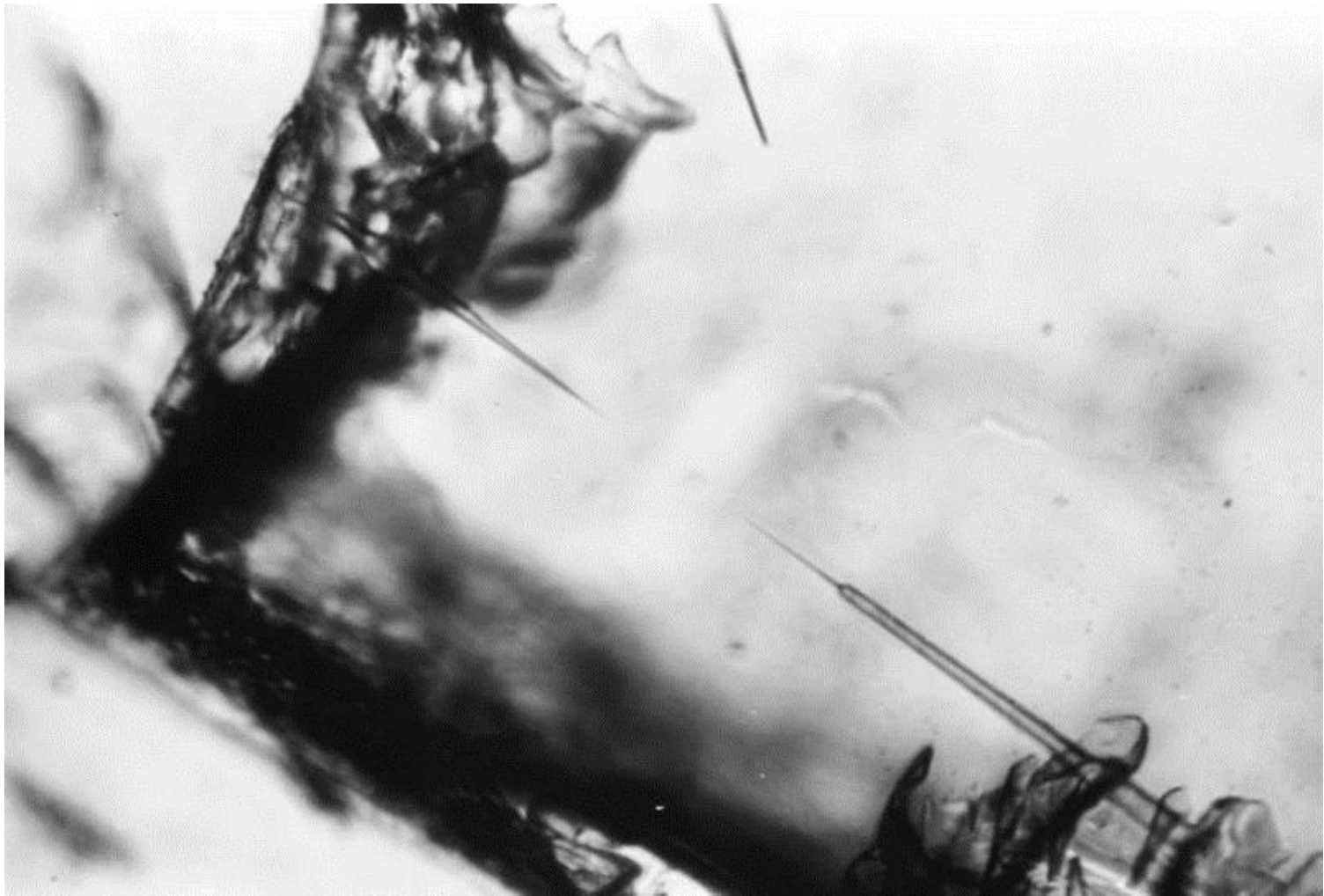
ТРЕТЬЯКОВ ЮРИЙ ПЕТРОВИЧ  
ИЛЬИНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ  
ДЕМИН АЛЕКСАНДР ГЛЕБОВИЧ  
ПЛЕВЕ АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ  
ТРЕТЬЯКОВА СВЕТЛАНА ПАВЛОВНА  
ПЕНИОНЖКЕВИЧ ЮРИЙ ЭРАСТОВИЧ  
ПЛОТНО ВАСИЛИЙ МАКСИМОВИЧ  
ИВАНОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ  
ДАНИЛОВ НИКОЛАЙ АНДРЕЕВИЧ  
КОРОТКИН ЮРИЙ СЕМЕНОВИЧ  
ФЛЕРОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ОГАНЕСЯН ЮРИЙ ЦОЛАКОВИЧ

На снимке — участники открытия шестого элемента (слева направо): кандидат физико-математических наук С. П. Третьякова, инженер Н. А. Данилов, механик В. М. Плотко, научный сотрудник Ю. С. Короткин, доктор физико-математических наук Ю. Ц. Оганесян, академик Г. Н. Флеров, кандидат физико-математических наук А. С. Ильинов, инженер Ю. П. Третьяков, научный сотрудник М. П. Иванов.



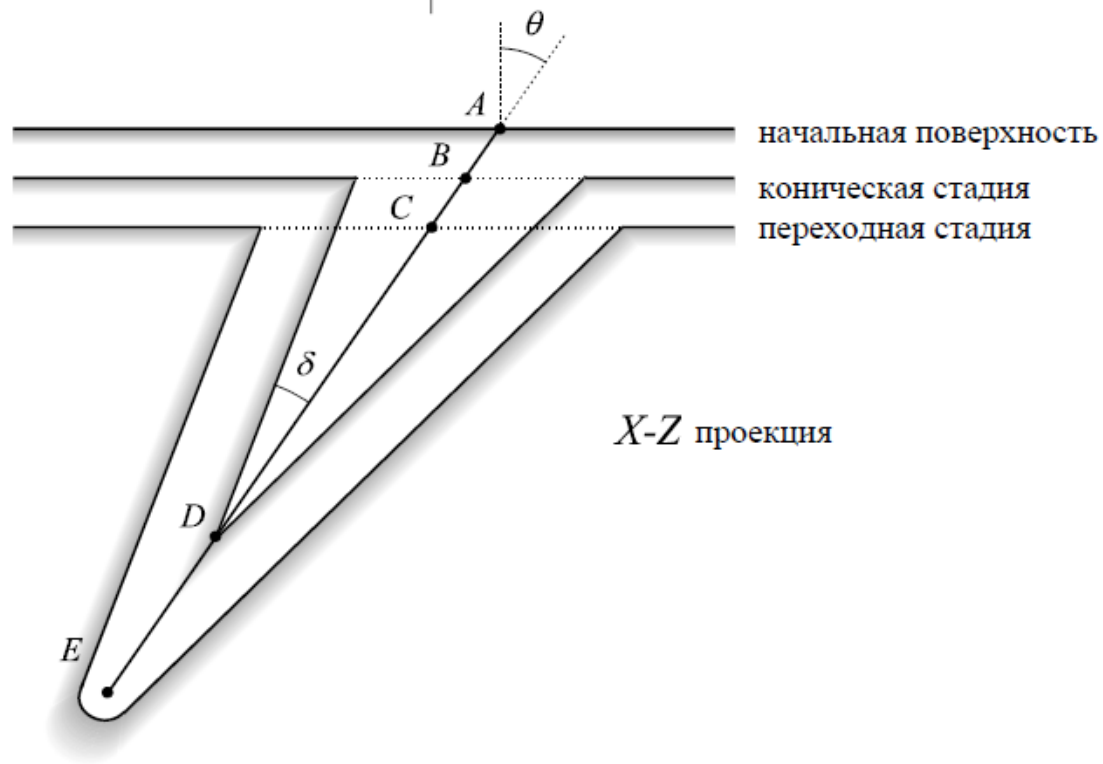
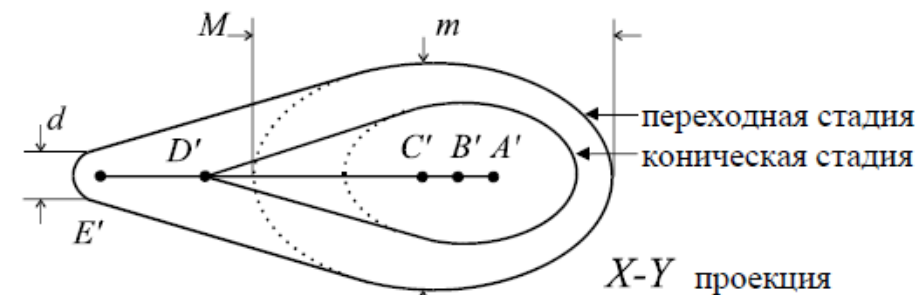
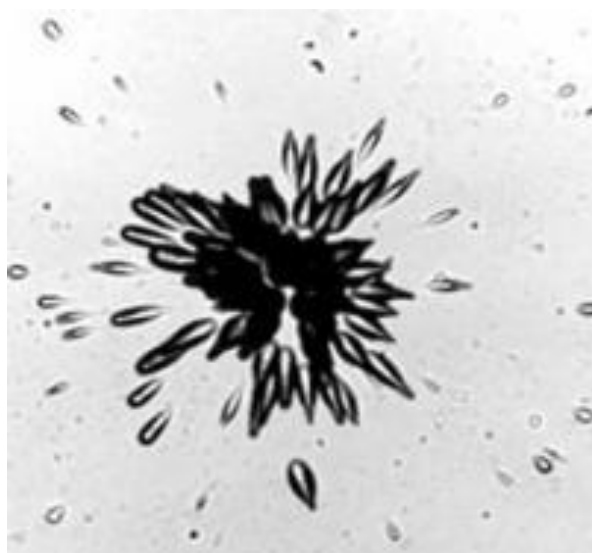
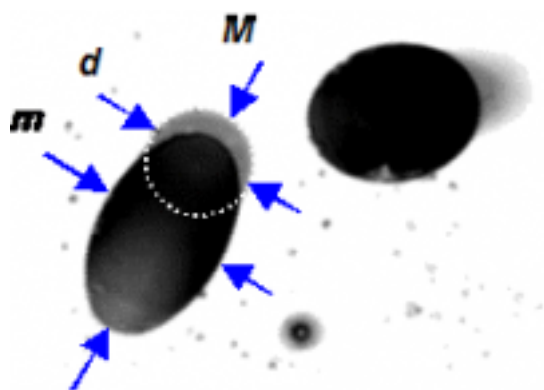
## Синтез сверхтяжелых элементов в Дубне

Год	Номер	Символ	Название
1966	102	No	Нобелий
1965	103	Lr	Лоуренсий
1964	104	Rf	Резерфордий
1970	105	Db	Дубний
1974	106	Sg	Сиборгий
1982	107	Bh	Борий
1984	108	Hs	Хассий
2003	109	Mt	Мейтнерий
	110	Ds	Дармштадтий
	111	Rg	Рентгений
	112	Cn	Коперниций
2003	113	Uut	
1998	114	Fl	Флеровий
2003	115	Uup	
2000	116	Lv	Ливерморий
2010	117	Uus	
2002	118	Uuo	



1980 г. Трек ядра из состава галактических лучей длиной более 330 мкм, обнаруженный в кристалле оливина из метеорита Игл Стейшн. Предполагаемое  $Z$  ядра  $\sim 110$ .

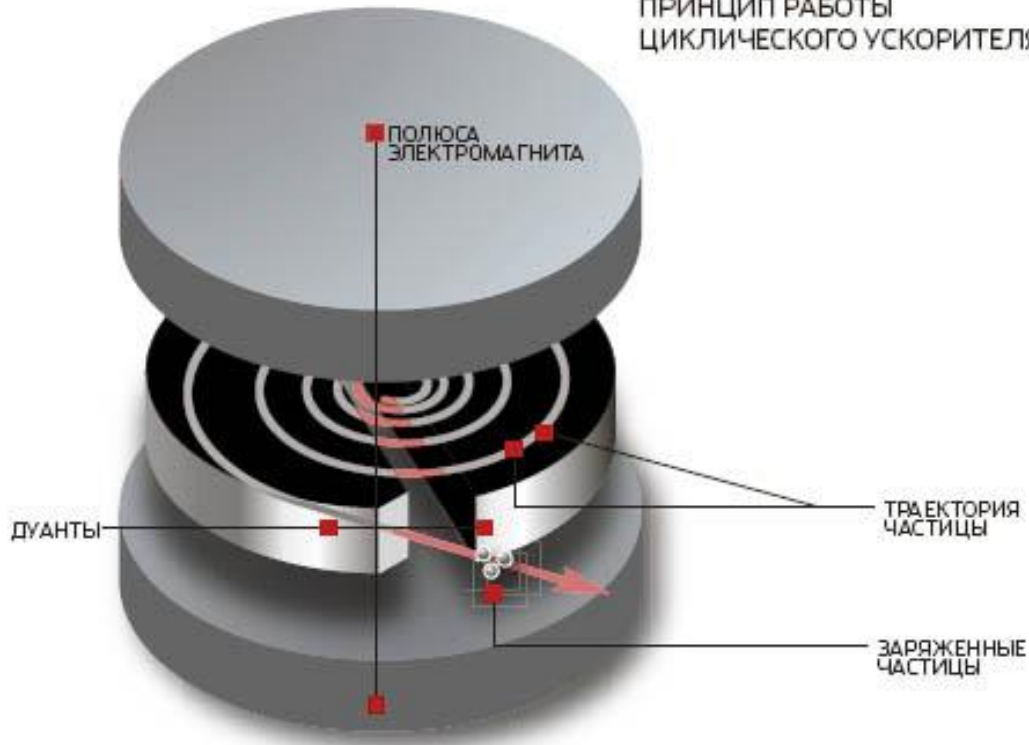
# Твердотельные детекторы





# Циклотрон

ПРИНЦИП РАБОТЫ  
ЦИКЛИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ



**1929 г.** Э. Лоуренс предложил идею циклотрона

1932 г.  $E_{кин}(p) = 1,2 \text{ МэВ}$  ( $D = 25 \text{ см}$ )

# Циклотрон



## Ускорительный комплекс У400

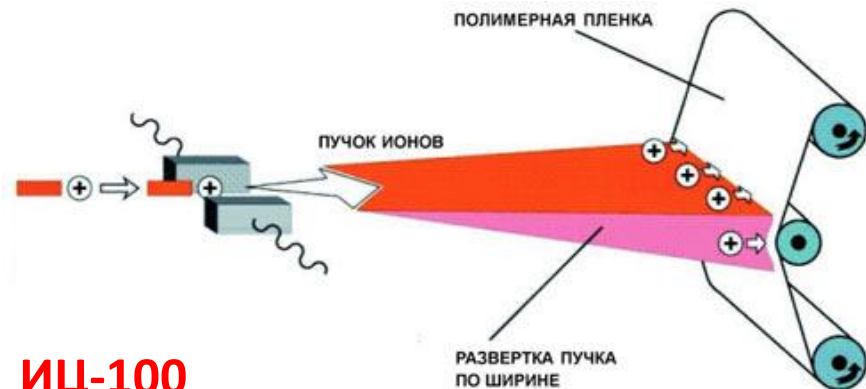
Запущен в 1979 году

Пучки ускоренных ионов  $A = 4 - 209$

с энергией  $3 - 29$  МэВ/нуклон

Магнит 2100 тонн, диаметр 4 м

Потребление энергии  $1,5$  МВт



## ИЦ-100

диаметр полюсов

1 метр

Потребление энергии

150 кВт.

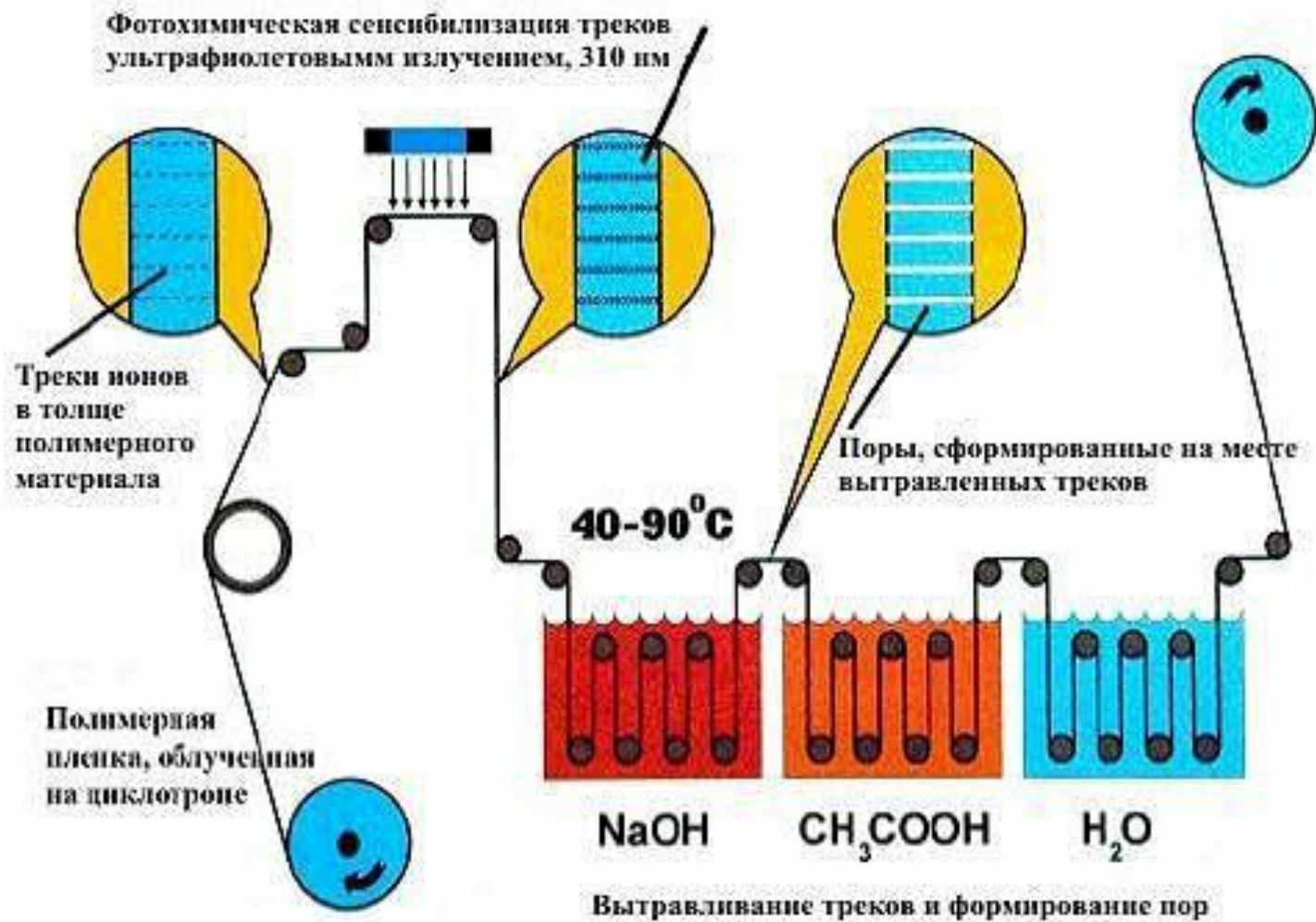
Энергия ионов (Xe, Kr)

1,2 МэВ/нуклон

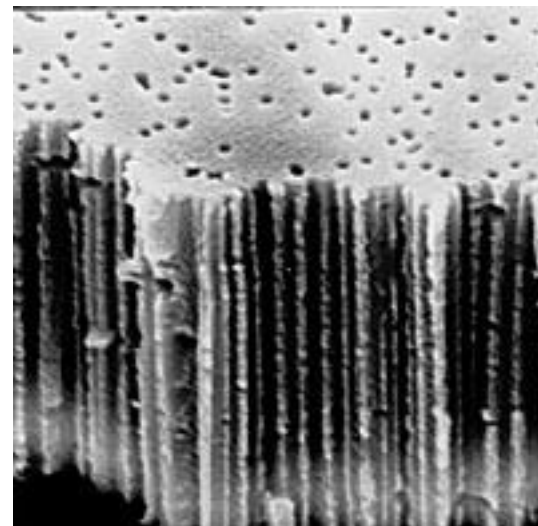
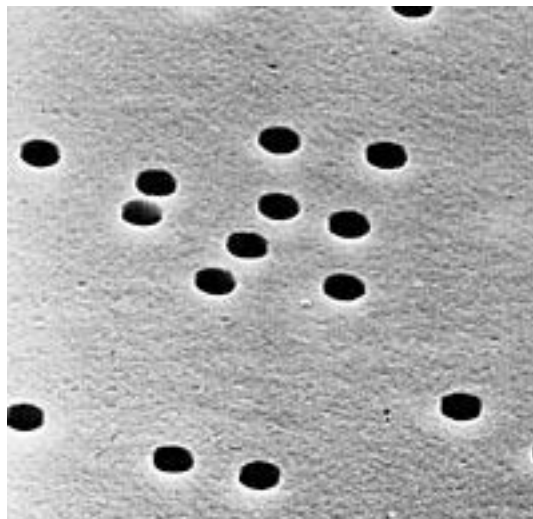
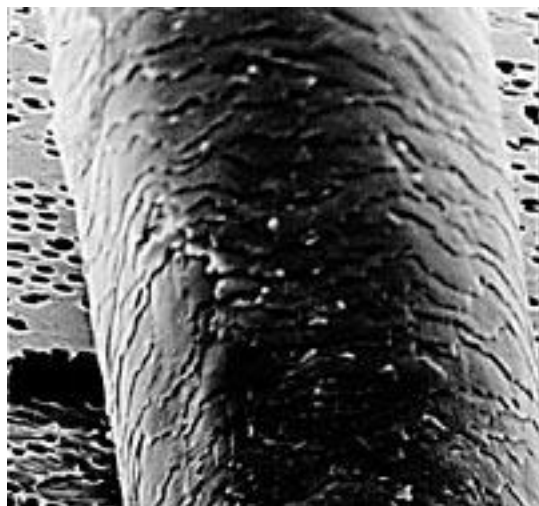
Толщина пленки

20 мкм

# Трековые мембраны



# Трековые мембраны



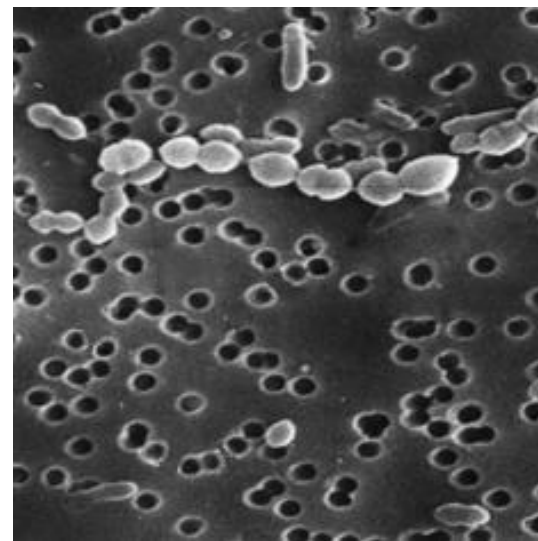
толщина –  
от 12 мкм до 21 мкм;

диаметр пор –  
от 30 нм до 15000 нм;

плотность –  
 $10^6 \div 10^8$  пор/см<sup>2</sup>



Загрязнение на поверхности мембраны в результате очистки водопроводной воды



### Лабораторная фильтрация



### Очистка воды в домашних условиях



### Медицина



### Промышленная фильтрация



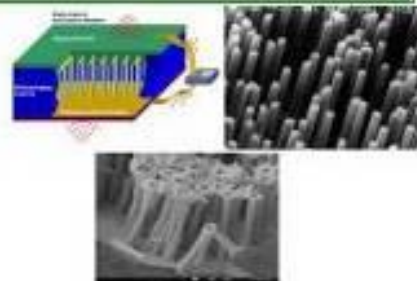
### Сенсоры



### Культивирование клеток



### Нанотехнологии

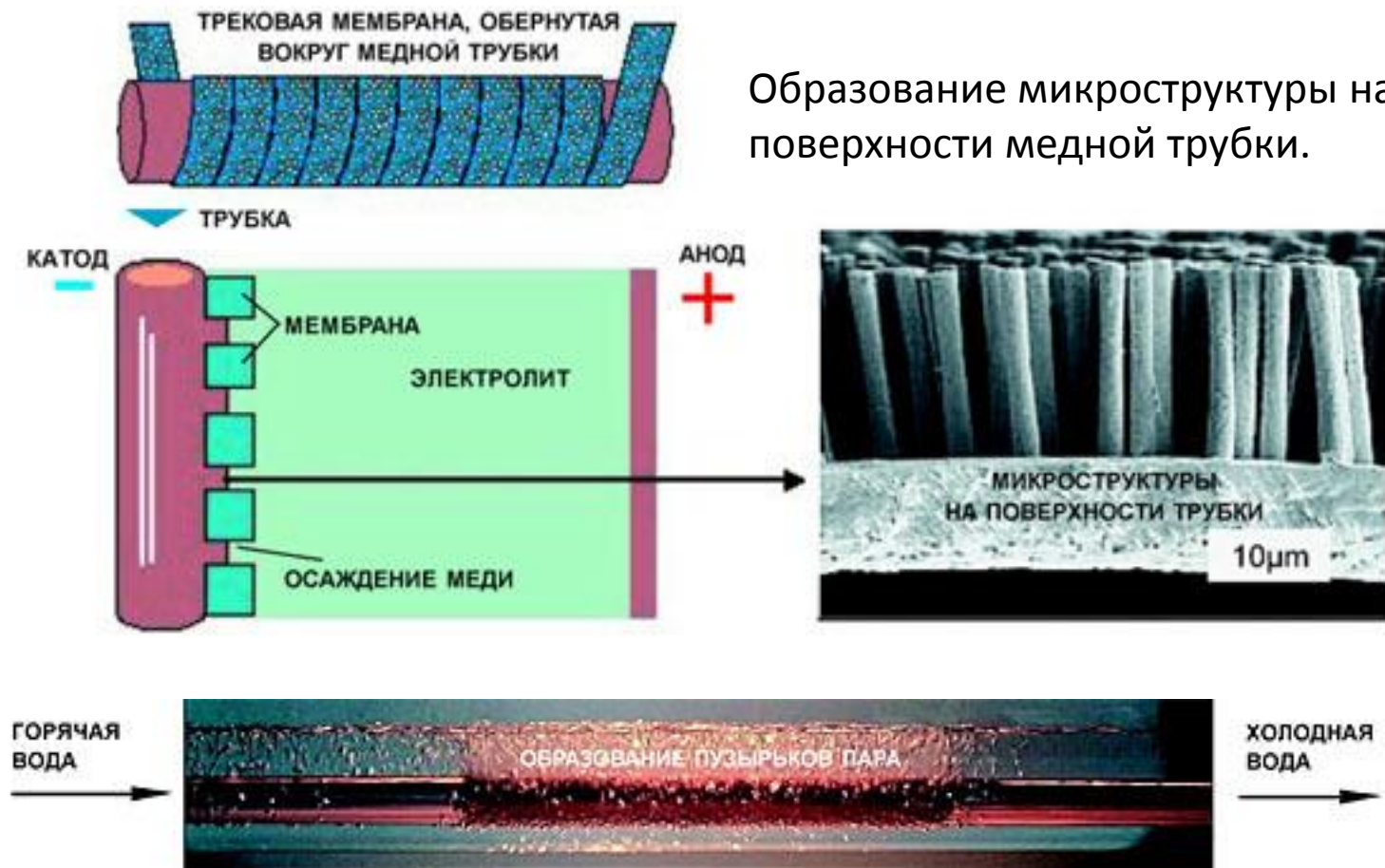


### Мембранный катализ



**Премия Правительства РФ 2008 года в области науки и техники**  
за разработку и создание технологии плазмафереза и  
внедрение ее в медицинскую практику

# Трековые мембраны



Медная трубка с микроструктурами на поверхности гораздо лучше отводит тепло, чем гладкая. На фото видно, что на участке с микроструктурами происходит интенсивное кипение охлаждающей жидкости.

# Какая практическая польза от больших проектов фундаментальной науки?



# CERN - ЦЕРН

Европейская организация ядерных исследований







CMS

Courtesy CMS/CERN



# Touch-screen



1979



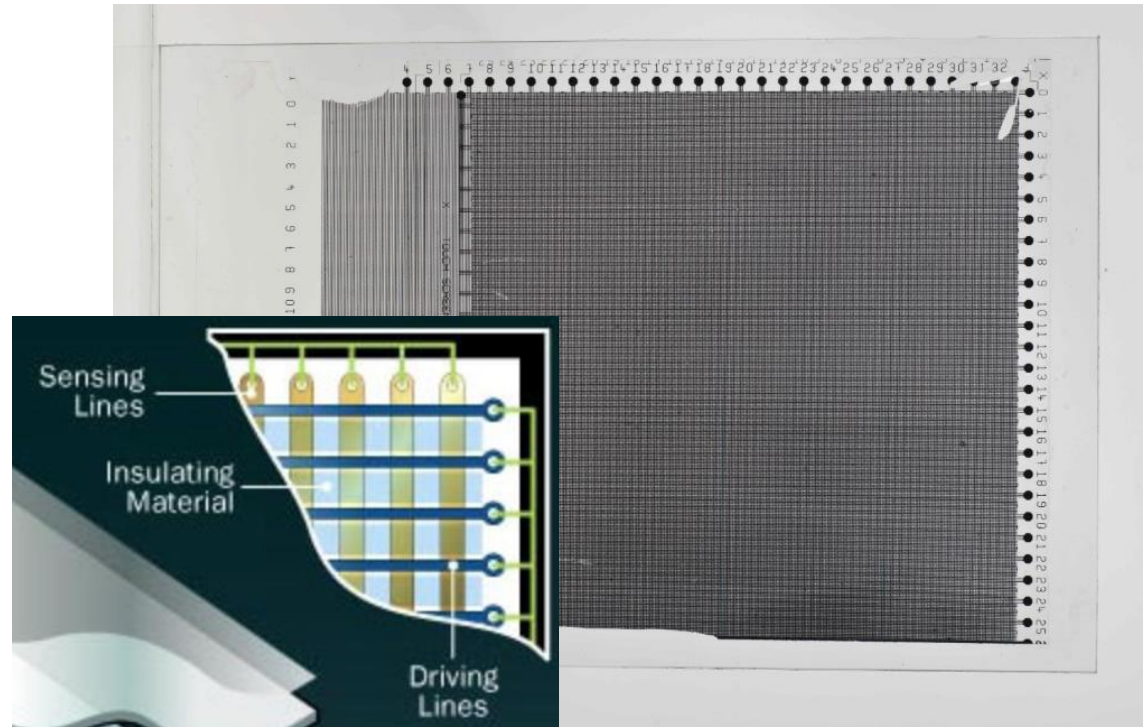
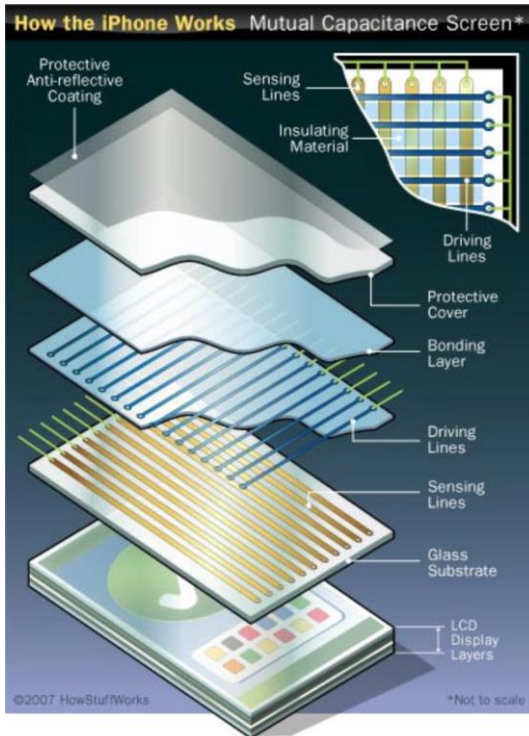
1974



Simon van der Meer (1984 Physics Nobel Price) in local AA Control Room with the SPS style touch terminal, Jan 1984



# Touch-screen



В 1977 в ЦЕРНЕ начаты разработки сенсорных экранов, широко используемых в современной электронике .



at CERN

**and before** speed electronic machines took the power



Вим Кляйн работал с 1958 г в Теоретическом отделе в качестве человека-компьютера.

В августе 1976 в центральной аудитории он рассчитал корень 73 степени из 507-значного числа за 2 минуты 43 секунд.



**WWW** invented at CERN in 1989  
*Initial release 24<sup>th</sup> December 1990*  
The NeXT Computer used by  
Tim Berners-Lee became the **World  
first Web Server**



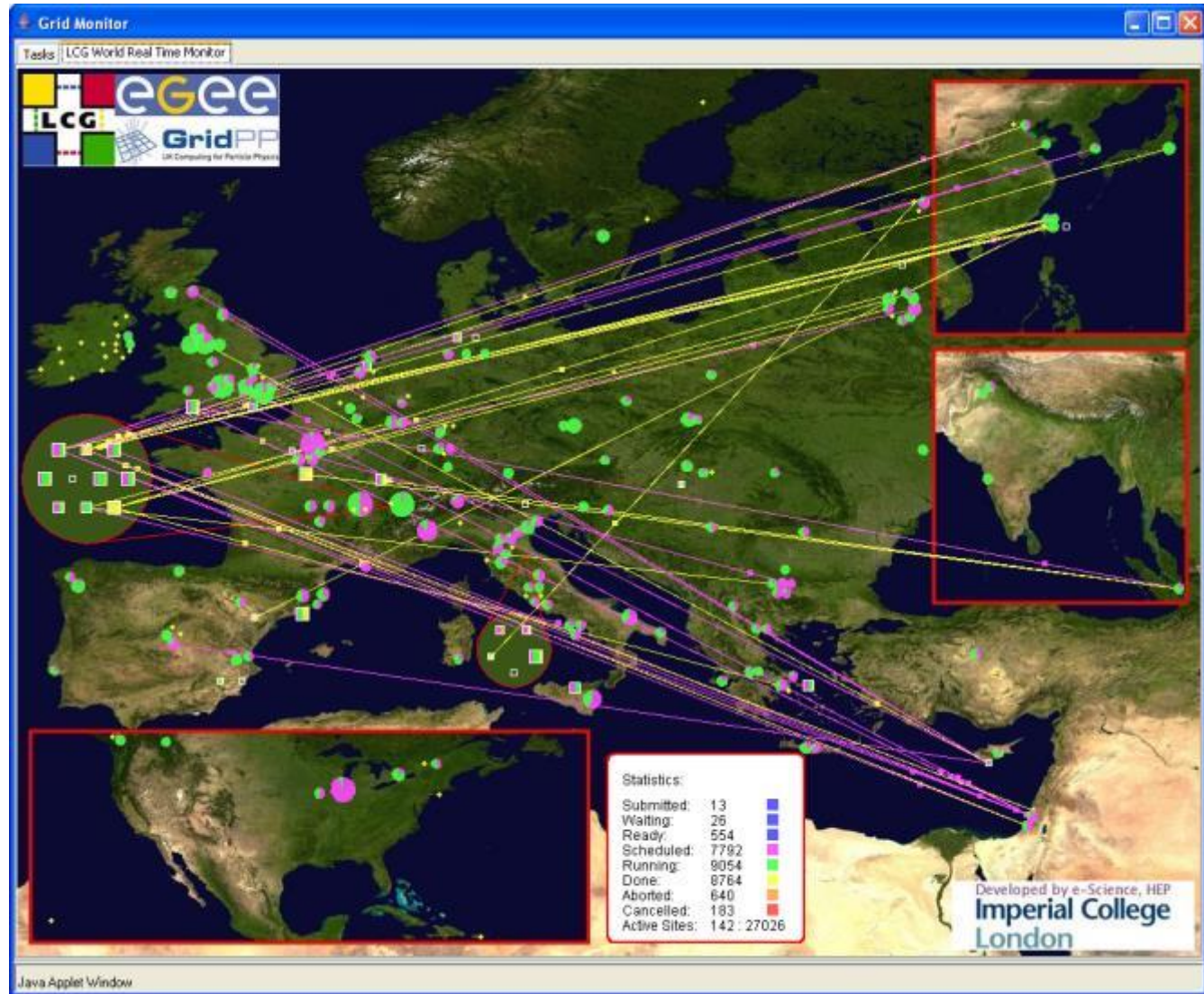
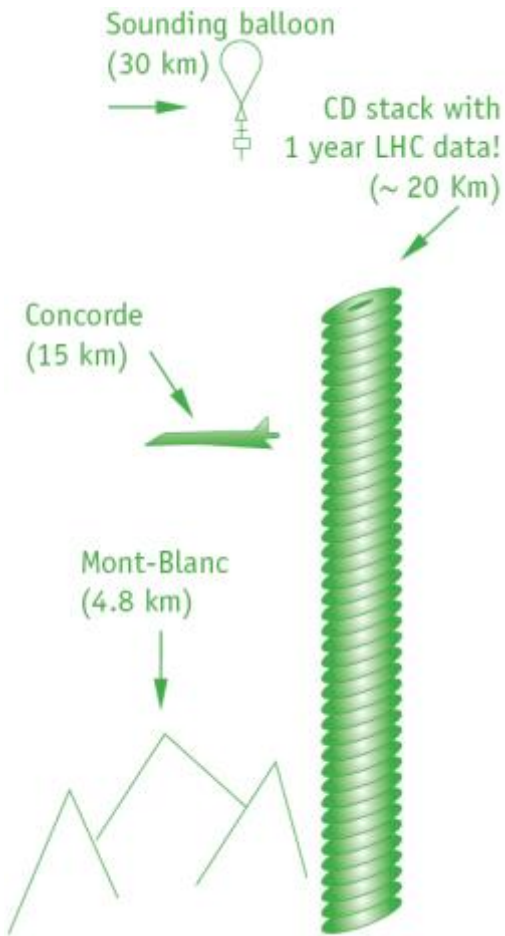
## Разработки ЦЕРН:

- 1) Вычислительные сети,
- 2) Визуализация данных,
- 3) Анализ больших массивов данных,
- 4) Распознавание образа,
- 5) Обработка экспериментальных данных в режиме реального времени,
- 6) Моделирование процессов,
- 7) Передовые компьютерные системы,...





# where the web was born



# Проекты Большой науки

- **Концентрация финансовых, интеллектуальных и технических ресурсов** в одном научно-исследовательском центре
- **Высокая техническая значимость проекта**, необходимая для достижения заявленных научных целей
- **Разработка новых производственных технологий** по заявкам учёных на изготовление опытных образцов самой современной аппаратуры
- **Международное сотрудничество** и развитие взаимопонимания между Востоком и Западом
- **Уникальные возможности для обучения** и подготовки молодежи
- **Развитие фундаментальной науки.** Отказ от крупных проектов означает отказ от драгоценных знаний, обладающих значимостью, которая не ограничивается рамками одной лишь науки, а оказывает воздействие на всё общество.

