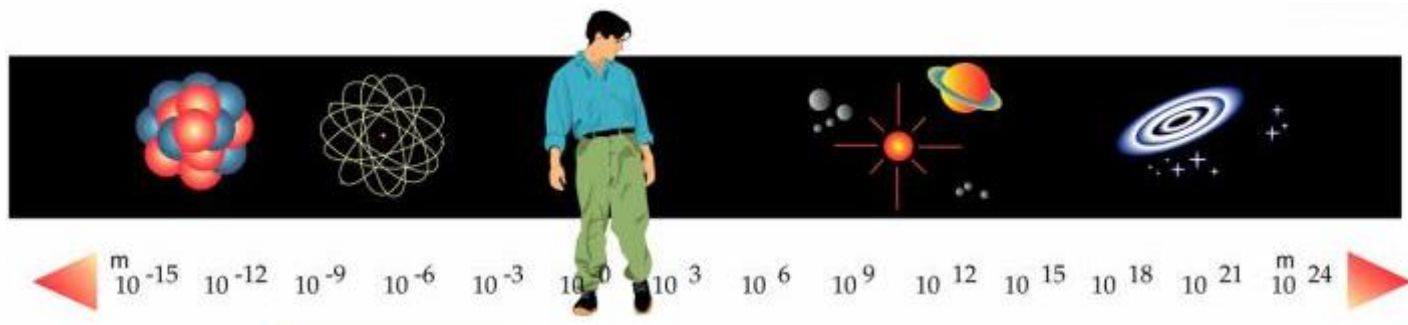


Ядерная физика и Человек

УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ



1895 г. Рентгеновские лучи

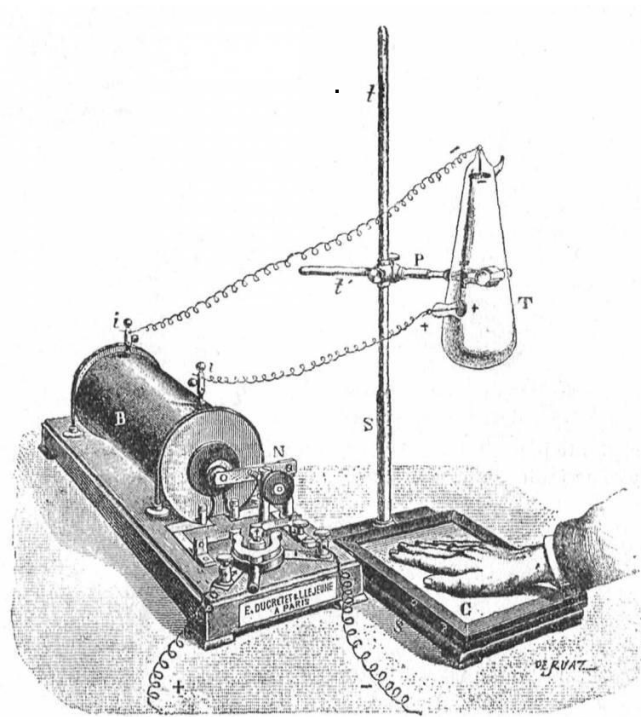


Fig. 399.—Fotografía de los huesos de la mano.



Длина волны рентгеновского излучения $3 \cdot 10^{-9} - 10^{-10}$ м.
Длина волны видимого излучения $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$ м.



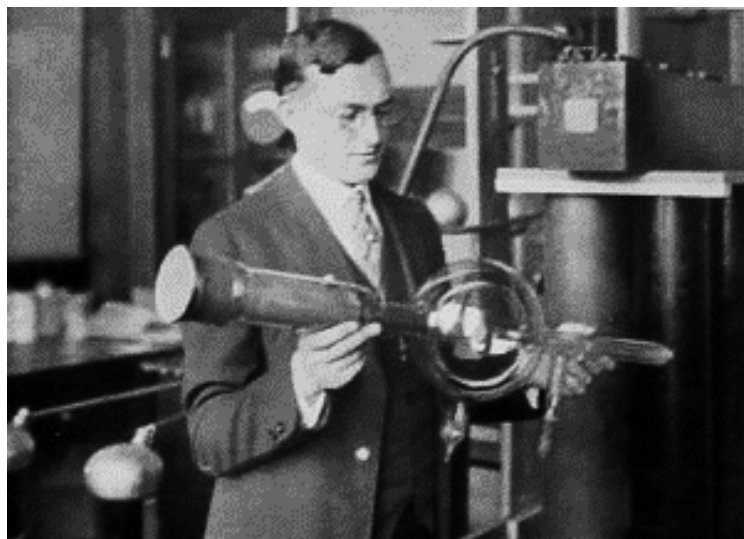
Нобелевская премия по физике

1901 г. В. Рентген

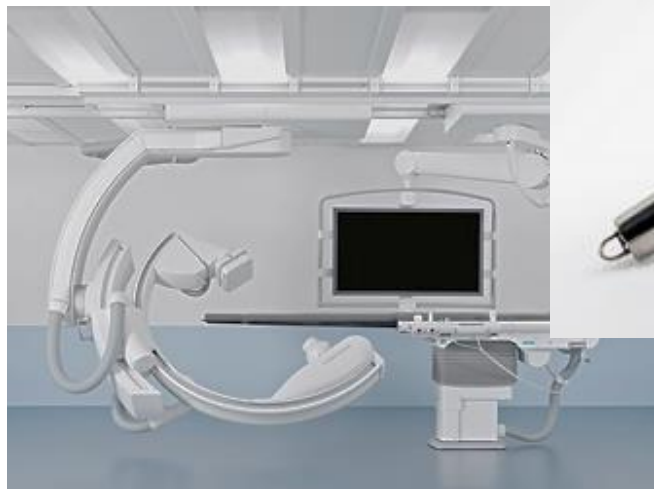
За открытие лучей, названных его именем

**Катодные
лучи**

1913 г. Трубка Кулиджа



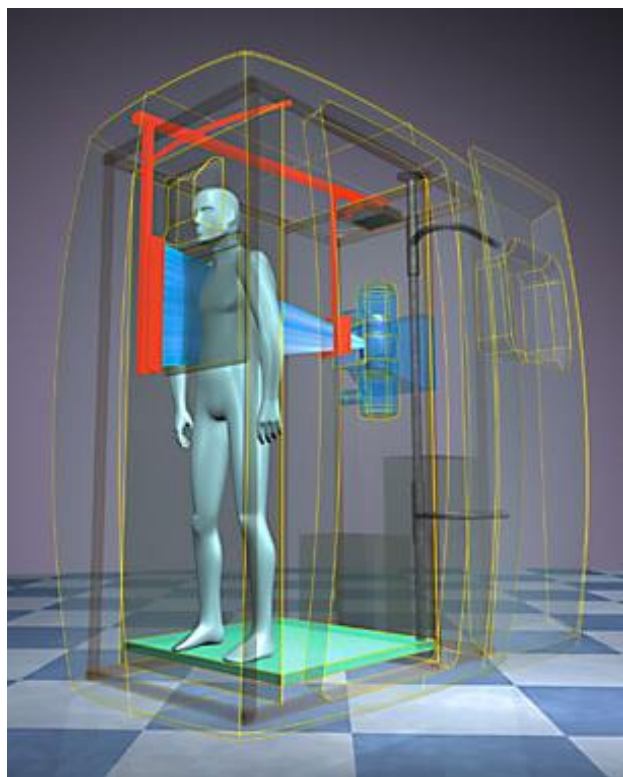
Катодные
лучи



Цифровая рентгенология



1979



Годфри Хаунсфилд и компьютерный томограф



Флюорография

Дозовая нагрузка

Пленочная – 0,5 мЗв

Цифровая – 0,02 мЗв

Естественный фон – 2,4 мЗв/год

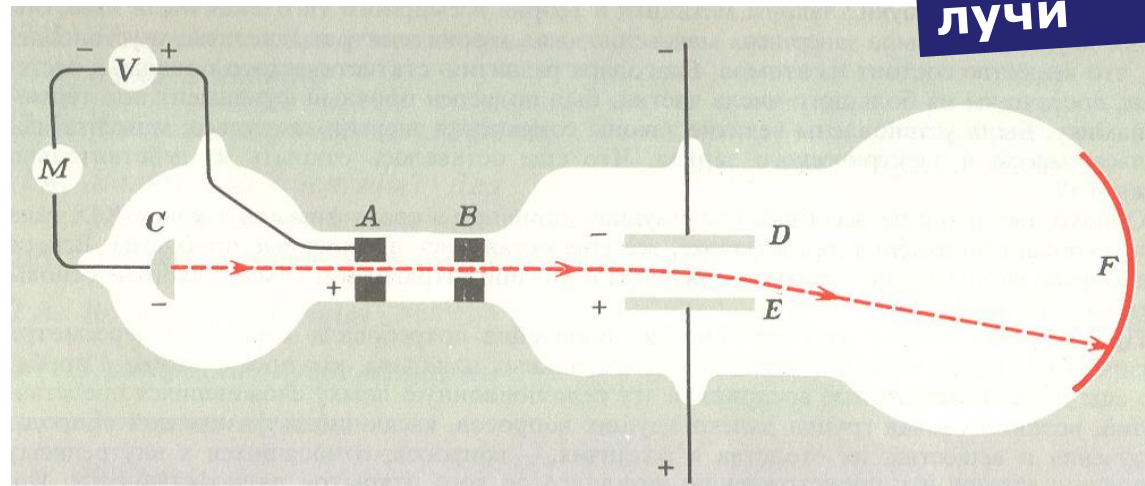


1897 г. Электрон

$$Q(e^-) = -1$$

$$m(e^+) = m_e$$

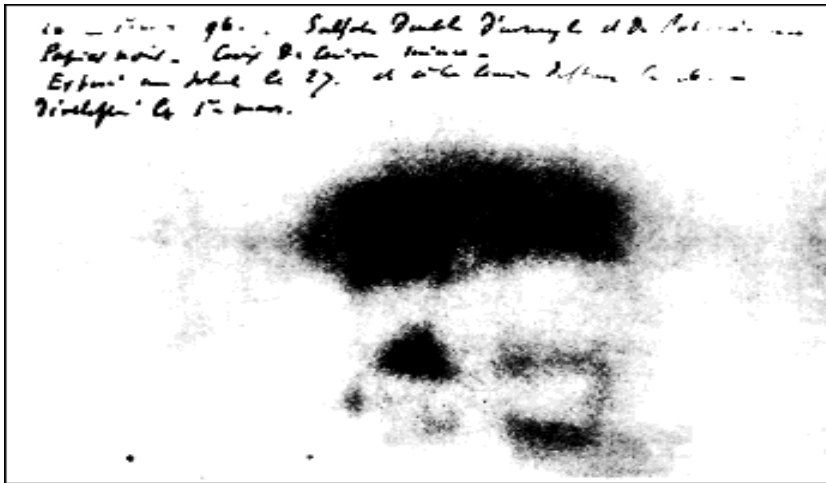
Катодные
лучи



1906 г. – Дж. Дж. Томсон

За большие заслуги в теоретических и экспериментальных исследованиях электрической проводимости газов

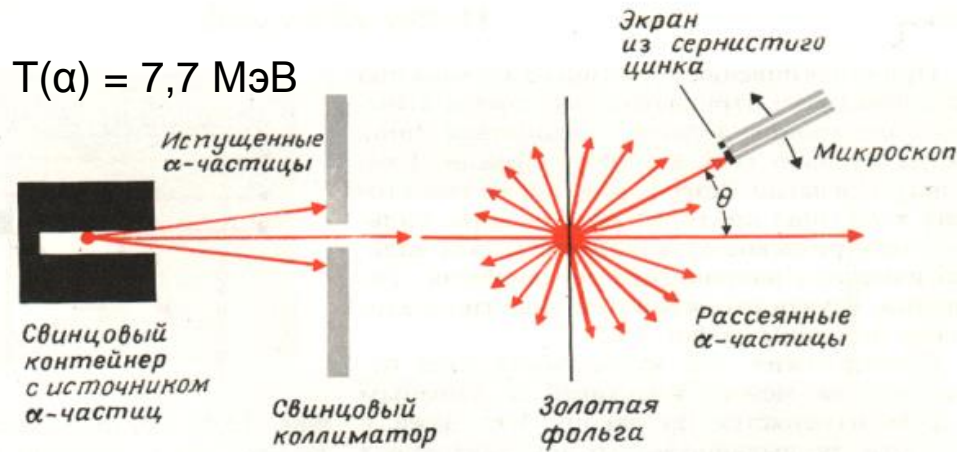
1896 г. Открытие радиоактивности



1903 г. - А. Беккерель
За открытие
радиоактивности



1911 г. Открытие атомного ядра



1909 г. – Опыты Гейгера и Марсдена по рассеянию α -частиц

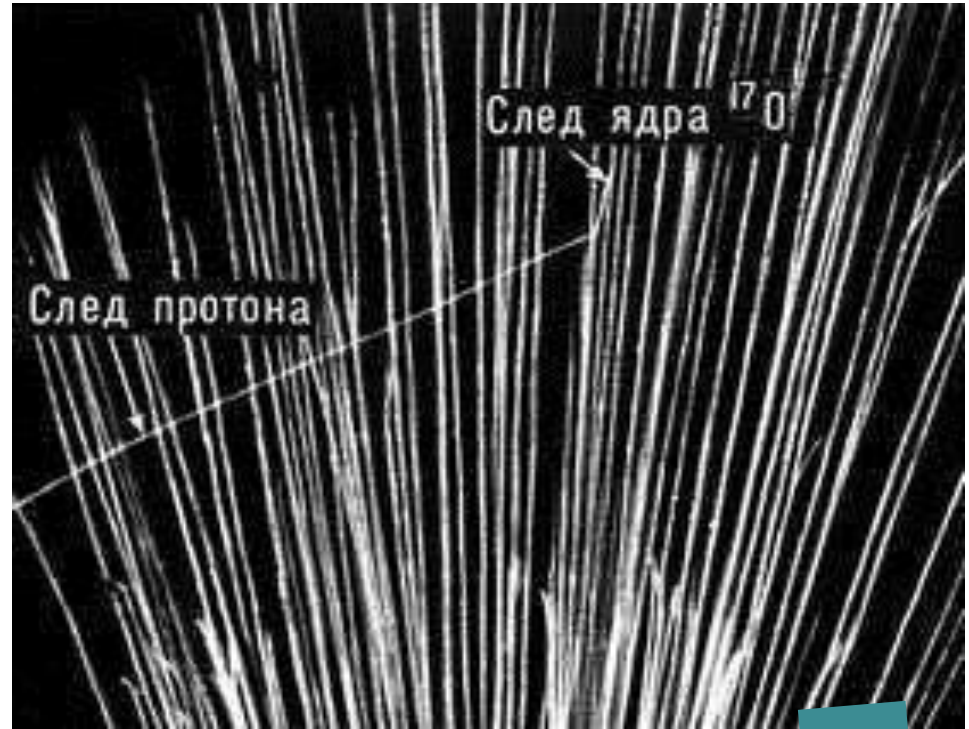
1911 г. – Формула Резерфорда

1919 г. Протон

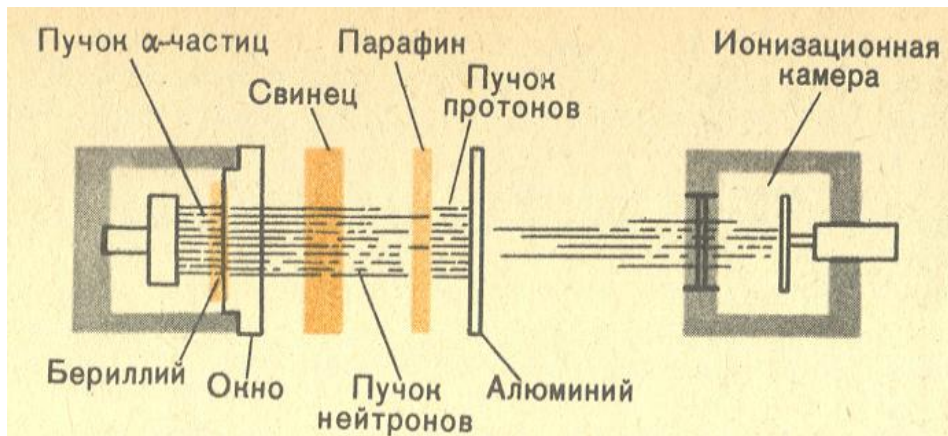
Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию



и доказал наличие в атомном ядре протонов.



1932 г. Нейтрон



1935 г. – Дж.Чедвик
За открытие нейтрона



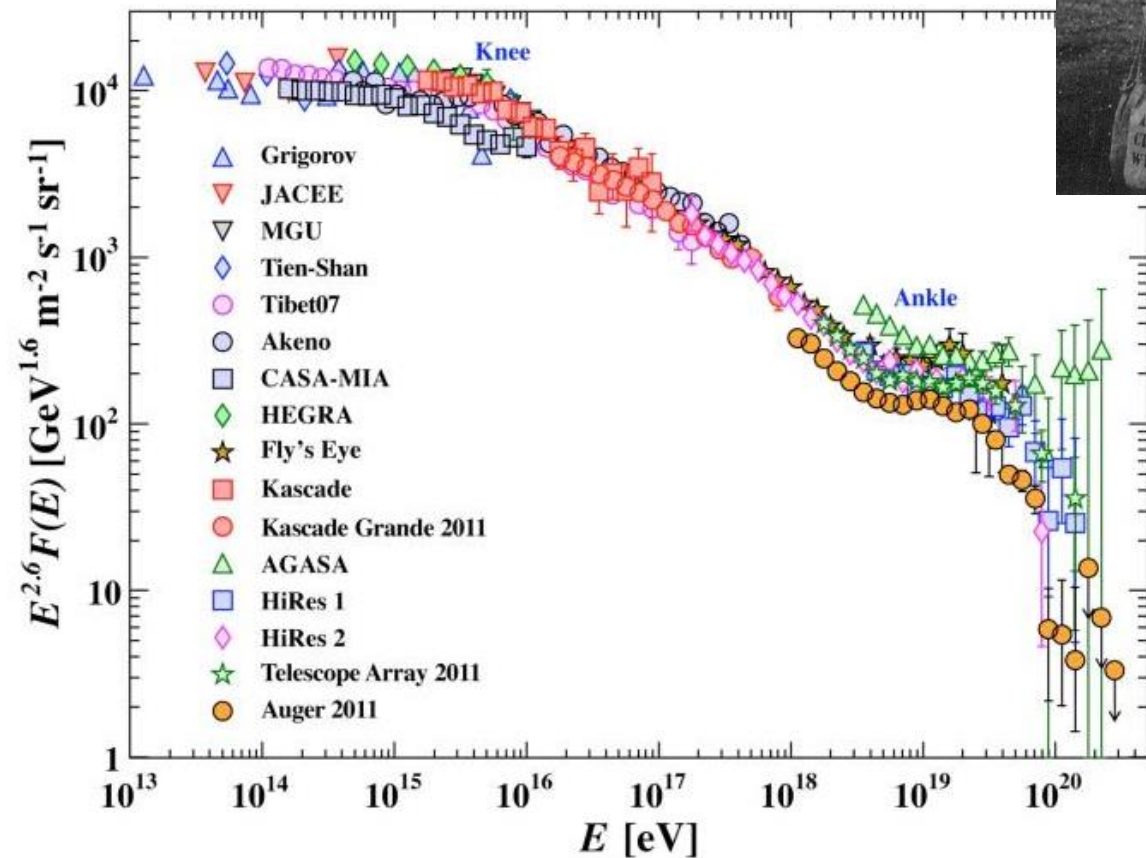
1912 г. Космические лучи

CR

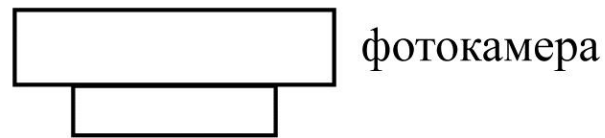
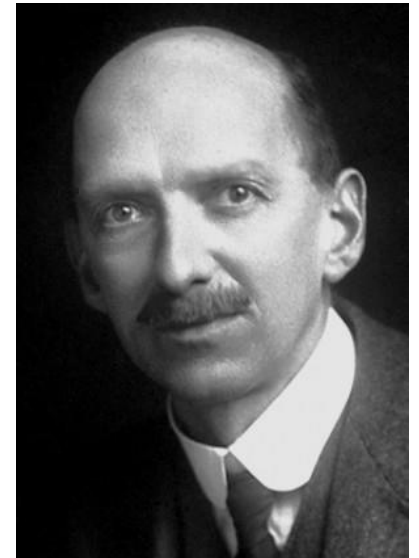


1936 г В. Гесс
За открытие
космического
излучения

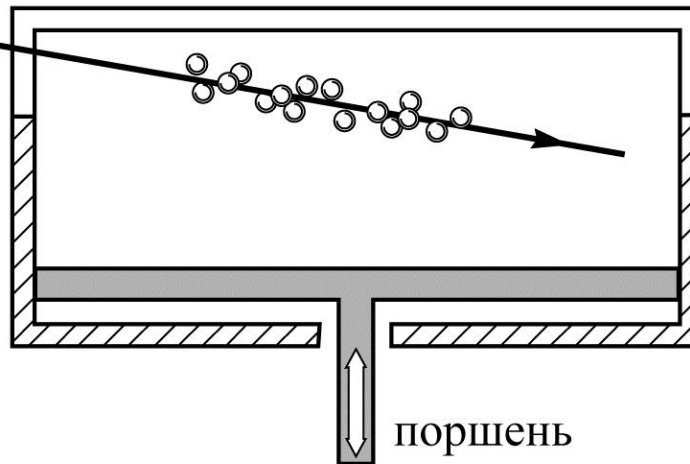
Предел Грайзена-Зацепина-
Кузьмина $\approx 10^{19}$ эВ



1912 г Камера Вильсона



траектория
частицы

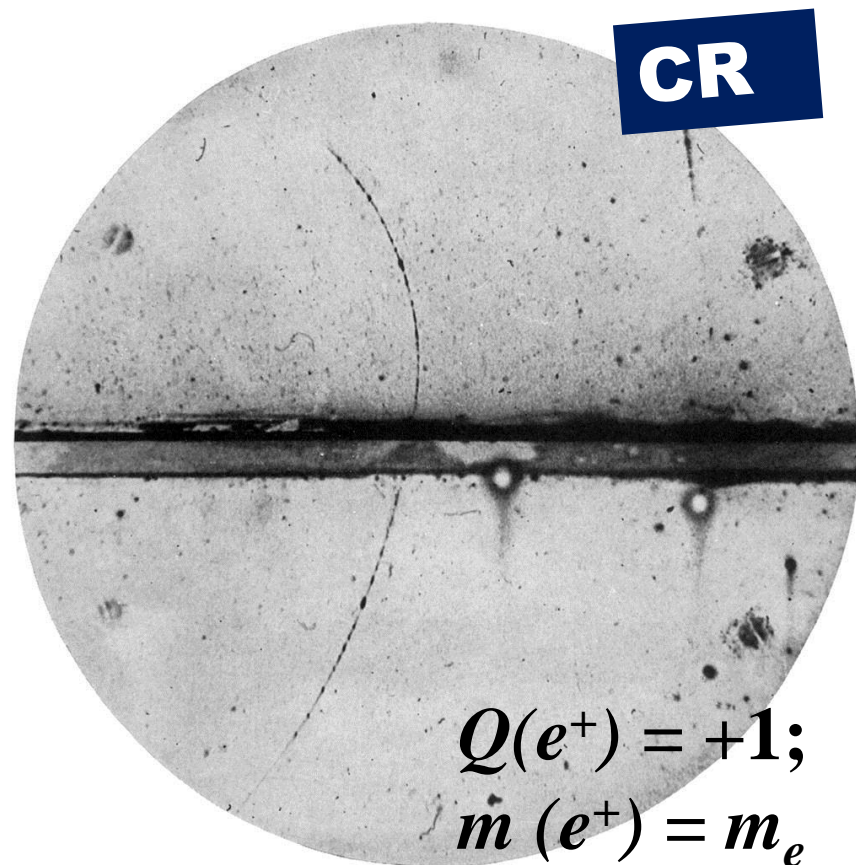
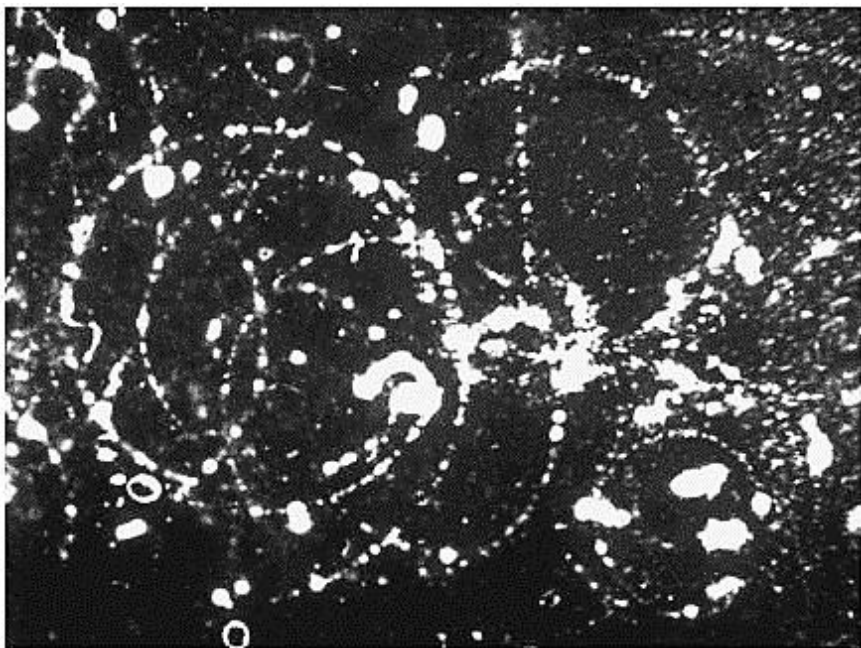


1927

$\Delta L \approx 0.3 \text{ мм}$
 $\Delta t \approx 1 \text{ мин}$

Космические лучи

1927 г. – Д.В. Скобельцын
Наблюдение электронов
космических лучей



$$Q(e^+) = +1;$$
$$m(e^+) = m_e$$

1932 г. Позитрон



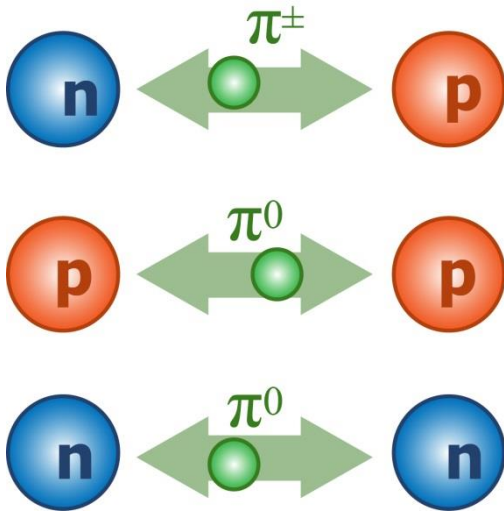
1936 г К. Андерсон
За открытие позитрона

Как устроен Мир. 30-е годы XX века



В середине 30-х годов XX века физическая картина мира строилась исходя из трех элементарных частиц – **электрона**, **протона** и **нейтрона**. Вещество состоит из атомов и молекул, основную массу атомов составляет атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов. Электроны формируют атомную оболочку.

Теория Юкавы



1935 г. Х. Юкава разработал теорию ядерного взаимодействия и предсказал мезоны – кванты ядерного поля.



1949

$$r_{NN} \sim 1 \text{ ФМ} (10^{-13} \text{ см})$$

$$m_{\pi} \sim 200 m_e$$

CR

1937 г. К. Андерсон, С.Неддермейер. Открытие мюона.

$$Q_{\mu} = q_e; \quad m_{\mu} = 200 m_e \quad J=1/2$$

1947 г. С.Пауэлл. Открытие заряженных пионов.

$$Q_{\pi} = \pm q_e; \quad m_{\pi} = 140 \text{ МэВ} \quad J=0$$

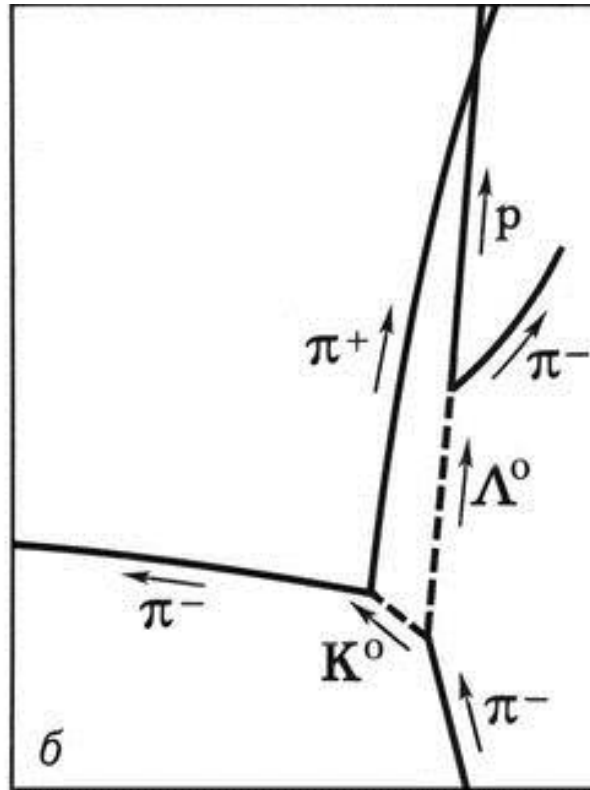
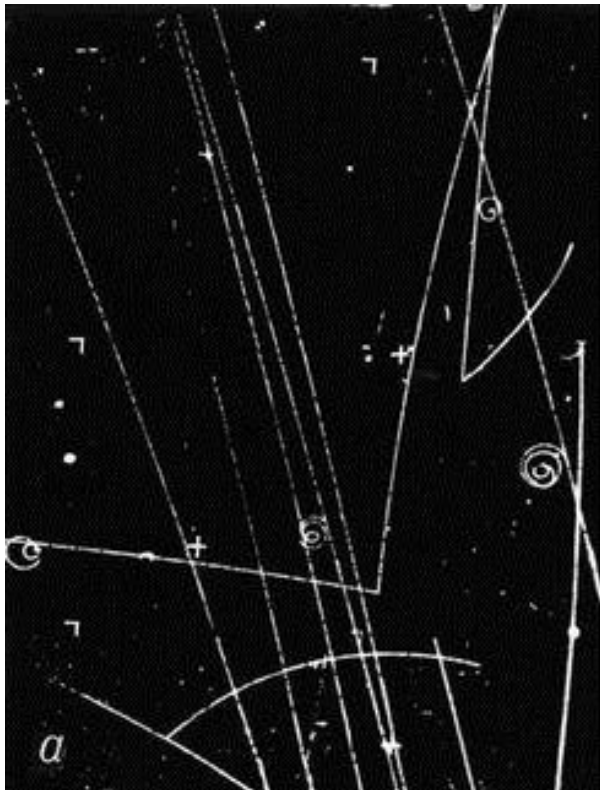


1950

Странные частицы

CR

1947 – 1953 г. Открытие в космических лучах К-мезонов и гиперонов: Λ , Σ , Ξ



1960 г Д. А. Глазер

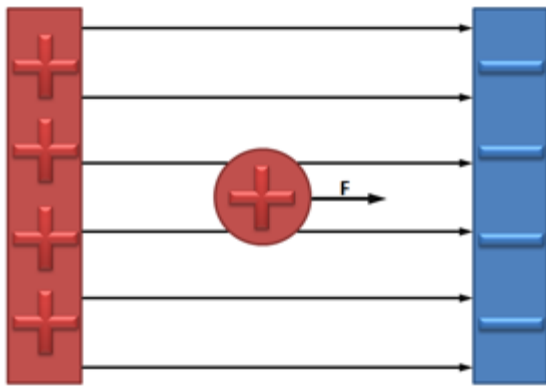
За изобретение пузырьковой камеры (1952 г.)

$\Delta L \approx 0.3$ мм

$\Delta t \approx 1$ сек

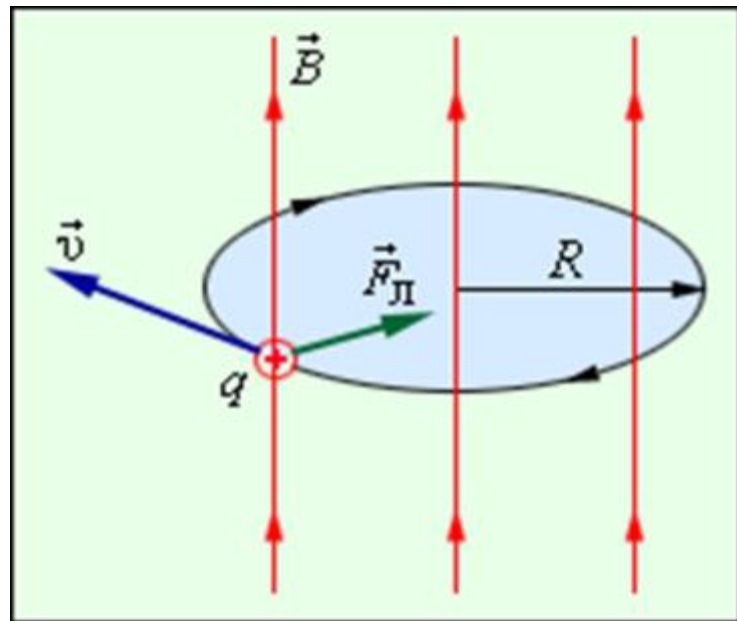
Движение частиц в электромагнитном поле

Электрическое поле



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

Магнитное поле



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

Циклотрон



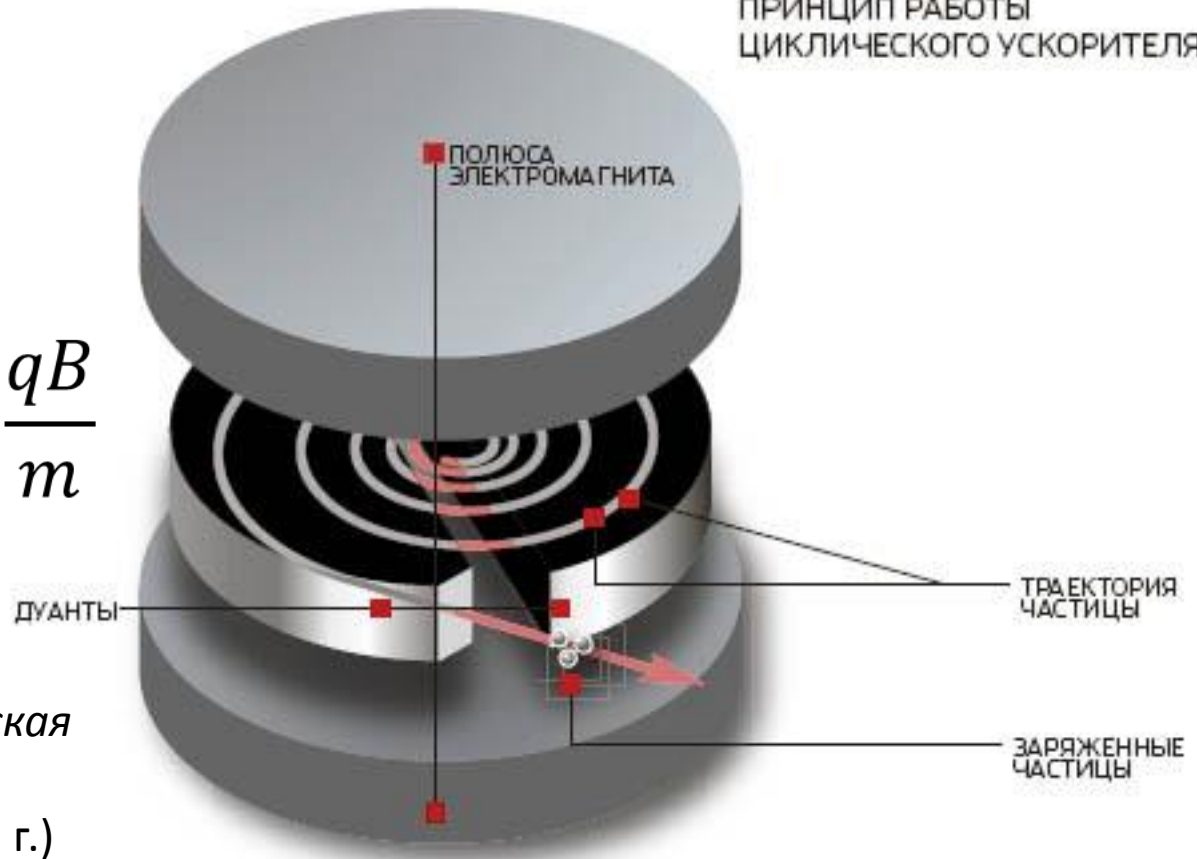
1939

1929 г. Э. Лоуренс предложил идею циклотрона

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



ПРИНЦИП РАБОТЫ
ЦИКЛИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ



$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m}$$

Максимальная кинетическая энергия протонов

$E_{кин}(p) = 22 \text{ МэВ}$ (1939 г.)

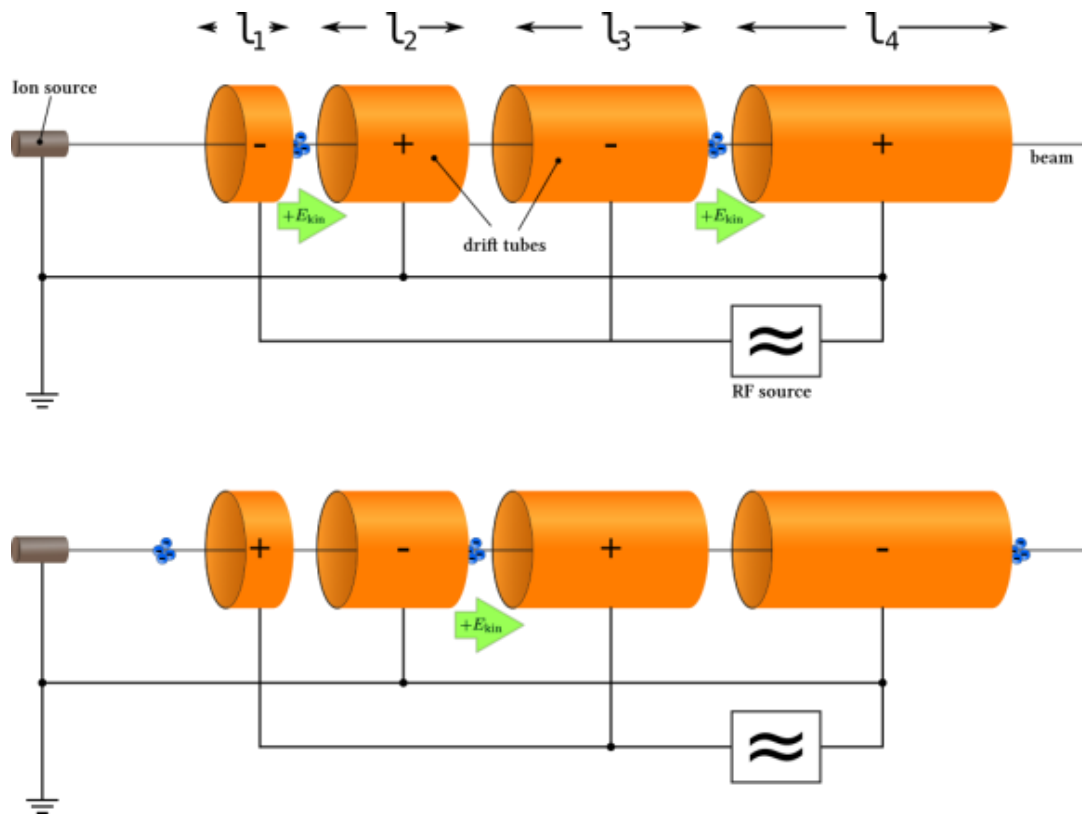
Линейный ускоритель

1925 г. Г. Изинг Схема линейного ускорителя

1928 г. Р. Видероз Дрейфовая трубка ($E_{кин}(e) = 50$ кэВ)

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

1947 г. В. Хансен Беркли, США ($E_{кин}(e) = 1,5$ МэВ)



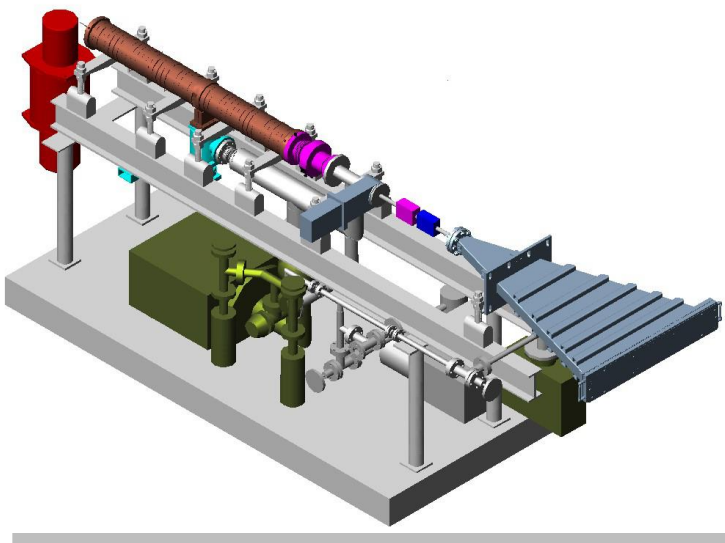
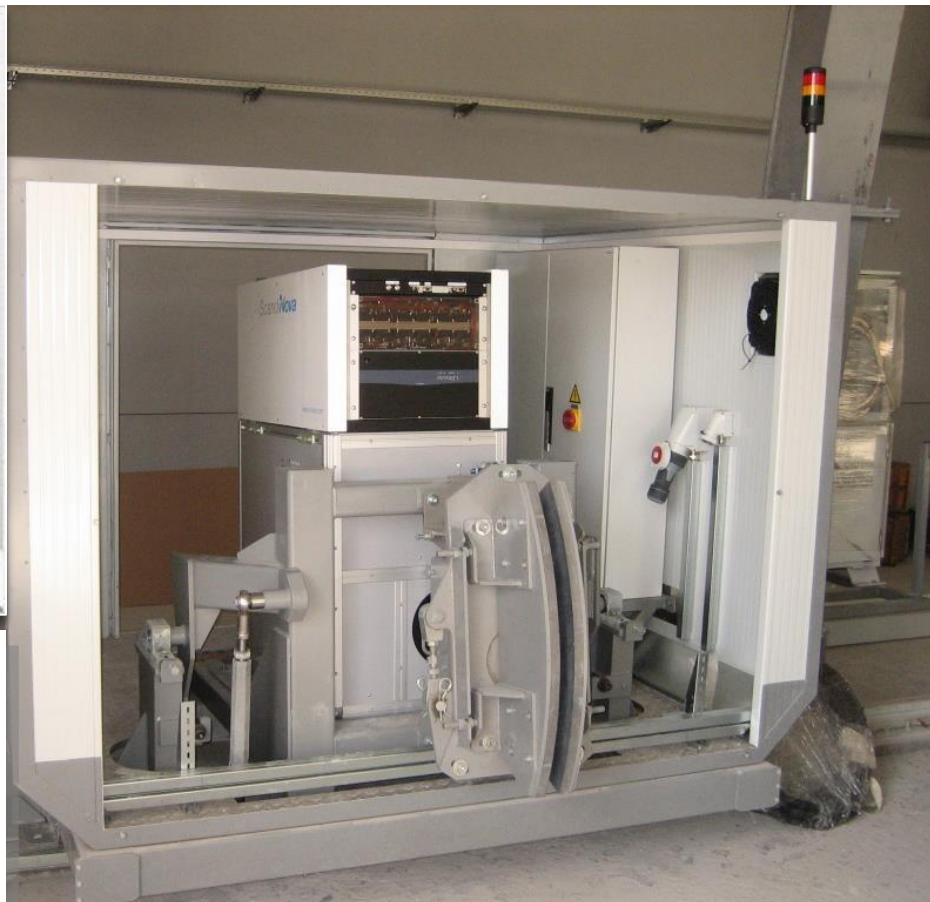
Ускорители электронов



VARIAN был основан в 1948 году
W. Hansen, Russell Varian, Sigmur Varian

В мире в области онкологии используется
20 000 линейных электронных ускорителей
50% всех работающих ускорителей

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

Обработка

Фильтры

Режимы

Инструментарий

Анализ области

Эксперт

Печать

Скрыть

Сброс

Подозрений не выявлено

Подозрений выявлены

Повторная обработка

Оконтуривание

Анализ сыпучих грузов

Темные области

Светлые области

С

Al

Fe

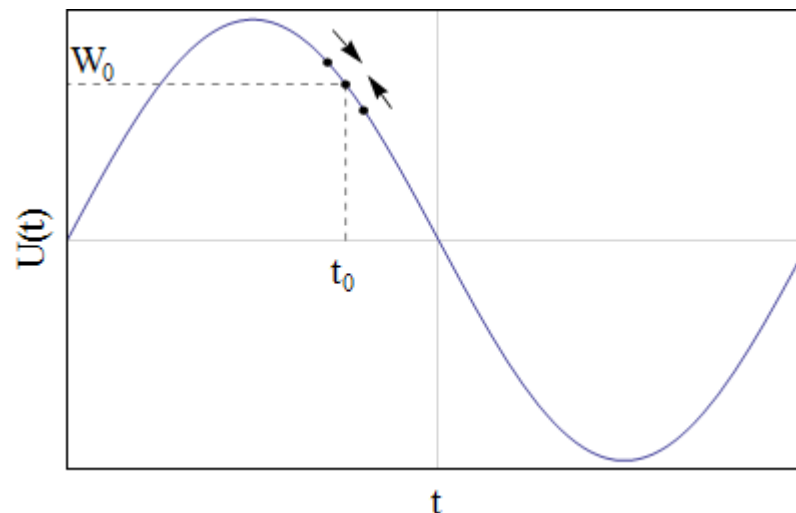
Pb

Принцип автофазировки

1944 г. В. Векслер , Принцип автофазировки
1945 г. US patent 2615129, Edwin McMillan,
«Synchro-Cyclotron», issued 1952-10-21



В.И. Векслер, Э. Макмиллан 1963 г.



Синхроциклотрон

1947 г. Синхротрон
электроны 30 МэВ,
ФИАН, Москва

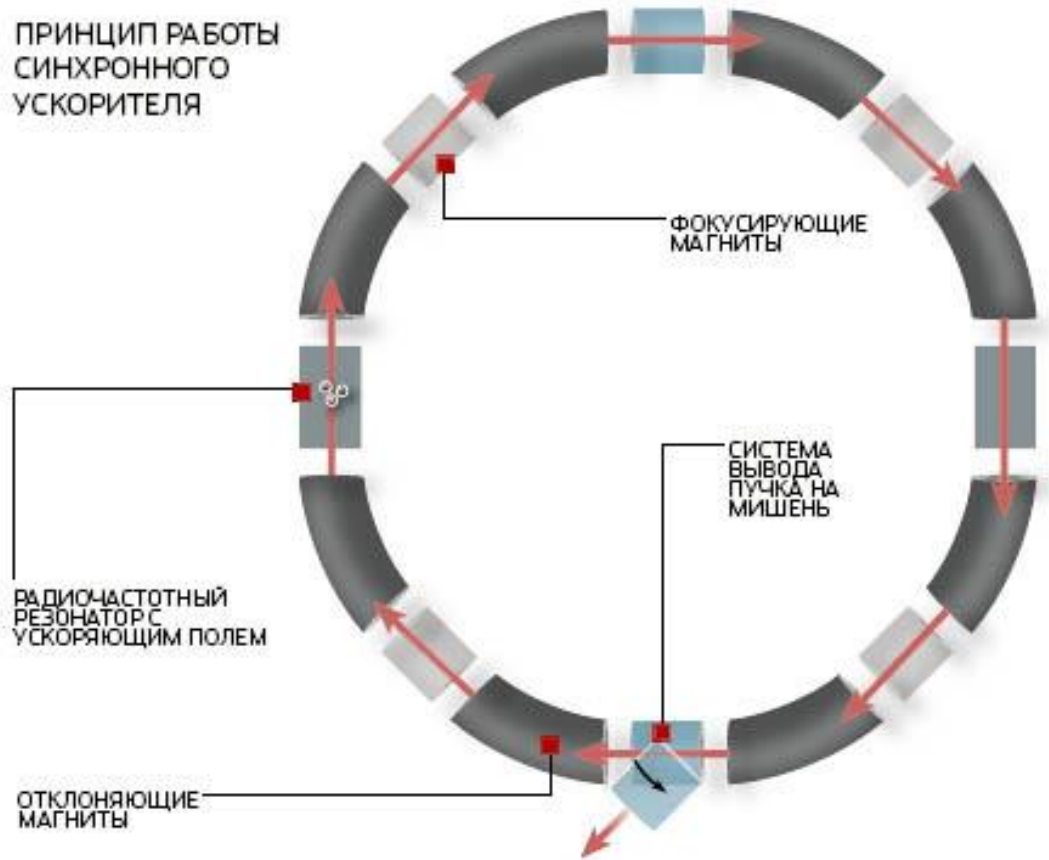
1949 г. Фазотрон
протоны 680 МэВ,
Дубна, СССР

1953 г. Космотрон протоны
3,3 ГэВ,
Беркли, США

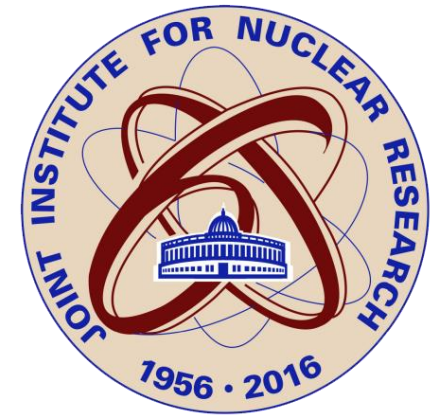
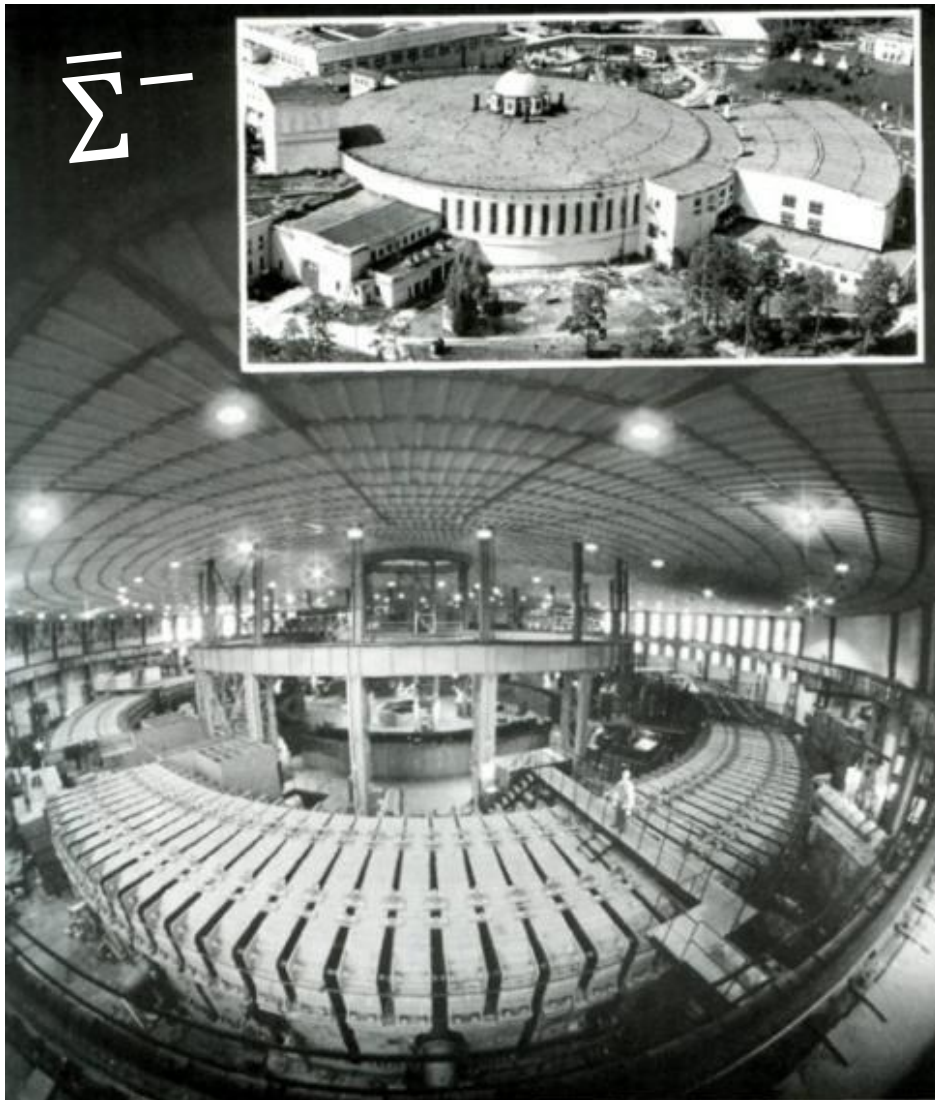
.....

1957 г. Синхрофазотрон
Протоны 10 ГэВ
Дубна, ОИЯИ

ПРИНЦИП РАБОТЫ
СИНХРОННОГО
УСКОРИТЕЛЯ



Синхрофазотрон



Объединенный институт
ядерных исследований,
Дубна, СССР

$$E(p) = \mathbf{10 \text{ ГэВ}} = 10^{10} \text{ эВ}$$

Диаметр магнита 60 м
вес магнита 36 000 т

	E (p) макс	Диаметр	Вес магн.	Ток	Частота
Циклотрон	~ 10 МэВ	1 – 1,5 м	10 – 100 т	100 мА	10 ⁷ имп/сек
Фазотрон	~900 МэВ	5 – 7 м	1 000 т	1 мкА	100 имп/сек
Синхрофазотрон	10 ГэВ	60 м	36 000 т	10 ⁻³ мкА	1 имп в 12 сек

Э. Ферми: «При имеющемся соотношении между максимальной энергией частиц и размерами ускорителя для получения частиц с энергией 10¹⁶ эВ придется построить ускоритель с диаметром, равным диаметру земного шара»

Э. Лоуренс: «И его интенсивность будет один протон в сутки»

В.И. Векслер Доклад на общем собрании АН СССР 27 марта 1958 г.

Нейтрино

1956 г. Ф. Райнес, К. Коэн. Регистрация антинейтрино



$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\gamma$$

1995

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^{+}$$

$$n + \text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{*} \rightarrow \text{Cd} + \gamma$$

100 дней измерений

567 событий (фон 209 событий)

1962 г. Л. Ледерман, М. Шварц, Дж. Стейнбергер.

Открытие мюонного нейтрино



$$\pi^{+} \rightarrow \mu^{+} + \nu \quad \pi^{-} \rightarrow \mu^{-} + \bar{\nu}$$

1988

$$\nu + n \rightarrow \mu^{-} + p \quad \bar{\nu} + p \rightarrow \mu^{+} + n$$

ИЛИ

$$\nu + n \rightarrow e^{-} + p \quad \bar{\nu} + p \rightarrow e^{+} + n$$

$$V_e \neq V_{\mu}$$

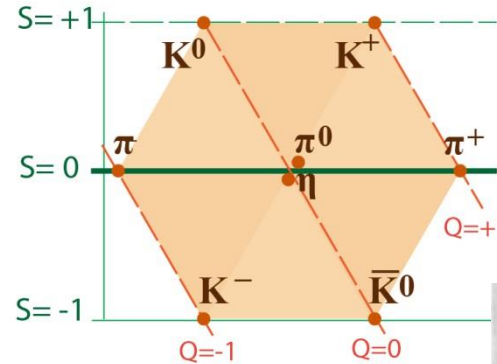
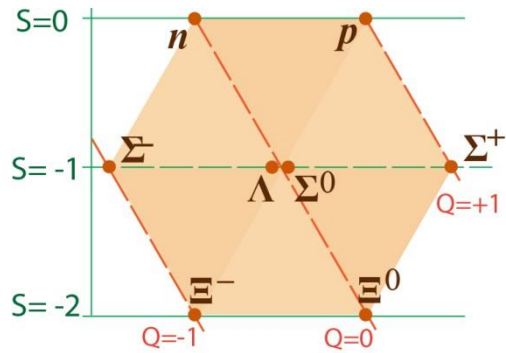
Как устроен Мир. 60-е годы XX века

Фермионы $J = 1/2, 3/2, \dots$		Бозоны $J=0, 1, 2 \dots$	
Барионы	Лептоны	Фотон	Мезоны
Нуклоны p, n	Электрон e^-	γ	Пионы π^-, π^+, π^0
Резонансы Δ, N	Мюон μ^-		Странные K -мезоны
Гипероны $\Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega^-$	Нейтрино ν_e, ν_μ		Нестранные ρ -, ω - мезон
$B = 1$	$L = 1$		$B = 0$

Кварковая модель

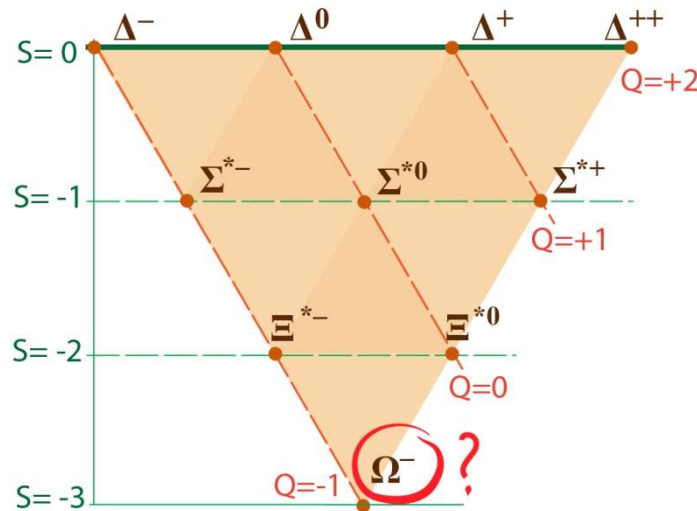
1961 г. М. Гелл-Манн, Восьмеричный путь

$$\vec{J} = \frac{1}{2}$$

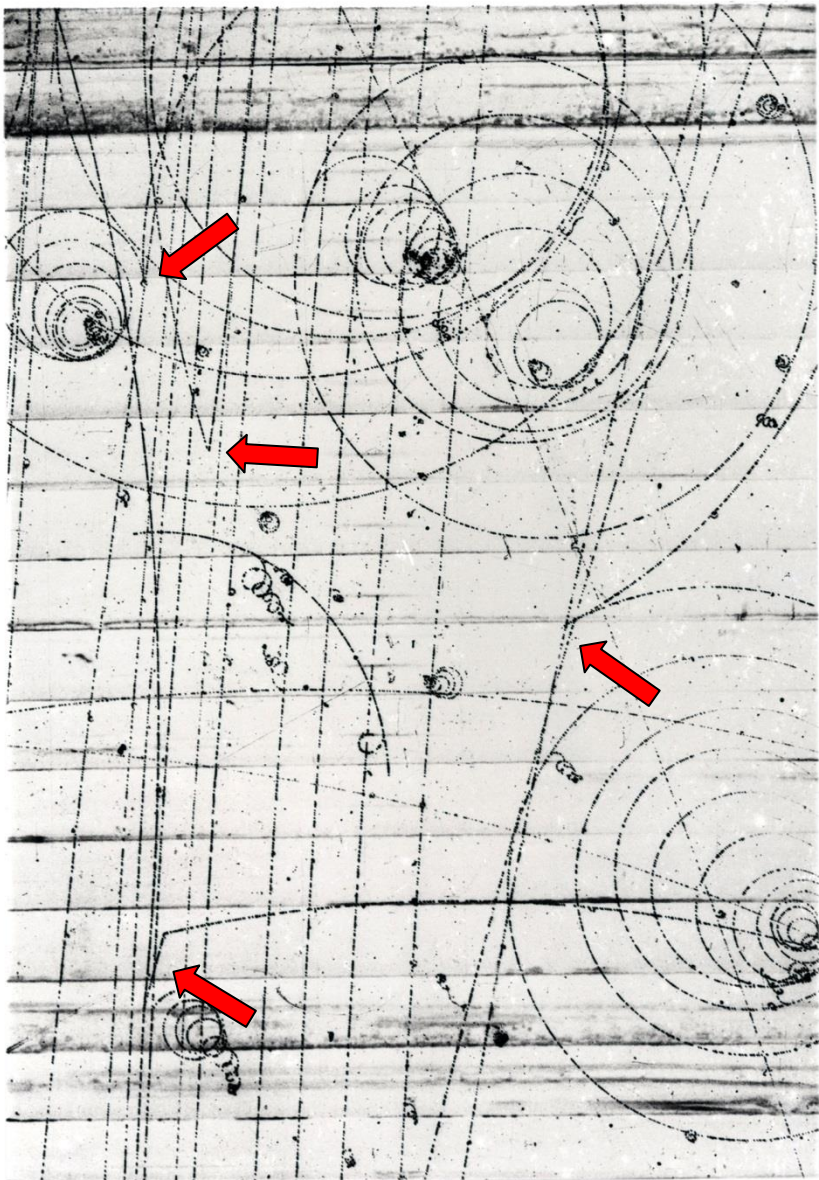


$$\vec{J} = 0$$

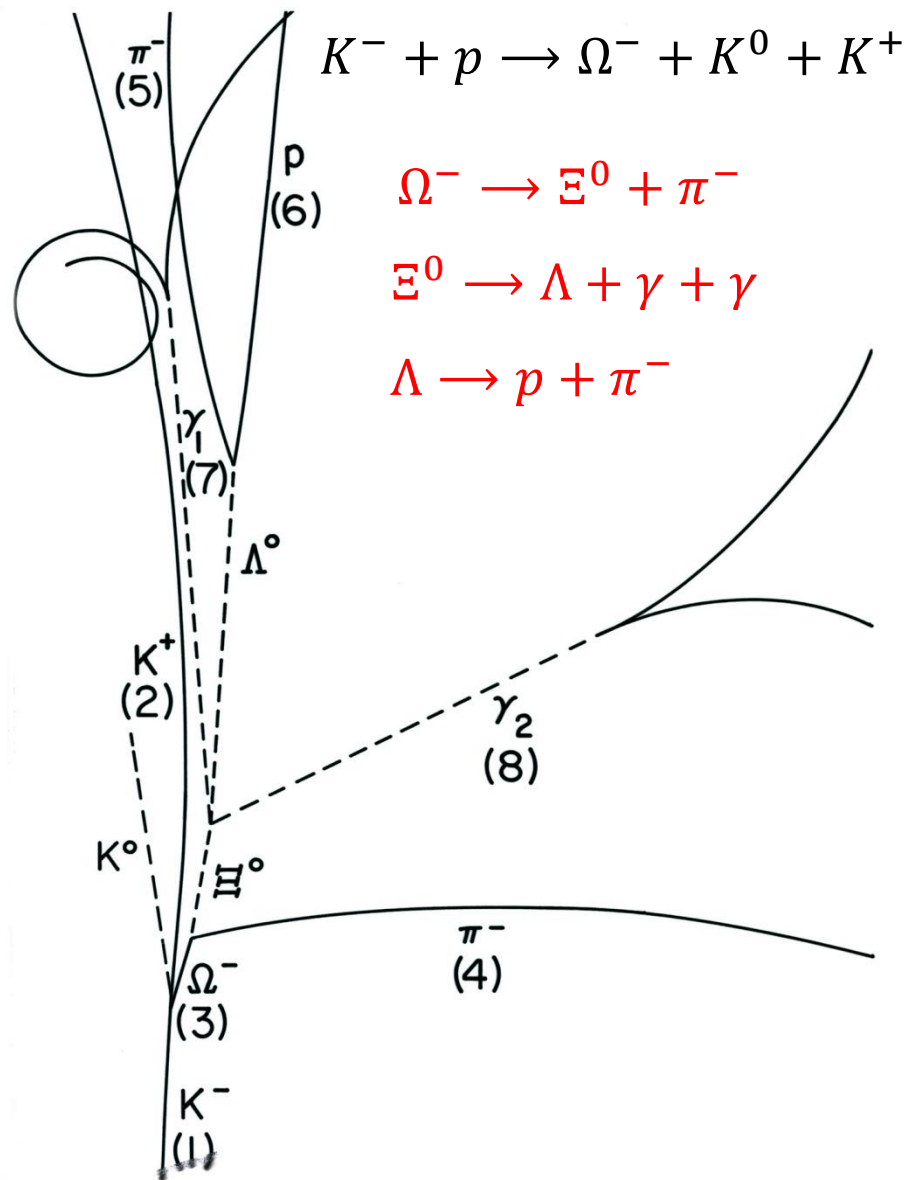
$$\vec{J} = \frac{3}{2}$$



1964 г. Открытие Ω^- гиперона. BNL (Брукхевен), США

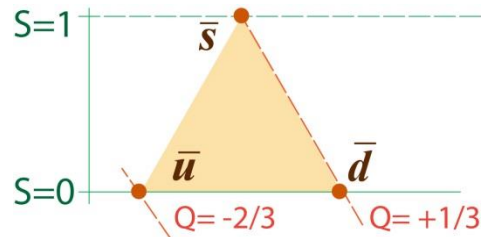
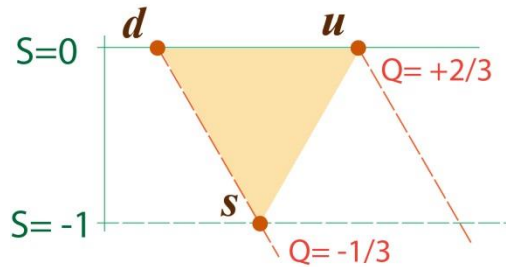


1964 г. BNL



Кварковая модель

1964 г. М. Гелл-Манн, Дж. Цвейг. Модель кварков

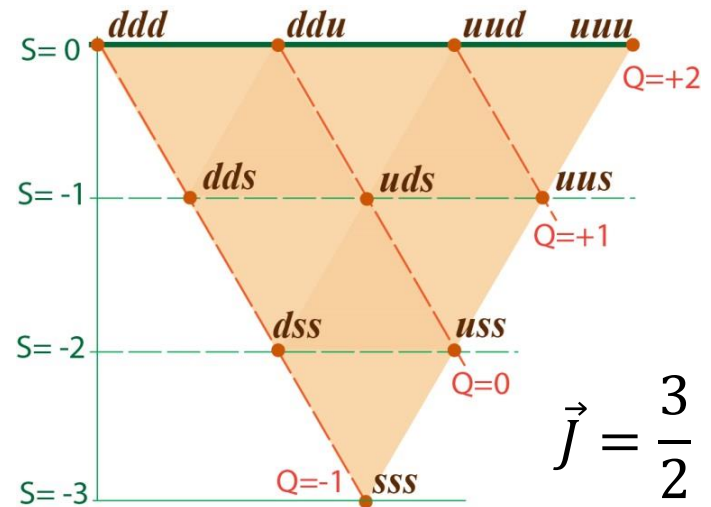


$$\vec{J} = \frac{1}{2} \quad B = \frac{1}{3}$$

Протон $p = uud$

Нейтрон $n = ddu$

Частицы	B	Состав
Барионы	1	qqq
Антибарионы	-1	\overline{qqq}
Мезоны	0	\overline{qq}

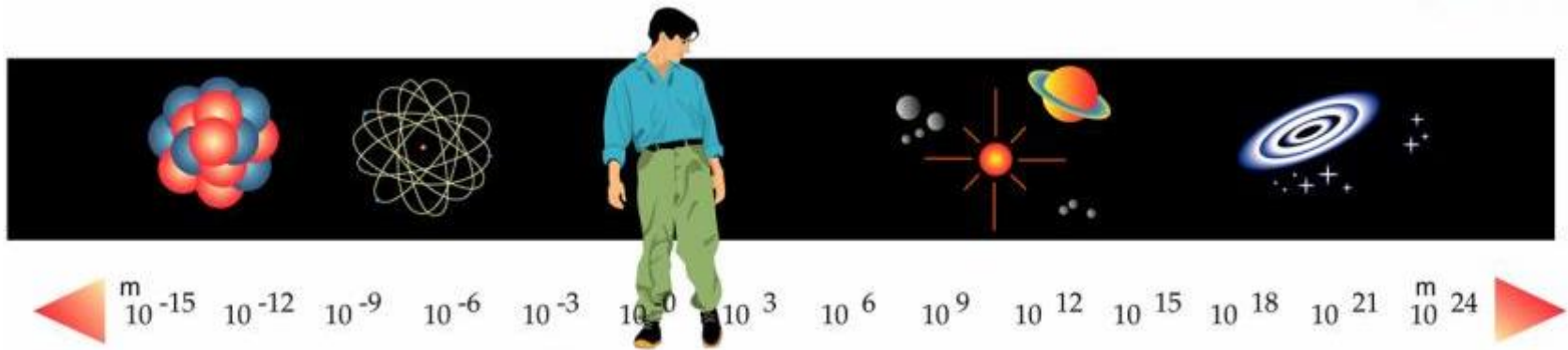


$$\vec{J} = \frac{3}{2}$$



1969 г. – М. Гелл-Манн За открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий

Эра больших машин



$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta x \approx \frac{\hbar c}{2E} \approx \frac{200 \text{ МэВ} \cdot \text{ФМ}}{2E}$$

$$E \approx \frac{\hbar c}{2\Delta x} \approx \frac{200 \text{ МэВ} \cdot \text{ФМ}}{2\Delta x}$$

Нуклон $\Delta x \sim 1 \text{ ФМ} \leftrightarrow E_e \sim 100 \text{ МэВ}$

$E \sim 100 \text{ ГэВ} \leftrightarrow \Delta x \sim 10^{-3} \text{ ФМ} = 10^{-18} \text{ м}$

$E \sim 10 \text{ ТэВ} \leftrightarrow \Delta x \sim 10^{-5} \text{ ФМ} = 10^{-20} \text{ м}$

Встречные пучки

$$a + b \rightarrow M$$

$$(E_a + E_b)^2 - (\vec{p}_a + \vec{p}_b)^2 = M^2$$

$$E^2 - p^2 = M^2$$

Неподвижная мишень



$$(E_a + E_b)^2 - (\vec{p}_a)^2 = M^2$$
$$m_a^2 + m_b^2 + 2m_b E_a = M^2$$

Встречные пучки ($m_a = m_b$)



$$M^2 = (E_a^* + E_b^*)^2$$
$$M^2 = 4E^{*2}$$

$$E_a = \frac{2E^{*2}}{m} - m$$

$$T = \frac{2T^{*2}}{m} + 2T^* = \{T \ll m\} \approx 2T^*$$

$$E = \{E \gg m\} \approx \frac{2E^{*2}}{m}$$

Встречные пучки

$$E_a = \frac{2E^{*2}}{m} - m$$

Большой адронный коллайдер (ЛHC): $p + p$

$$E^* = 7 \text{ ТэВ} = 7 \cdot 10^3 \text{ ГэВ} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} E_a &\approx \frac{2 \cdot 49 \cdot 10^6 \text{ ГэВ}^2}{1 \text{ ГэВ}} - 1 \text{ ГэВ} = \\ &= 10^8 \text{ ГэВ} = 10^5 \text{ ТэВ} = 10^{17} \text{ эВ} \end{aligned}$$

Ноябрьская революция

1974 г. Открытие четвертого кварка.

SLAC (Стэнфорд) и BNL (Брукхевен), США

Тинг (AGS, BNL):

$$p + p \rightarrow V_0 + X, X... \text{ anything}$$

Рихтер (SPEAR, SLAC):

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

$$J/\psi = c\bar{c}$$

$$M(J/\psi) = 3096,9 \text{ МэВ}$$

$$J^P = 1^-$$

$$\tau = 7,2 \cdot 10^{-21} \text{ сек}$$

Шарм $C=1$



1976 г. – Б. Рихтер, С. Тинг, За основополагающий вклад в открытие тяжелой элементарной частицы нового типа J/ψ

Как устроен Мир (Стандартная Модель)

ФЕРМИОНЫ

БОЗОНЫ

<i>u</i>	<i>c</i>	<i>t</i>	Кварки	<i>g</i>	Сильное
<i>d</i>	<i>s</i>			<i>b</i>	γ
ν_e	ν_μ	ν_τ	Лептоны	W^\pm	Слабое
<i>e</i>	<i>\mu</i>	<i>\tau</i>	Z^0		
I	II	III			

АДРОНЫ

БАРИОНЫ (qqq)		МЕЗОНЫ ($q\bar{q}$)	
нуклоны	p, n	пионы	π^+, π^0, π^-
резонансы	$\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}$ и тд	каоны	K^+, K^-, K^0, \bar{K}^0 и тд
гипероны	$\Lambda, \Sigma^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Omega^-$ и тд	«векторные»	$\rho^+, \rho^0, \rho^-, \omega$ и тд

Третье поколение

1975 г. М. Перл (SLAC, Стэнфорд, США)
Открытие тау-лептона

$$Q_\tau = q_e; \quad m_\tau = 1776,82 \text{ МэВ}; \quad \tau_\tau = 290,6 \times 10^{-15} \text{ сек}$$



1995

1977 г. Л. Ледерман (FNAL, США)
Открытие ипсилон-мезона Υ

$$\Upsilon = b\bar{b}$$

$$m(\Upsilon) = 9460 \text{ МэВ} \quad ; \quad J^P = 1^-; \quad \tau = 1,218 \cdot 10^{-20} \text{ сек}$$

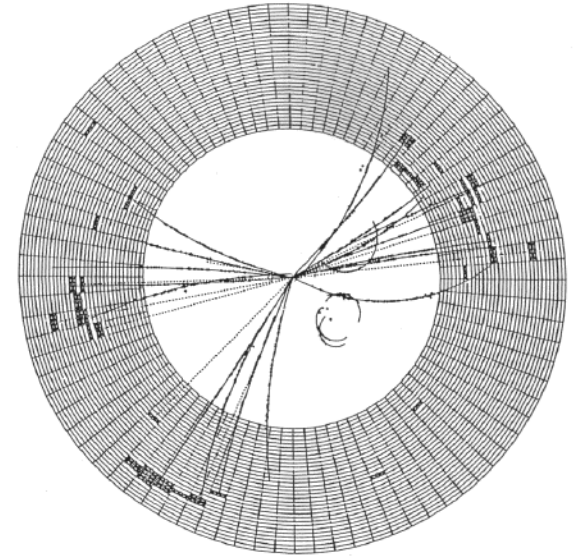
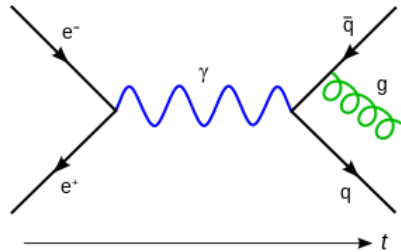
1995 г. Коллаборации **CDF** и **DZero** (TEVATRON, FNAL, США)
Открытие топ-кварка

$$m(t) = 173,21 \text{ ГэВ}$$

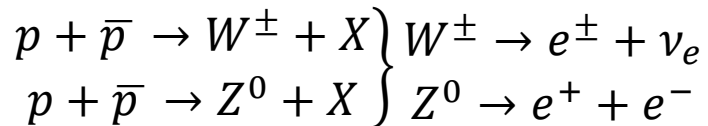
2000 г. Коллаборация **DONUT** (TEVATRON, FNAL, США)
Открытие тау-нейтрино

Калибровочные бозоны

1979 г. **TASSO** (Petra, DESY, Германия)
Экспериментальное подтверждение
существования глюонов



1983 г. **UA1, UA2** (SPS, CERN)
Открытие W^\pm, Z^0



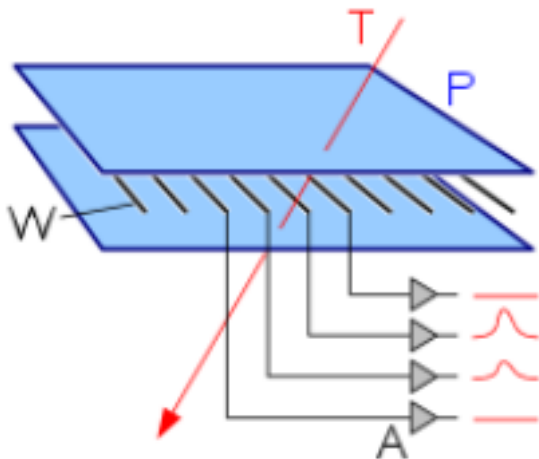
10^9 $p\bar{p}$ столкновений $\rightarrow 6W^\pm$



1984 г. – К. Руббиа, С. Ван дер Меер, За решающий вклад в большой проект, осуществление которого привело к открытию квантов поля W и Z — переносчиков слабого взаимодействия

Координатные детекторы

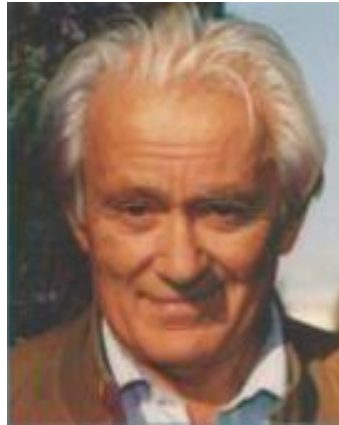
Многопроволочная пропорциональная камера



$$\Delta L \approx 0,05 - 0.3 \text{ мм}$$

$$\Delta t \approx 10^{-9} \text{ сек}$$

$$\Delta E \approx 10\%$$

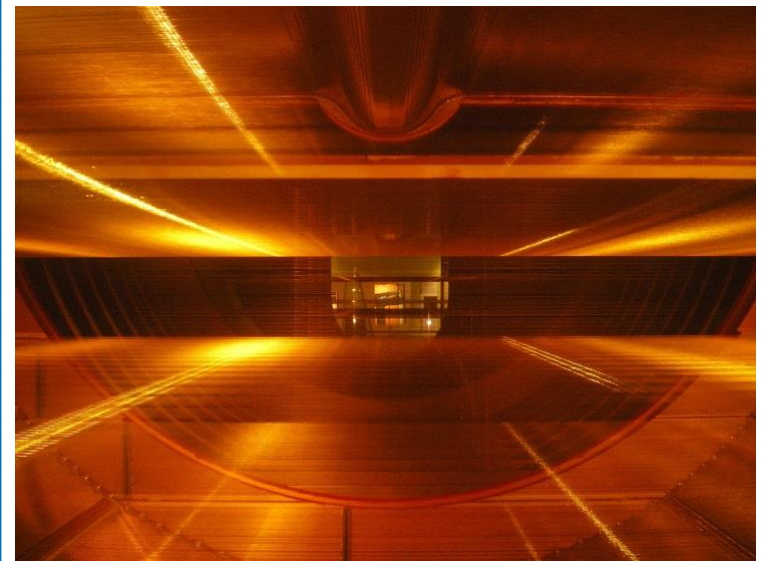
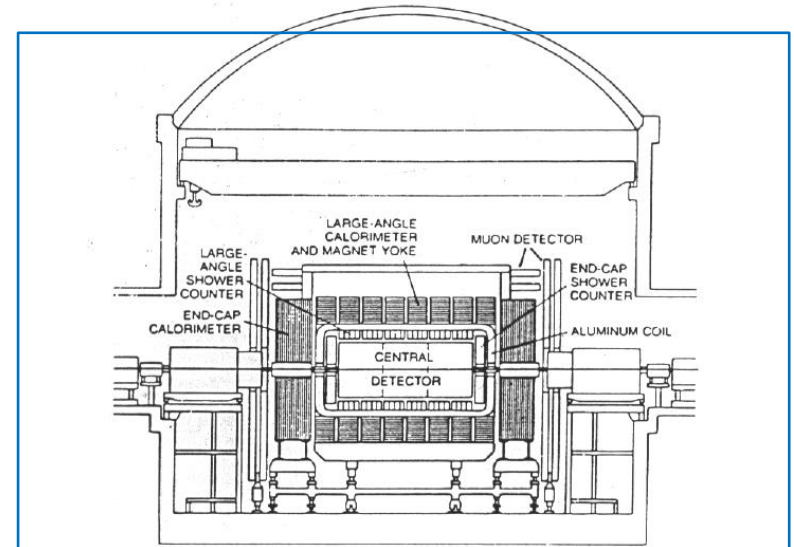


Георг Шарпак



1992 г. – Г. Шарпак

За создание пропорциональной камеры



UA1 дрейфовая камера L=5,8 м, D = 2,3 м

Как устроен Мир (Стандартная Модель)

ФЕРМИОНЫ

u	c	t
d	s	b
ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ

I

II

III

Кварки

Лептоны

БОЗОНЫ

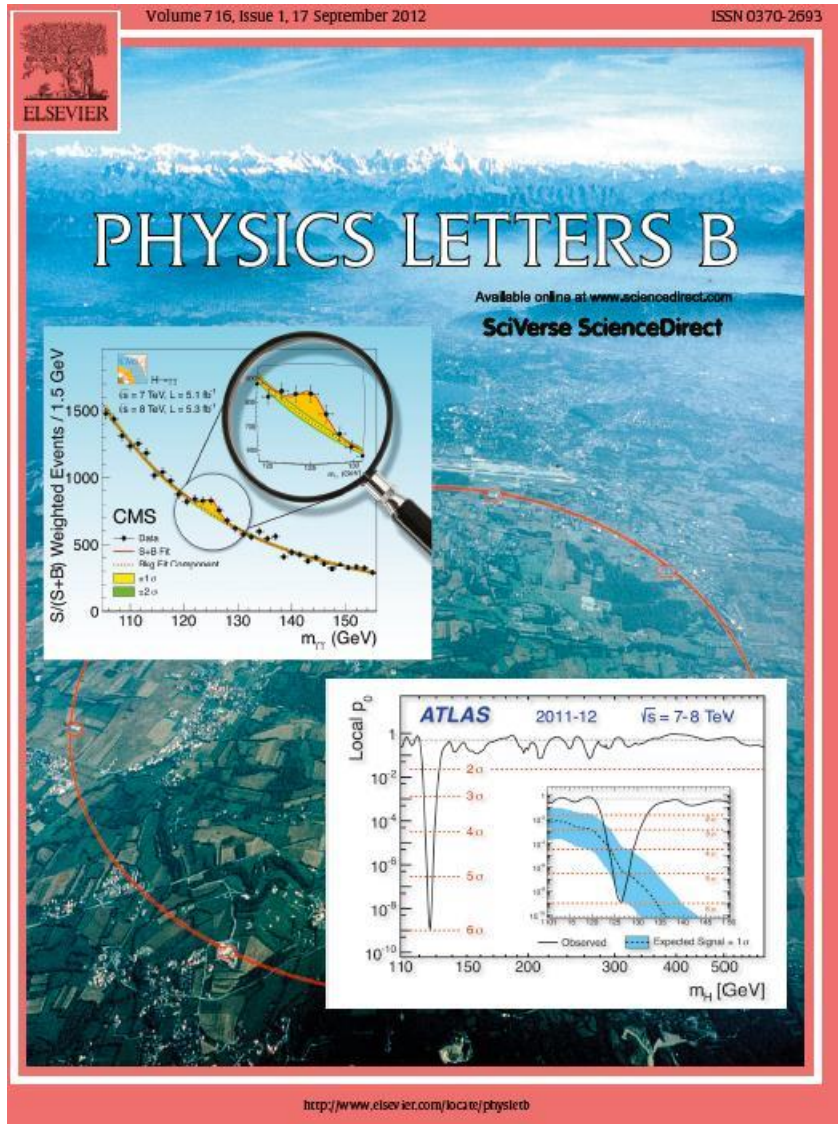
g
γ
W^\pm
Z^0
H

Сильное

Электро-
магнитное

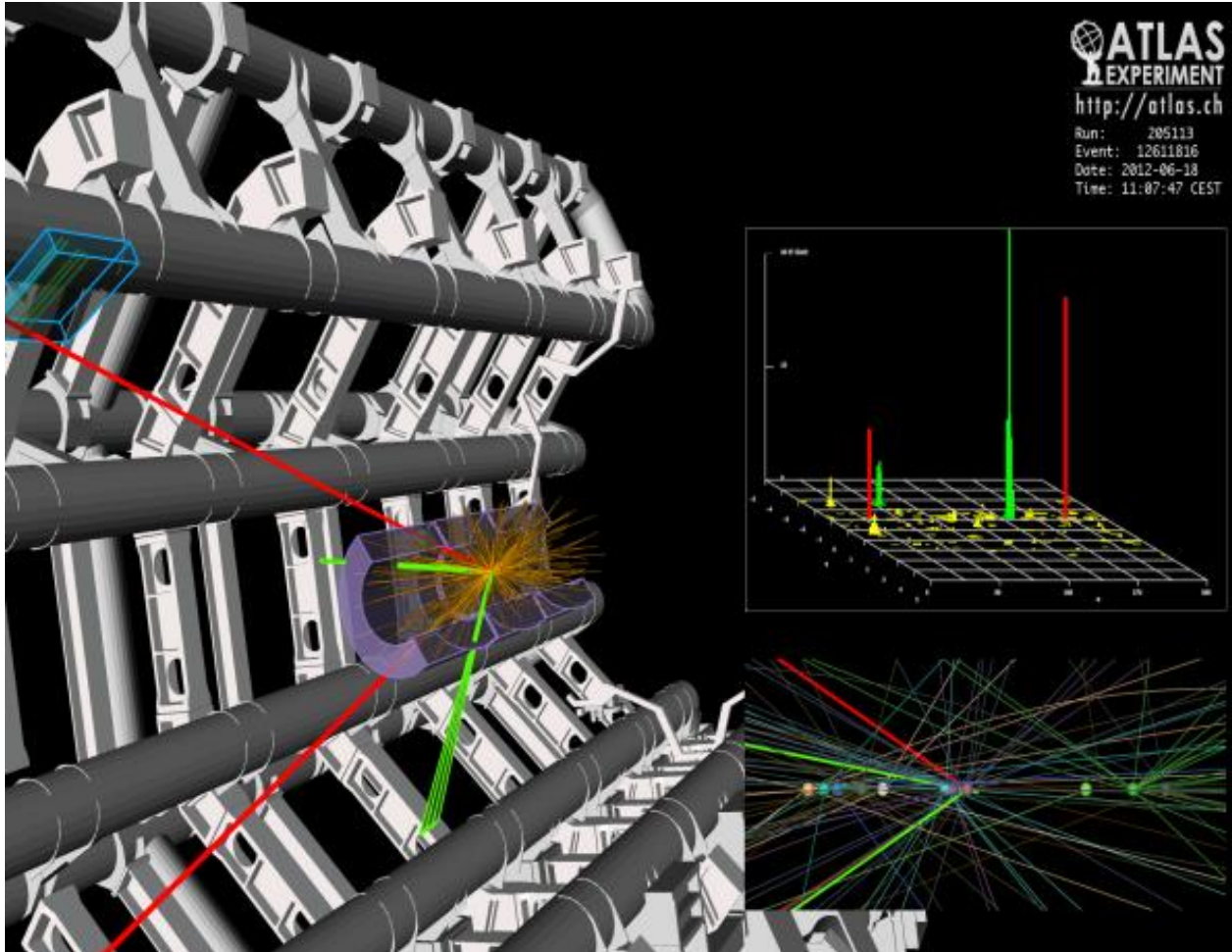
Слабое

Бозон Хиггса



2013 г. – П. Хиггс, Ф. Энглер,
За теоретическое обнаружение
механизма, который помогает нам понять
происхождение массы субатомных
частиц, подтверждённого в последнее
время обнаружением предсказанной
элементарной частицы в экспериментах
ATLAS и CMS на Большом адронном
коллайдере в ЦЕРН

Событие $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 2e 2\mu$



Green tracks:

$e_1 : P_T = 18.7 \text{ GeV}$,

$e_2 : P_T = 76.0 \text{ GeV}$

2e invariant mass

$M(ee) = 87.9 \text{ GeV}$

Red tracks:

$\mu_1 : P_T = 19.6 \text{ GeV}$

$\mu_2 : P_T = 7.9 \text{ GeV}$

2μ invariant mass

$M(\mu\mu) = 19.6 \text{ GeV}$.

2e2μ invariant-mass:

$M(4\ell) = 123.9 \text{ GeV}$.

Сверхпроводящие магниты

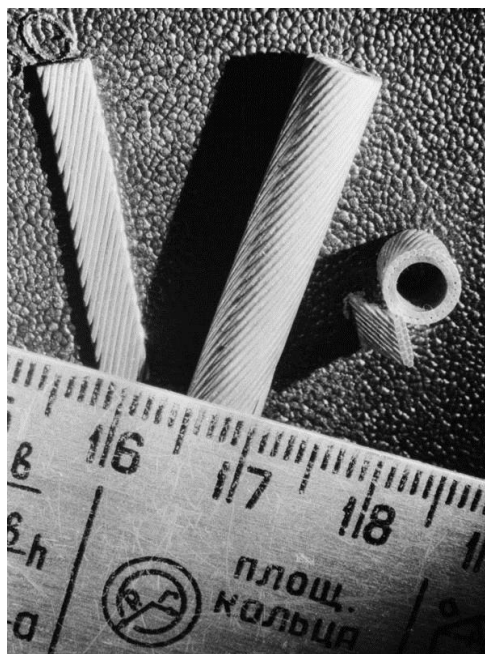
1955 г G.V. Yntema (University of Illinois) **Nb** (0.7 Т при 4.2 К)

1983 г TEVATRON (FNAL, США) NbTi, Nb₃Sn (4,4 Т)

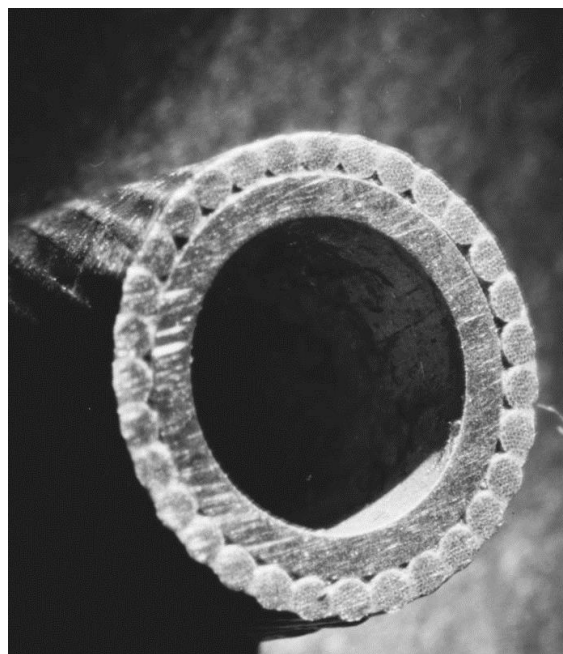
1993 г Нуклотрон (ЛВЭ ОИЯИ, Дубна) **NbTi** (2 Т, 1 Т/сек)

2010 г. LHC (CERN, Женева) (8,4 Т, 0.07 Т/сек)

2012 г. Для FAIR (ИФВЭ, Протвино) (6,8 Т, 1.15 Т/сек)

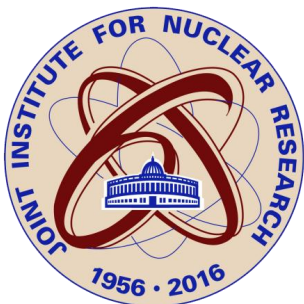
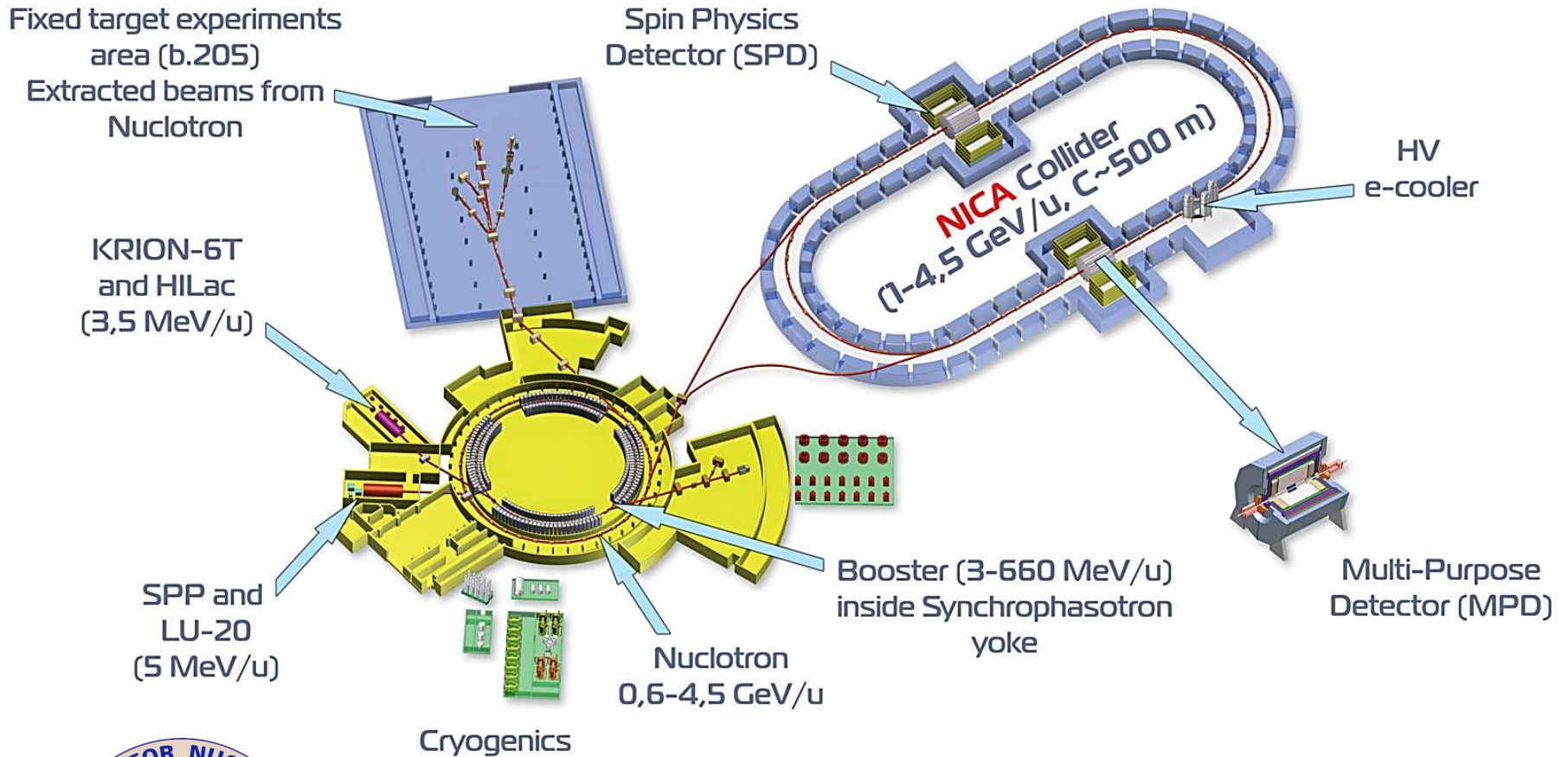


1980 г. ЛВЭ ОИЯИ Магниты для УНК

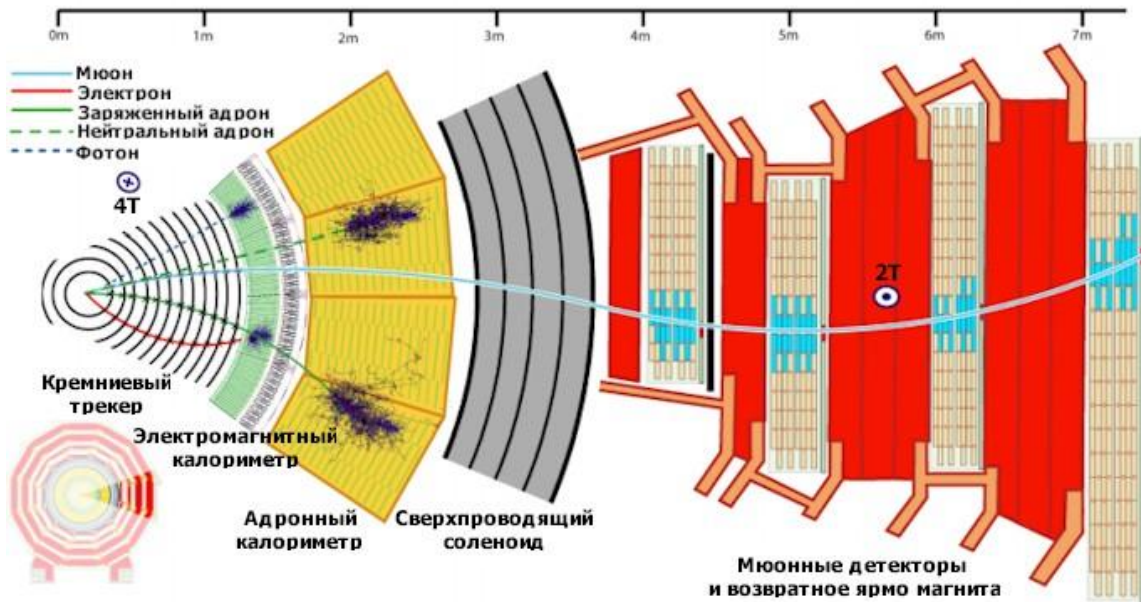


2012 г. Магниты нуклотрона

Superconducting accelerator complex **NICA** (**N**uclotron based **I**on **C**ollider **f**Acility)



Детектирующие системы

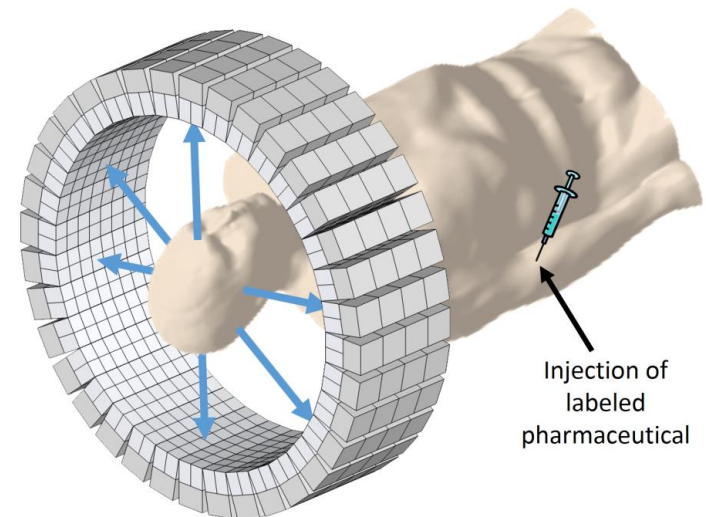
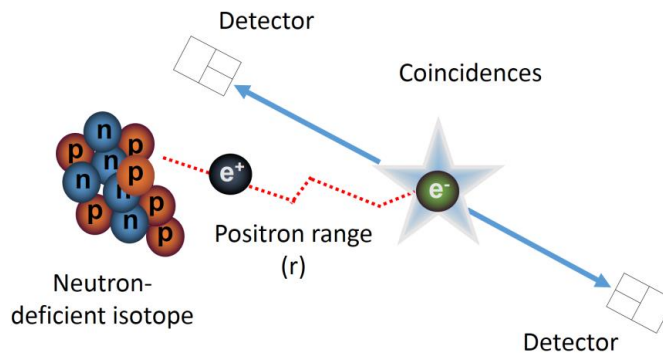


Коллаборация CMS

183 лабораторий и университетов
38 стран

Длина – 25 м,
диаметр – 15 м.
Вес – 15000 тонн
Магнит ~4 Тесла
Si (трекинг) 200 м²

Позитронная эмиссионная томография



Обработка данных



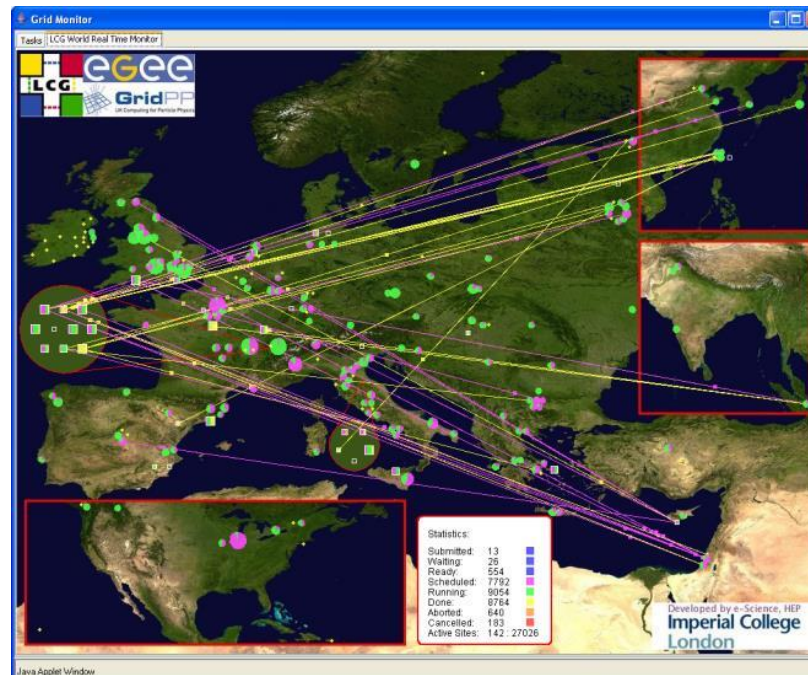
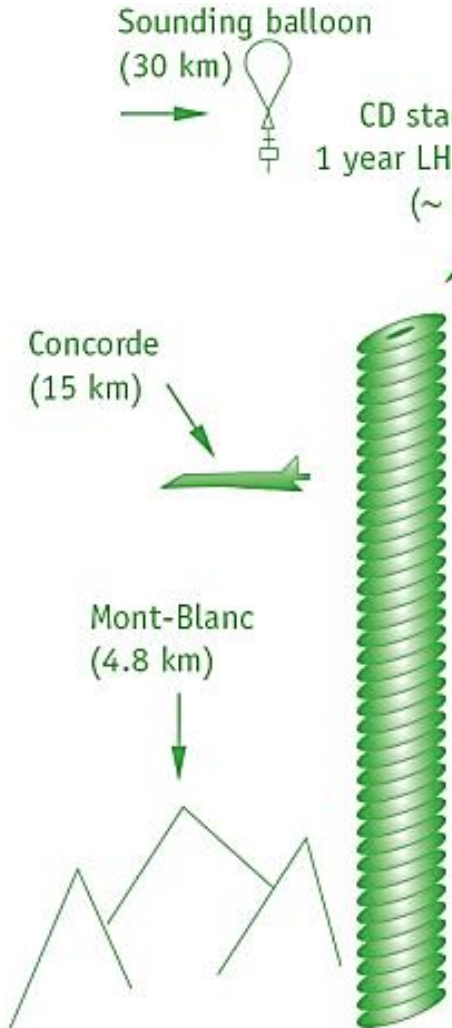
where the web was born

Tim Berners-Lee

The World Wide Web, 1989



1980 г. ЛВТА ОИЯИ, Н. Говорун, А. Карпов



2014 г. ЛИТ ОИЯИ, Tier1