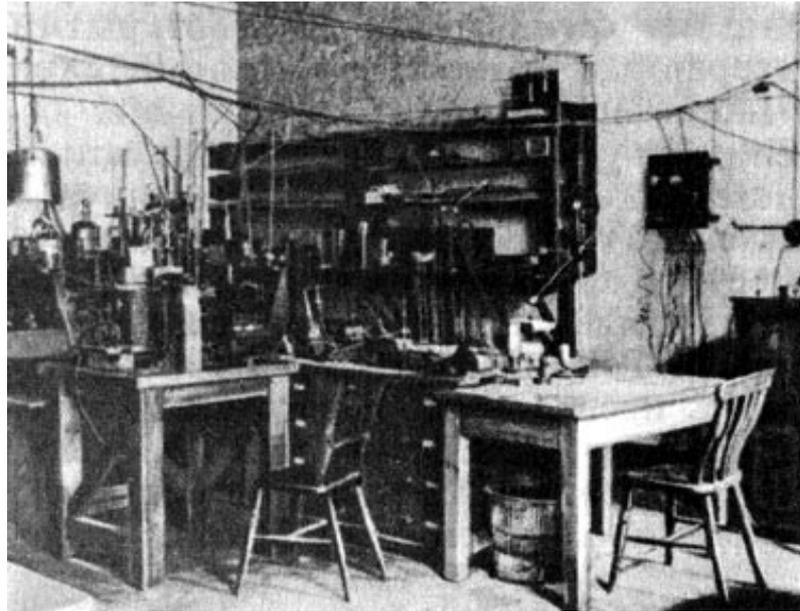
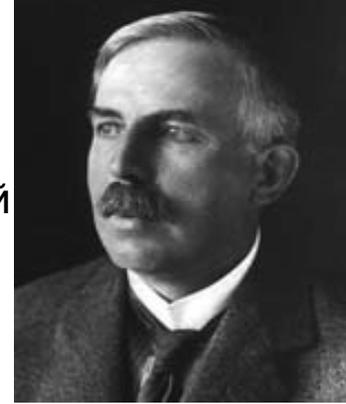
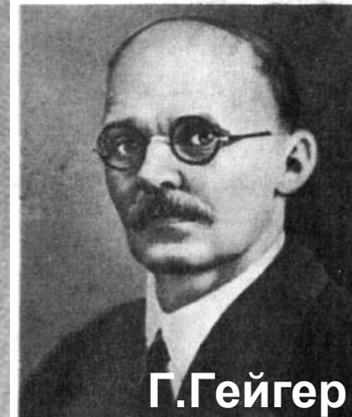
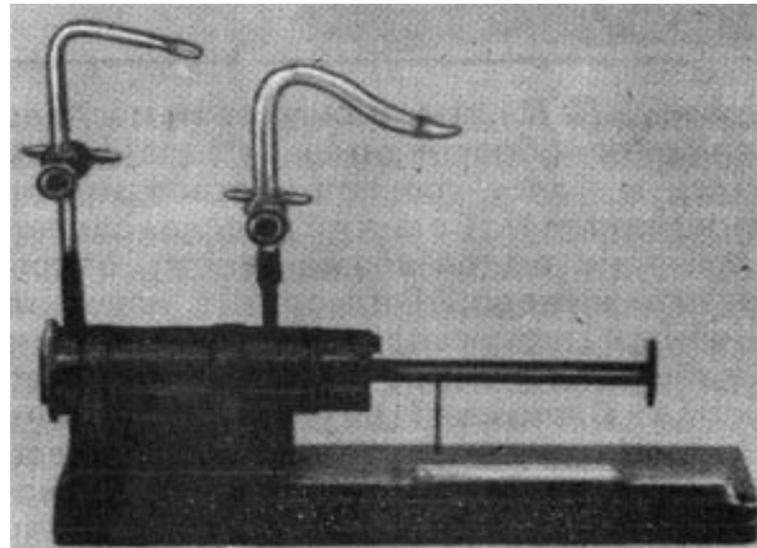
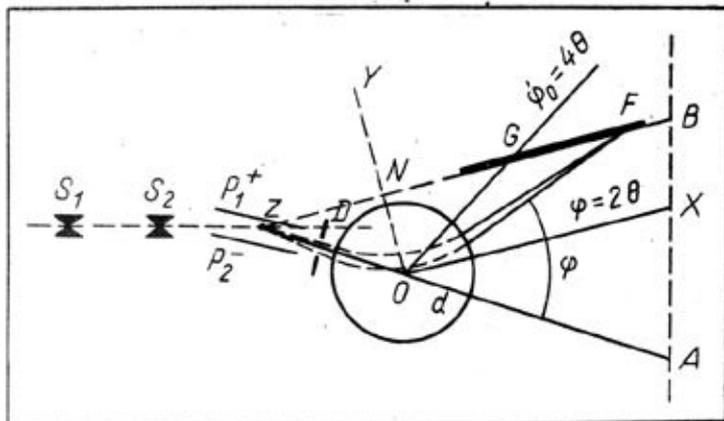


Энергия покоя электрона	$E_0 = 0.511 \text{ МэВ}$
Кинетическая энергия α-частиц, испускаемых радиоактивными веществами	$E = 5 - 10 \text{ МэВ}$
Средняя энергия связи нуклона в ядре	$E_{\text{св}} = 8 \text{ МэВ}$
Энергия электрона, при которой его дебройлевская длина волны становится равна классическому радиусу электрона	$E = 137m_0c^2 = 70 \text{ МэВ}$
Энергия покоя π-мезона	$E_0 = 140 \text{ МэВ}$
Энергия покоя протона	$E_0 = 938 \text{ МэВ}$
Максимальная энергия частиц, наблюдавшаяся в космических лучах	$E = 10^{20} \text{ ГэВ}$

Открытие изотопов стабильных элементов, уточнение измерений элементарного заряда были первыми достижениями послевоенной физики. В 1919 г. было сделано новое сенсационное открытие — искусственное расщепление ядра. Открытие это было сделано Резерфордом в Кембридже в Кавендишской лаборатории, которую он возглавил в том же, 1919 году.



3 июня 1920 г. Резерфорд прочитал так называемую Бакерианскую лекцию под названием «Нуклеарное строение атома», рассказывая об осуществлении первой искусственной ядерной реакции: превращение азота в кислород. **Э.Резерфорд первый непосредственно доказал наличие в ядрах элементов протонов и выдвинул гипотезу о существовании нейтрона** (предположение о том, что существуют ядра с массой 3 и 2 и ядра с массой ядра водорода, но с нулевым зарядом



Г.Гейгер

Еще в 1922 г. Резерфорд, сравнивая ядра с хорошо защищенной крепостью, указывал, что «лишь α -частицы, как наиболее концентрированные источники энергии, являются наиболее подходящими для нападения на эти хорошо защищенные сооружения». Далее он говорил: «Если бы в нашем распоряжении были заряженные атомы с энергией, в десять раз превосходящей энергию α -частицы радия, то, вероятно, мы могли бы проникнуть в нуклеарную структуру всех атомов, а иногда вызвать их разрушение.



Один из самых больших в мире Ван-де-Граафов_ТАНДЕМОВ.
Долгое время работал в Дарсберри (Великобритания).
Ускорительная трубка, установленная вертикально имела в длину
42 метра. На «голове» ускорителя можно было накапливать
потенциал до 20 МВ.

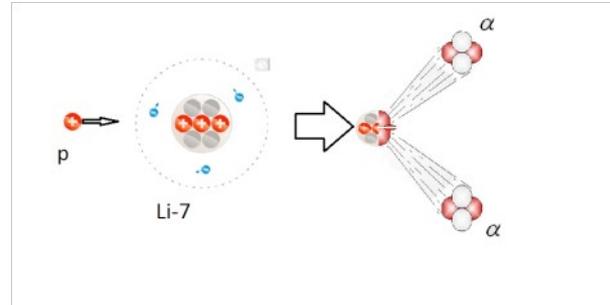
1932, Д.Кокрофт и Е.Уолтон: электростатический ускоритель прямого действия: каскадный умножитель напряжения (800 КэВ), Кембридж



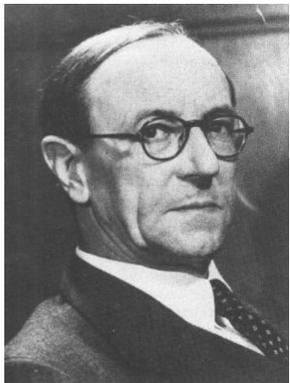
John Douglas
Cockcroft



Ernest Thomas
Sinton Walton

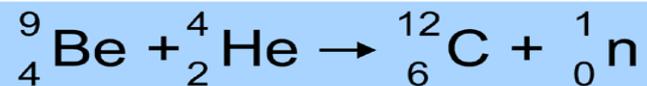
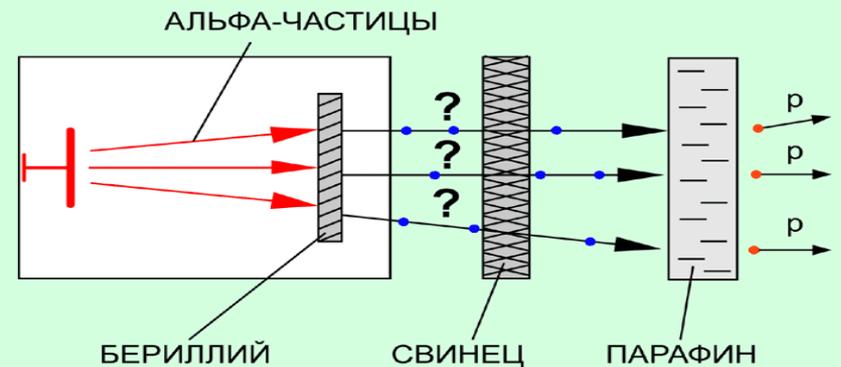


Первая управляемая ядерная реакция !



Sir James Chadwick

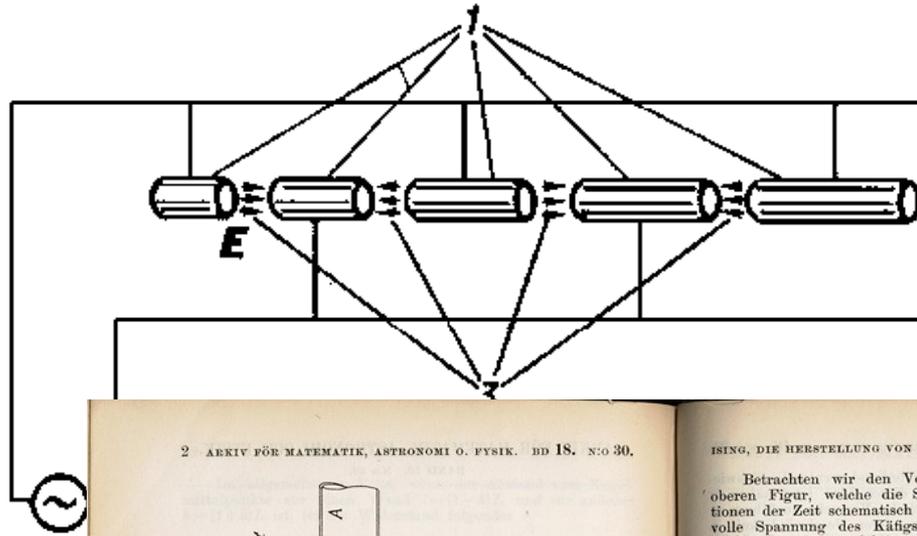
1932, Д.Чедвик:
Открытие нейтрона





Rolf Wideroe

Структура Видерое (Линак с трубками дрейфа - DTL)



Gustav Ising

В структуре DTL ионы ускоряются пролетая зазоры между дрейфовыми. Когда поле в “тормозящей” фазе - частица находится внутри трубки (так называемый Н-резонатор)

Условие синхронизма:

$$L = \frac{\beta \lambda}{2}$$

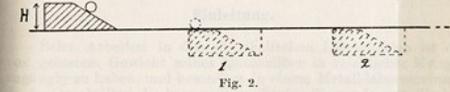
2. ARKIV FÖR MATEMATIK, ASTRONOMI O. FYSIK. BD 18. NO 30.

nach den Zylindern; die Längen der Drähte (und der Zylinder) sind so bemessen, dass diejenigen Teilchen, welche bei Ankunft der Welle an den Zylinder 1 sich in diesem befinden, gerade Zeit genug haben in den Käfig 2 zu schlüpfen, bevor die Ladungswelle an diesen anlangt u. s. w.

ISING, DIE HERSTELLUNG VON KANALSTRAHLEN HOH. VOLTZAHL. 3

Betrachten wir den Vorgang etwas näher an Hand der oberen Figur, welche die Spannung V der Käfige als Funktionen der Zeit schematisch angibt: Zur Zeit t_1 ist gerade die volle Spannung des Käfigs 1 erreicht worden. Diejenigen Strahlenpartikel, welche vor dem Anstieg der Spannung in den Zylinder eingedrungen waren, sind durch Punkte angedeutet; der Abstand vom linken Zylinderende zu dem nächsten Punkte bezeichnet den Weg, den die Partikel in der Zeit t zurücklegen, welche zur Ausbildung der vollen Spannung am Zylinder nötig ist. Die Wellenfront ist nicht ganz steil sondern etwas geneigt; nach P. O. PROSKES¹ scheint v von der Größenordnung 10^{-8} Sek. zu sein. Bei der späteren Zeit t_2 ist die Spannung des Käfigs 2 gerade voll ausgebildet; die Partikel, welche zu der Zeit t_1 im Zylinder 1 eingeschlossen waren, befinden sich jetzt in 2 in der durch Punkte angedeuteten Lage, u. s. w. Bei jedem Entladungsschlag der Funkenstrecke F wird ein Schwarm von Partikeln diesen successiven Accelerationen unterworfen.²

Ein mechanisches Analogon dieses Vorgangs hat man, wenn das Problem vorliegt, einer Kugel durch Fallen längs geneigten Ebenen eine grosse horizontale Geschwindigkeit zu geben, und dabei die Höhe H der Fallstrecke aus praktischen Gründen begrenzt ist. Das Problem mag in der unten in Fig. 2 gezeichneten Weise gelöst werden:

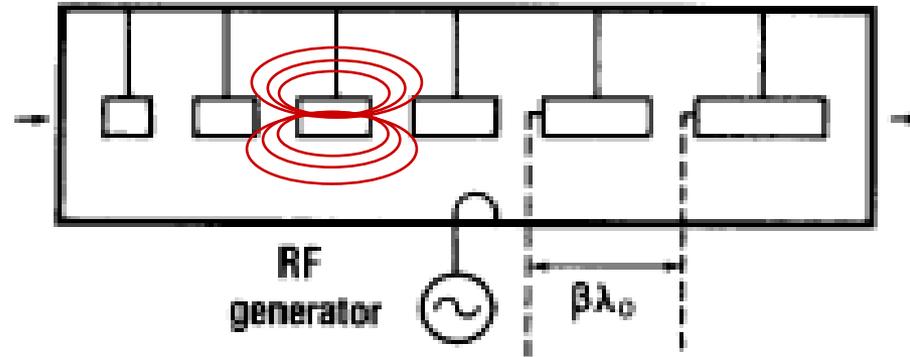


Unter dem horizontalen Bahn der Kugel befinden sich Klötze 1, 2, 3 ... von der Höhe H , welche in dem Augenblicke, wo sie von der Kugel betreten werden, durch äussere Kräfte die Strecke H gehoben werden. Diese Hebung (Erhöhen des Schwerepotentials der Kugel) entspricht genau die Aufladung der Zylinder mit den darin eingedrungenen Partikel. —

¹ On the Lichtenberg Figures, Part II, S. 32 (Math.-Fys. Medd. utg. af Kgl. Danske Vidensk. Selskab IV, 1922).

² Man könnte natürlich auch daran denken, denselben Zweck durch regelmässige elektrische Schwingungen zu gewinnen, welche mit passenden Phasendifferenzen den Zylindern 1, 2, 3 ... zugeführt werden. Aber es dürfte, bei der notwendigerweise sehr geringen Wellenlänge dieser Schwingungen, schwierig sein denselben die gewünschte grosse Intensität zu geben. Auch die zu erwartenden Oberschwingungen machen wohl diesen Weg weniger aussichtsvoll.

Ускоряющая структура Альвареца (1946) (E-резонатор)



В структуре Альвареца электрическое поле во всех зазорах имеет одинаковое направление и фазу, поэтому условие синхронизма:

$$L = \beta\lambda$$

В 1946 году Альварец и Вольфганг Пановски построили в Беркли первый в мире линейный ускоритель, который разгонял протоны до энергии в 32 МэВ, вполне достаточной для экспериментов в области ядерной физики

Структуры типа H- или E-резонаторов (Видерое или Альвареца) работают в диапазоне частот от 100 до 300 МГц.

Электроны, протоны, ионы..... до десятков МэВ

Первые протонные ускорители

Один из первых таких ускорителей был построен в 1945г. - MARK-I.

Его резонатор был 17-метрового диаметра(!!!) и 19-метровой длины. Потребляемая мощность 20 МВт, вес последней дрейфовой трубки 40 тонн.

Дрейфовые трубки имели диаметр около 2 метров, диаметр апертуры - около 90 см. Он работал на частоте 41,6 МГц (длина волны 12,5 м). Внутри резонатора находились специальные фокусирующие соленоиды.

Энергия (дейтроны) 30 МэВ, ток 50 мА.



Louis Alvarez (1911-1988)



Второй ускоритель, построенный Альварецом (частота 80 МГц)

После изобретения жесткой фокусировки типичная частота ВЧ-системы стала около 150–300 МГц (диаметр ~ 1.5–3 м)... MARK-II так и не был построен.

Атомные проекты

Разделение изотопов	Реактор	Ускоритель
<p>Чтобы увеличить концентрацию U от 0.7% to 95%:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Центрифуги2. Газовая диффузия3. Электромагнитный метод (масс-спектрометры)	<p>- Облучение U нейтронами приводит к образованию Pu.</p> <p>- Химическое разделение.</p> <p>Первый реактор был построен Э.Ферми (в США), в СССР - И.В.Курчатовым</p>	<p>Тоже самое, что и реактор. Только вместо нейтронов - протоны с энергией 50 -100 МэВ и постоянным(!) током ~ 1 А (!!!).</p> <p>Ливермоль (Naval research laboratory)</p> <p>Челябинск (СССР)</p>

Звездные войны. Эпизод №...

Идея была предложена в Лаборатории Лос-Аламос в начале 70-х годов

Использование нейтрального пучка частиц в космическом пространстве для того, чтобы уничтожать электронику на ракетах противника

1. Генерация пучка H^-
2. Ускорение до энергии 50–100 МэВ
3. Нейтрализация в газе или плазменной мишени
4. Требуемый ток - около 50 мА

1971 - Поверхностно-плазменные источники (катализ Cs) в ИЯФ им.Будкера: ток может быть увеличен со 100 мкА до 1А (Дудников, Димов).

1972 – запуск первого ПОКФ ускорителя (RFQ) (В.Тепляков, И.Капчинский, ИФВЭ, Протвино)

1983 Инициатива по Стратегии Обороны США

«Медведь на ракете»

13 июля 1989 в 8-30 утра с космодрома “Белые Пески” в Нью-Мексико была запущена ракета с установкой BEAR (МЕДВЕДЬ) на борту

BEAR – Beam Experiment Aboard a Rocket

После 11-минутного полета BEAR успешно приземлился без механических повреждений.

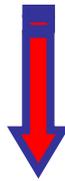
1 МэВ, 10 мА (по эквивалентному току) пучок нейтралов был “инжектирован в космическое пространство”

Цена эксперимента была 794 М\$

В 1993 программа была закрыта.

BEAR едет из Лос-Аламоса в аэропорт Вашингтона, для доставки в национальный аэрокосмический музей (2006)

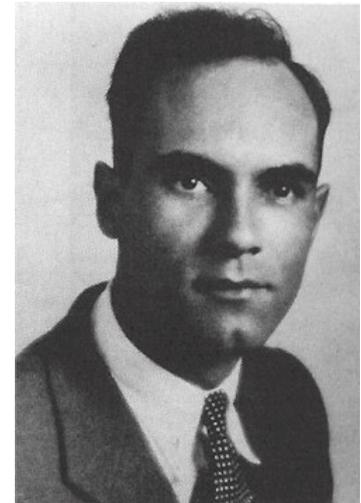




1932, Карл Д. Андерсон - открытие **позитрона**

(в космических лучах, проходящих через “Камеру Вильсона” со свинцовой пластиной, в магнитном поле, чтобы разделять частицы по заряду)

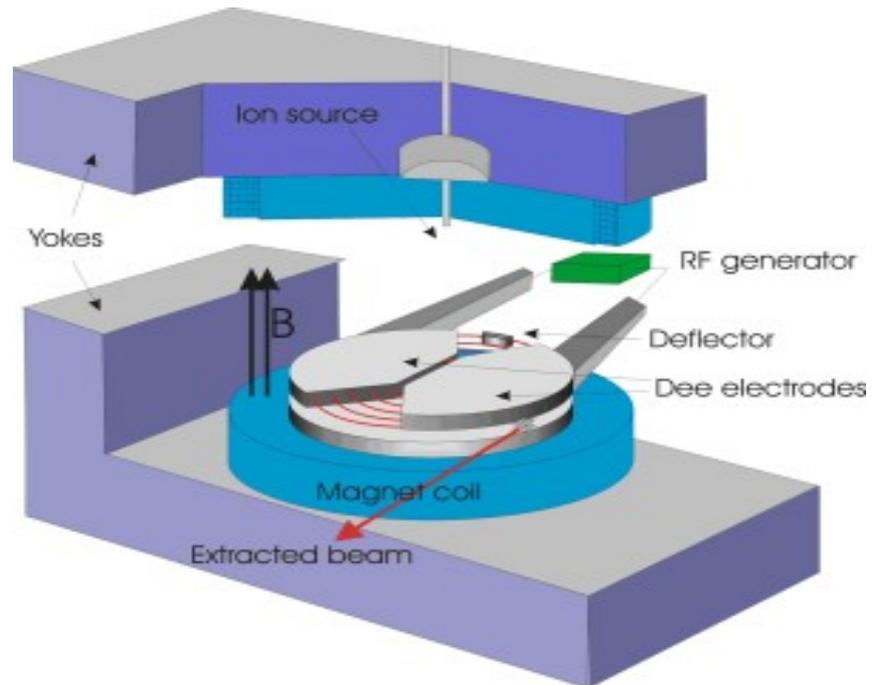
Д.Скобельцын пропустил свой шанс...



Carl David Anderson

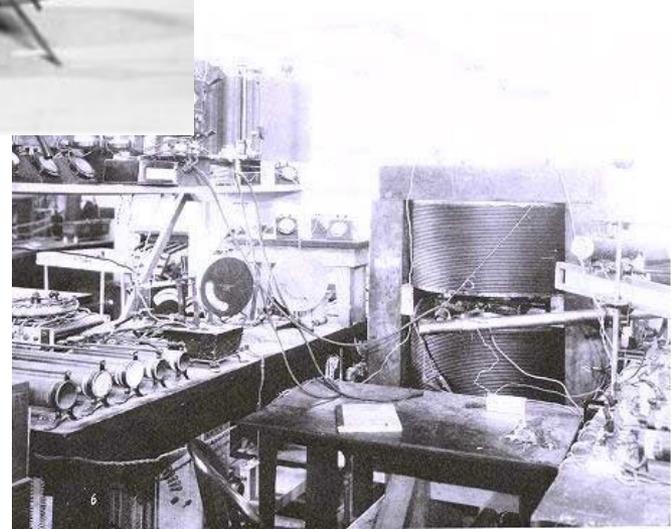
Начало эры соревнований между ускорителями и космическими лучами !

Ускоритель частиц на основе этого принципа — циклотрон — был задуман Эрнестом Лоуренсом (Ernest Lawrence) в 1929 году и сконструирован в 1931 году. Циклотрон состоит из двух полых половинок диска, внутри которых вращаются частицы. На края зазора между половинками подается переменное напряжение, частота которого точно совпадает с частотой обращения частиц. Когда частицы пролетают сквозь зазор в одну сторону, электрическое поле подталкивает их вперед, а через полпериода, когда они вновь пересекают зазор в обратном направлении с другой, диаметрально противоположной стороны диска, поле уже успевает сменить знак и снова их подталкивает, а не тормозит. Так повторяется круг за кругом, пока не будет достигнута максимальная энергия.





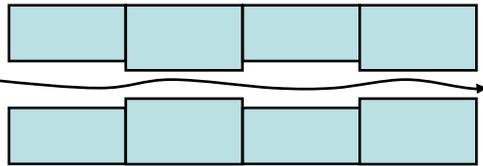
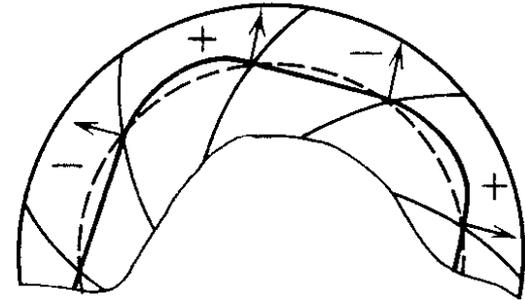
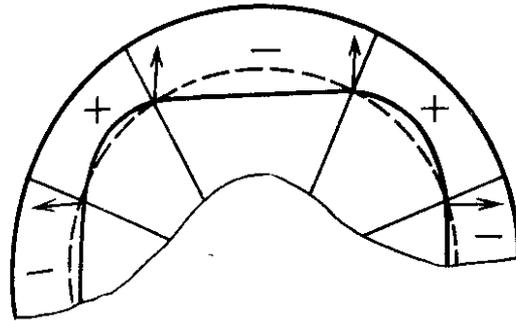
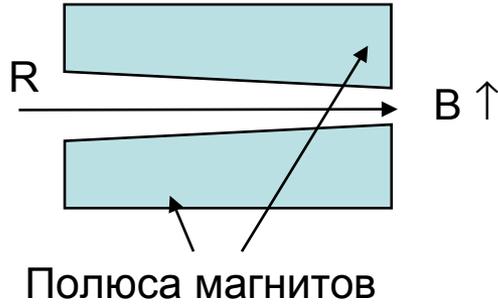
Первый циклотрон, построенный Эрнестом Лоуренсом в 1931 году, умещался на ладони и разгонял протоны всего до 0,08 МэВ



Изохронный циклотрон

$$\omega_0 = \text{const}, \quad B(R) \uparrow, \quad R(t) \uparrow, \quad B(\varphi) = B_0(R) \sin \varphi \quad B_{res}(R) = B(0) \left(1 - \frac{R}{R_0} \right)^{-1/2}, \quad R < R_0$$

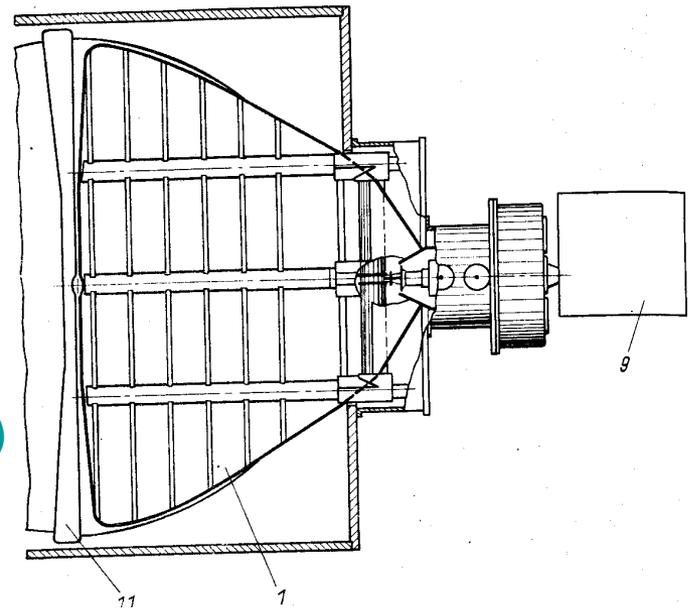
“Секторная” фокусировка:



Синхроциклотрон

$$\omega_{\min} < \omega < \omega_0, \quad R \neq \text{const}, \quad B = \text{const}$$

Механические вариаторы: конденсатор переменной емкости, изменяющий общую емкость (а значит и резонансную частоту) контура

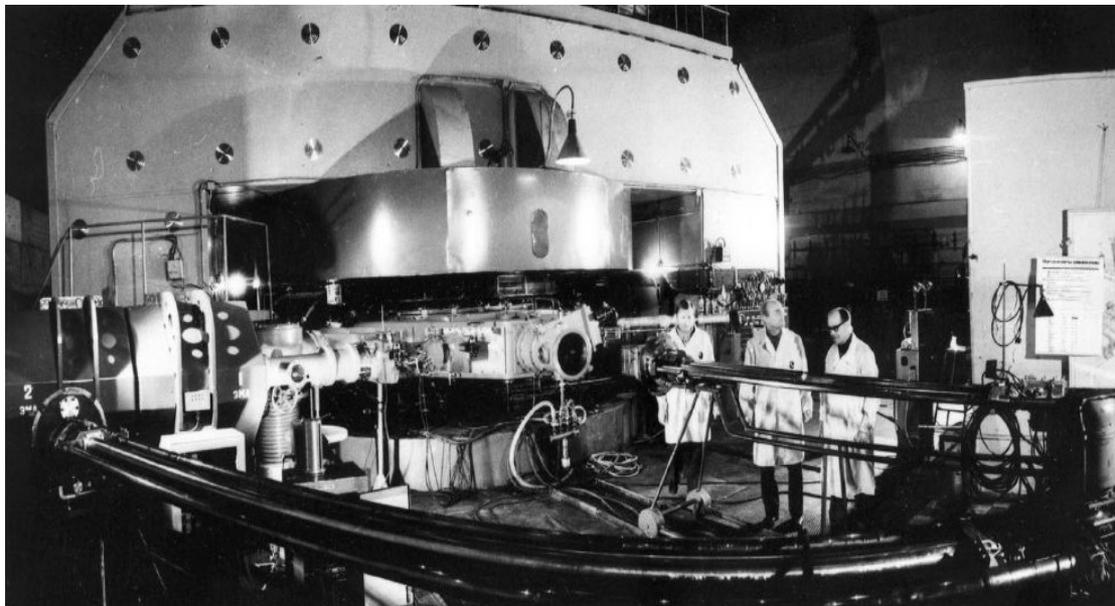


А в это время в СССР (и в частности, в Дубне)...

ЛЯР ОИЯИ (1957г.) У-300



Профессор И. В. Курчатов с аспирантом М. Г. Мещеряковым за работой на первом советском циклотроне в радиевом институте, 1936 год.



Этот уникальный циклотрон был спроектирован и построен по идее Г.Н.Флерова на заводе “Электросила” в Ленинграде. К.Л.Плушин отвечал за строительство и сборку в экспериментальном зале, Ю.Ц.Оганесян - за настройку и запуск. 9 сентября 1960 г. - циклотрон У-300 дал первый пучок ускоренных ядер азота. **10 МэВ/н** На десятилетия У-300 стал самым мощным ускорителем тяжелых ионов по интенсивности и по сортам ионов (до Хе).

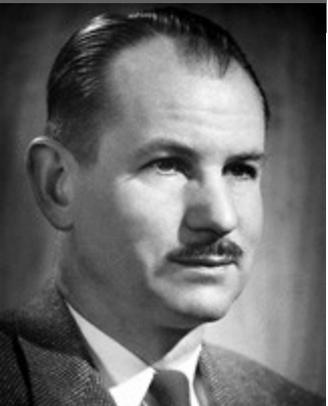
Break-through in Accelerators

1944 Владимир Векслер (СССР)

1945 Эдвин Мак-Миллан (США)



V. I. Veksler



E. McMillan

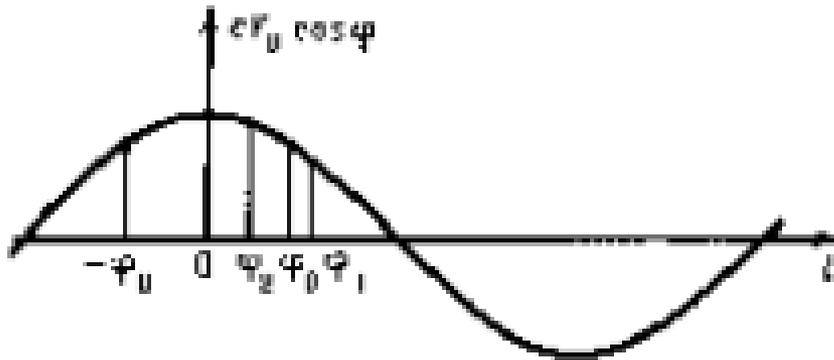


Рис. 1.

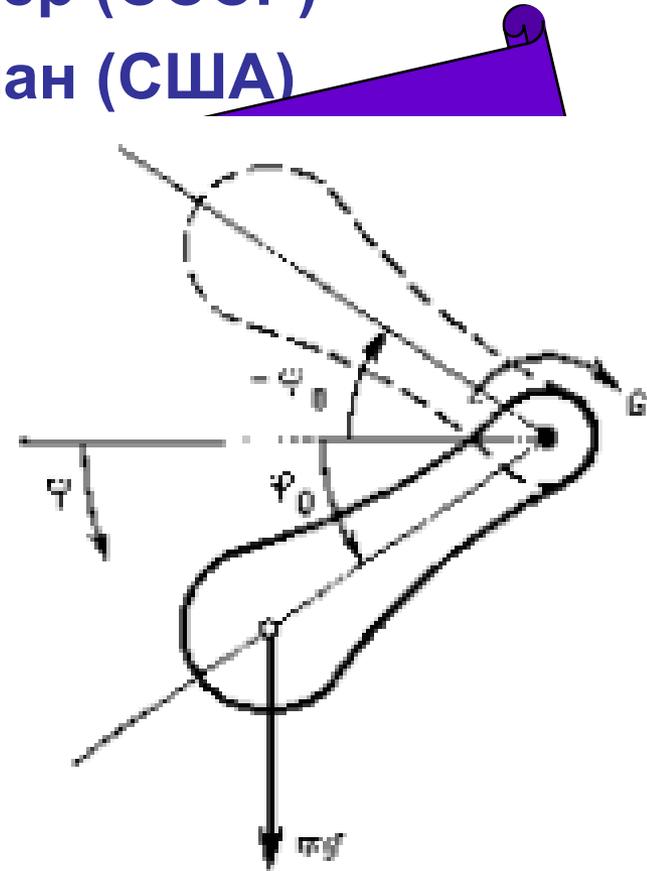
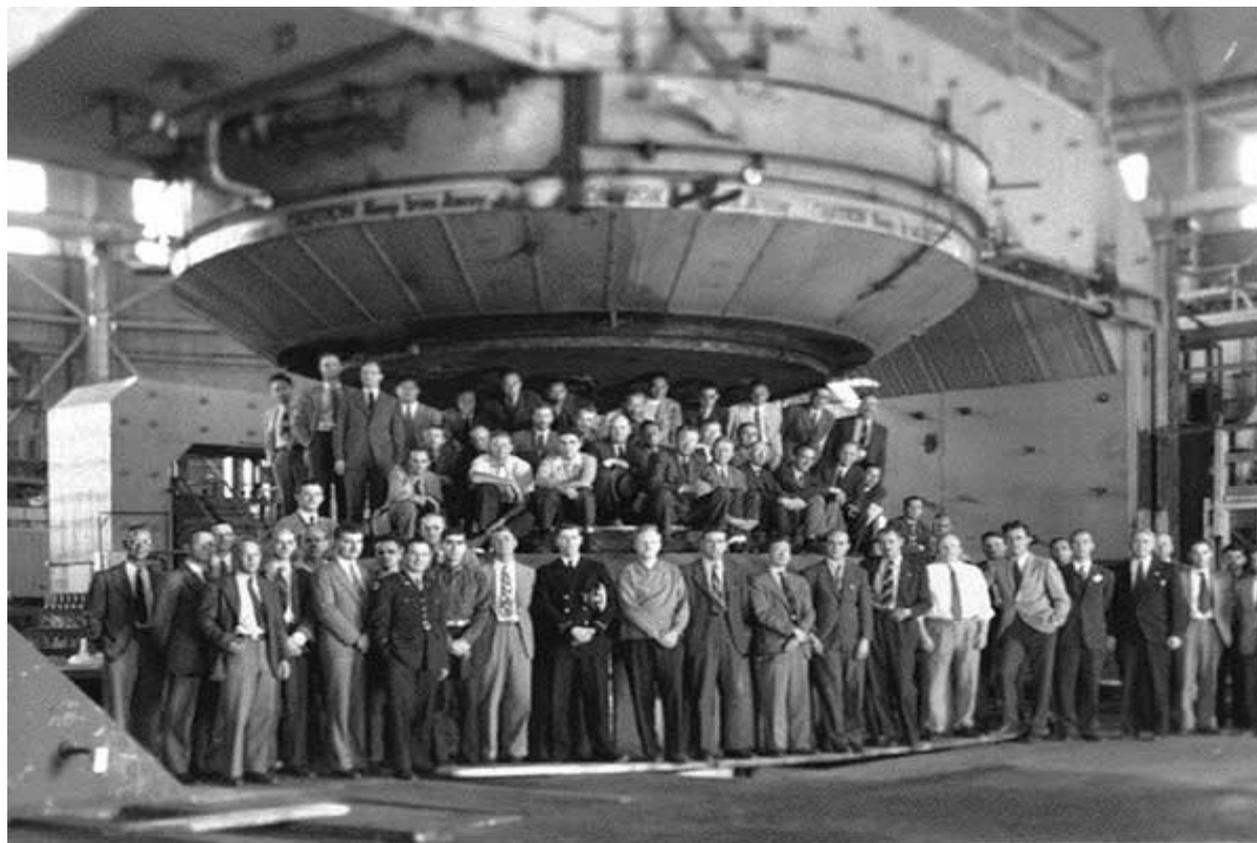


Рис. 2.

**ускорителей высоких энергий
и
Физики высоких энергий на ускорителях**

1947, Э.О.Лоуренс, Э.Мак-Миллан:

Синхроциклотрон в Беркли (4.7 м, d: 200 МэВ, а: 100 МэВ/н)



К концу 1940-х годов циклотроны выросли до размеров небольшого здания. На фото — 184-дюймовый циклотрон в Университете Беркли в Калифорнии, разгонявший частицы до 100 МэВ

Синхроциклотрон “Фазотрон”

Первый ускоритель Дубны

1949: d 280 МэВ -> p 480 МэВ

1984: p 680 МэВ

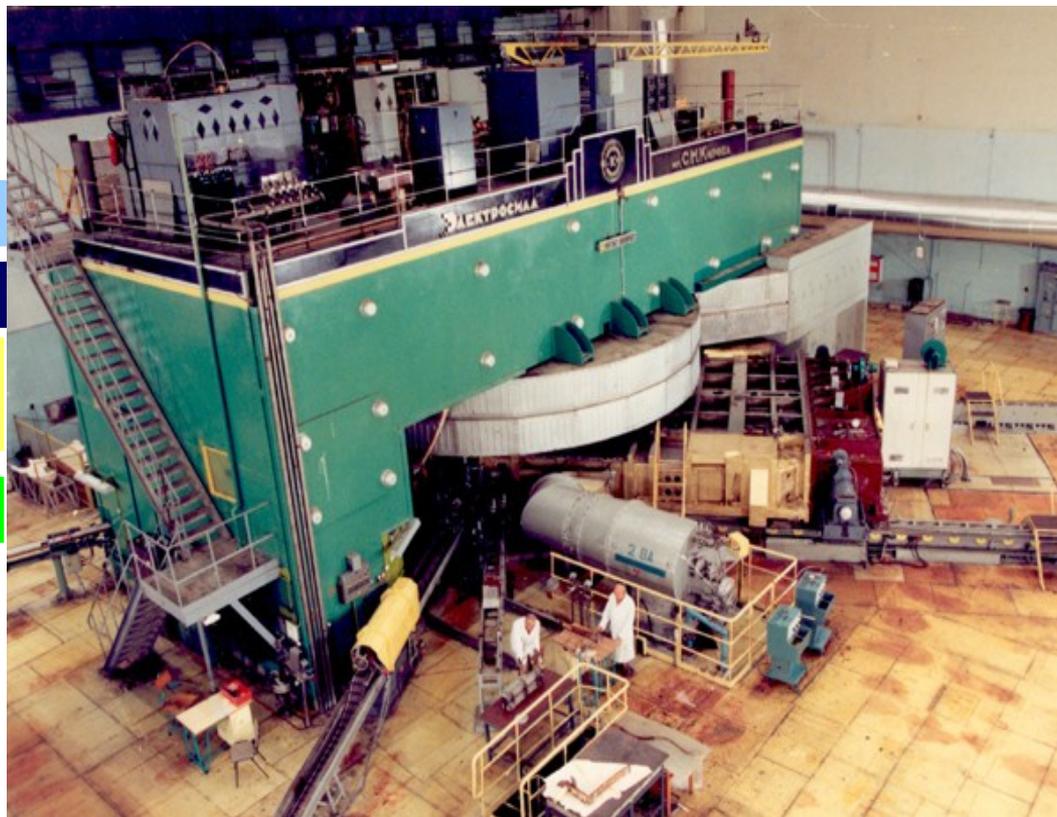
^8He



Игорь Курчатов
Венедикт Джелепов



Михаил
Мещеряков



Каналы обновленного
Фазотрона (2002)

Пучковая терапия

Мю-катализ

Физика Пионов и
Мюонов

Ядерная физика

1948, Цезар Латтес и Юджин Гарднер:
Первая искусственная реакция получения пиона на
синхроциклотроне Беркли (400 МэВ, 4,7 м):
 $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi^+ + \text{X}$

Начало 50-х: пионная физика на **Дубненском Фазотроне**

С тех пор ускорители стали

Основным инструментом в ФВЭ

Большинство экспериментальных результатов

фундаментального характера получены в

физике частиц и ядерной физике с

использованием ускорителей

БИТВА ГИГАНТОВ

1953 (1948) ÷ 1968 **Космотрон (Cosmotron)** – протонный синхротрон в Брукхейвене (Brookhaven Nat. Lab., USA), **3.3 ГэВ**; Первый ускоритель с возможностью вывода пучка \Rightarrow мезонная физика

1955 ÷ 1993 **Беватрон (Bevatron)** - протонный синхротрон

в Беркли (Lawrence Berkeley Nat. Lab, USA), **6.3 ГэВ**

(”Биллионы эВ) \Rightarrow первый “целенаправленный” ускоритель

Открытие антипротона (Э.Сегре, О. Чемберлен, 1955)



Emilio Segre



Owen Chamberlain

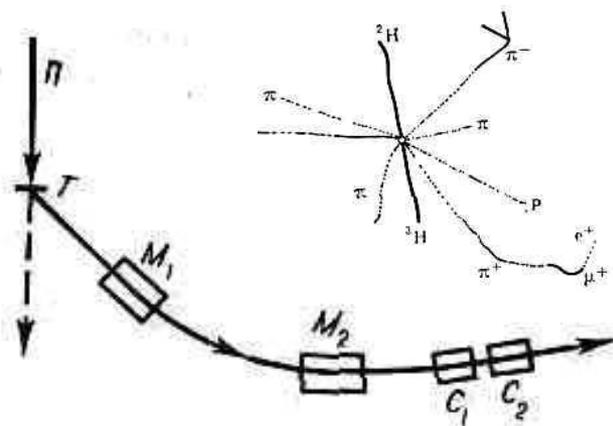


Схема эксперимента:
протонный пучок по медной мишени
Аннигиляция антипротона (фотоэмульсия)



Эдвин Мак-Миллан и Эдвард Лофгрэн на бетонном корпусе Беватрона

Годом позже (1956) на том же ускорителе удалось получить антинейтрон и осуществить его аннигиляцию. Антинейтроны возникали в результате перезарядки антипротонов при их движении через вещество.

1957 ÷ 2002 Синхрофазотрон (СССР) протонный синхротрон в Дубне

1960 В.И.Векслер и др.: открытие анти-частицы: Σ^-

1950-е Предложение нового метода исследования дифракционных процессов с использованием внутренней мишени на СФ

1962 – эксперимент по упругому pp рассеянию на малые углы при энергиях 2-10 ГэВ: открытие кулон-ядерной интерференции

1970 – Открытие реакции $dd \Rightarrow \pi\text{-jet}$: $\Sigma E_{\text{jet}} > 2m_n c^2 \Rightarrow$ первый кумулятивный эффект !
(В.А.Свиридов, В.Ставинский)

10 ГэВ; C = 211 м

«Царь-ускоритель»



Синхрофазотрон был последним из Слабофокусирующих машин. Его магнит весит 36000 тонн

1970-е А.М.Балдин:

Релятивистская ядерная физика

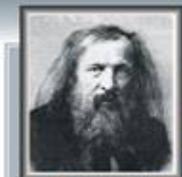
на Синхрофазотроне

(модернизация инжектора + спектр ионных источников)

Циклотроны Лаборатории Ядерных Реакций им. Г.Н.Флерова

Фундаментальные исследования в ядерной физике

Синтез трансфермиевых элементов

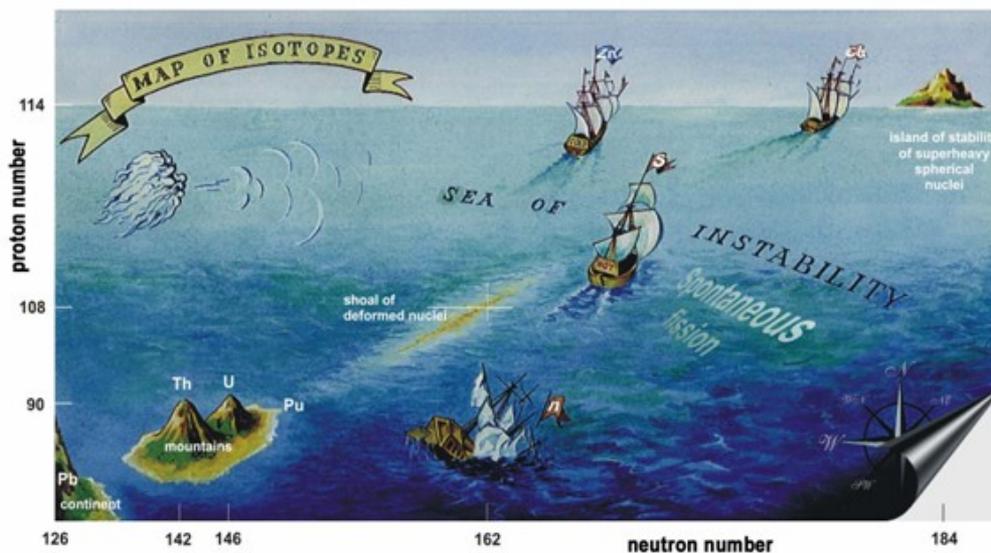


Периодическая таблица элементов Д.И.Менделеева

105 Дубний
 Db
[262]
Dubnium



Георгий
Флеров



Юрий
Оганесян

Циклотроны ЛЯР ОИЯИ

Синтез сверхтяжелых элементов

Год	Открытый элемент	Лаборатория
1994	111 Rg – Roentgenium ^[3]	GSI
1996	112 Cn – Copernicium ^[4]	GSI
2004	113 no name ^[5]	FLNR / RIKEN
1998	114 no name ^[5]	Collaboration: FLNR & RIAR (Dmitrovgrad) & ORNL & LLNL & Vanderbilt University
2004	115 no name ^[5]	
2000	116 no name ^[5]	
2010	117 no name ^[5]	
2002	118 no name ^[5]	

^[3] Priority has been defined in 2004 (*Pure & Appl. Chem.*, Vol. 76, No. 12, p. 2101, 2004)

^[4] Priority has been defined in 2009 (*Pure & Appl. Chem.*, Vol. 81, No. 7, p. 1331, 2009)

^[5] Priority is not defined yet

Фундаментальные исследования в ядерной физике

Синтез трансфермиевых элементов

У-400 создан для генерации ускоренных пучков ионов в диапазоне атомных масс

$A = 4 \div 209$ и энергии $3 \div 29$ МэВ/н. У-400 –

изохронный циклотрон, введен в строй в 1978 г.

Диаметр полюсов магнита 4м, фактор энергии $K=650$.

Аксиальная инжекция от внешнего ионного источника – работает с 1996 г.



Изохронный циклотрон У-400

Циклотрон У-400М



У - 400М и физика легких радиоактивных ядер.

4-х секторный, (спиральность 40°), Диаметр полюсов 4 м, $E = 2-120$ МэВ/н, $A = 7-40$.

В 1991 году пучок 4He с энергией 30 МэВ/н был получен на У-400М. Изохронный циклотрон. Пучки экзотических очень нейтронно-избыточных изотопов легких элементов (6He , 8He) играют очень важную роль в ядерных исследованиях. Такие изотопы возможно получить только в ядерных реакциях, они радиоактивные и часто коротко-живущие.

DRIBs – соединение У-400 и У-400М в единый комплекс для генерации пучков экзотических легких нейтронно-дефицитных и нейтронно-избыточных ядер в реакциях с легкими ионами. + DC280: $A \leq 100$, $E \leq 10$ MeV/u, $I \geq 10$ pA

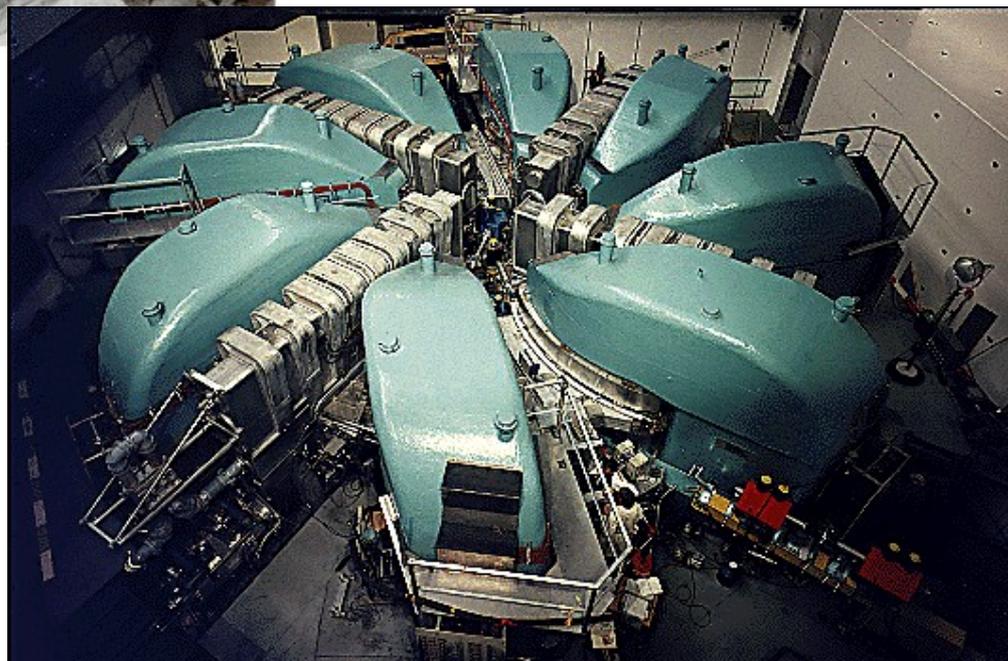


**Синхроциклотрон TRIUMF
1974г. 520 МэВ**

**18 м диаметр, 4000 т вес
главного магнита, поле 0.46Т,
 $f = 23$ МГц, $dU = 94$ кВ,
300 мкА пучок H⁻.**

**Tri-University Meson Facility
(Ванкувер, Канада)**

**Секторный циклотрон на
энергию 590 МэВ, (PSI,
Швейцария) - 1979 г.**





Синхроциклотрон ПИЯФ РАН им.Б.П.Константинова
Энергия (p) 1 ГэВ
Диаметр полюса 6,5 м

Следующий прорыв в развитии ускорителей:

Принцип «жесткой» (сильной) фокусировки

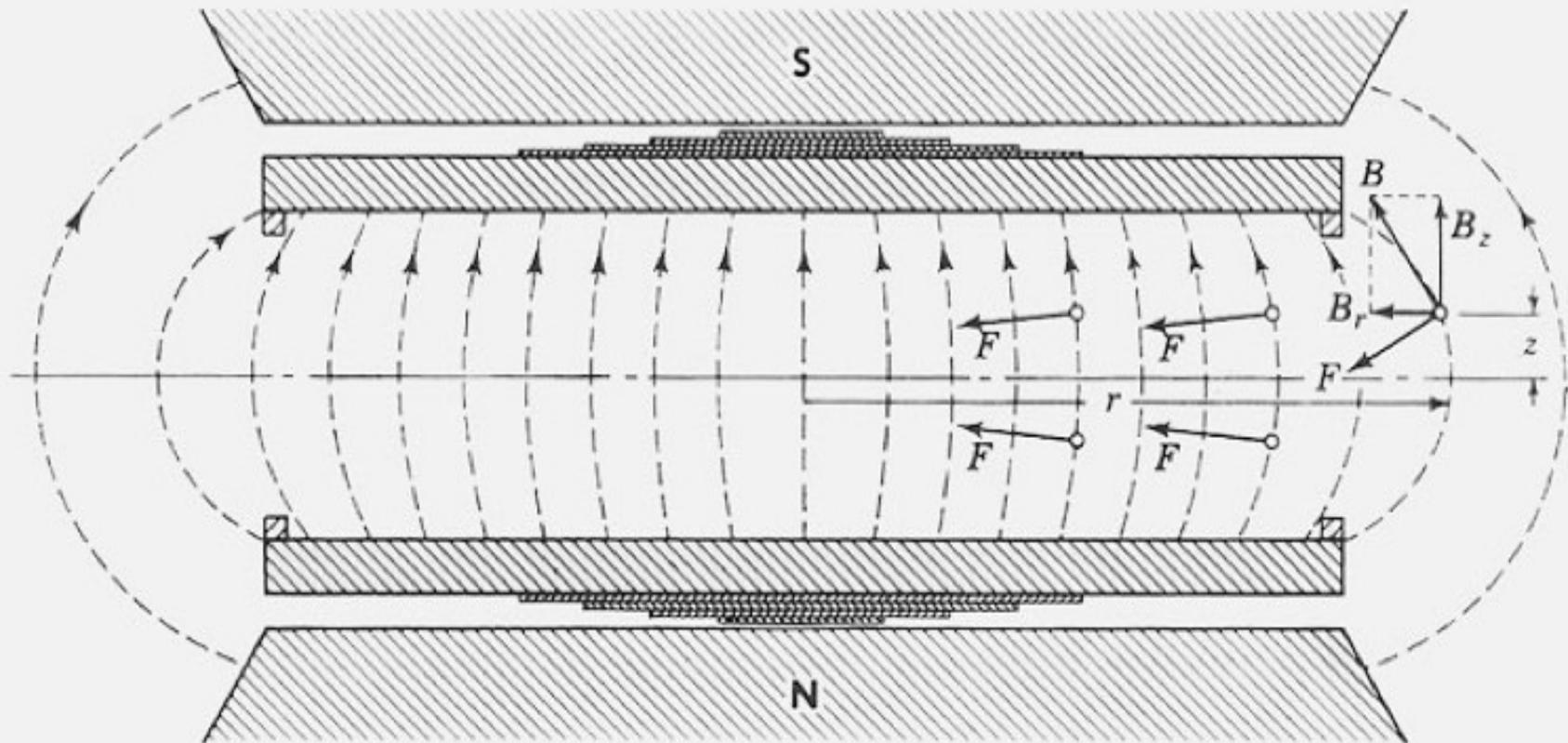
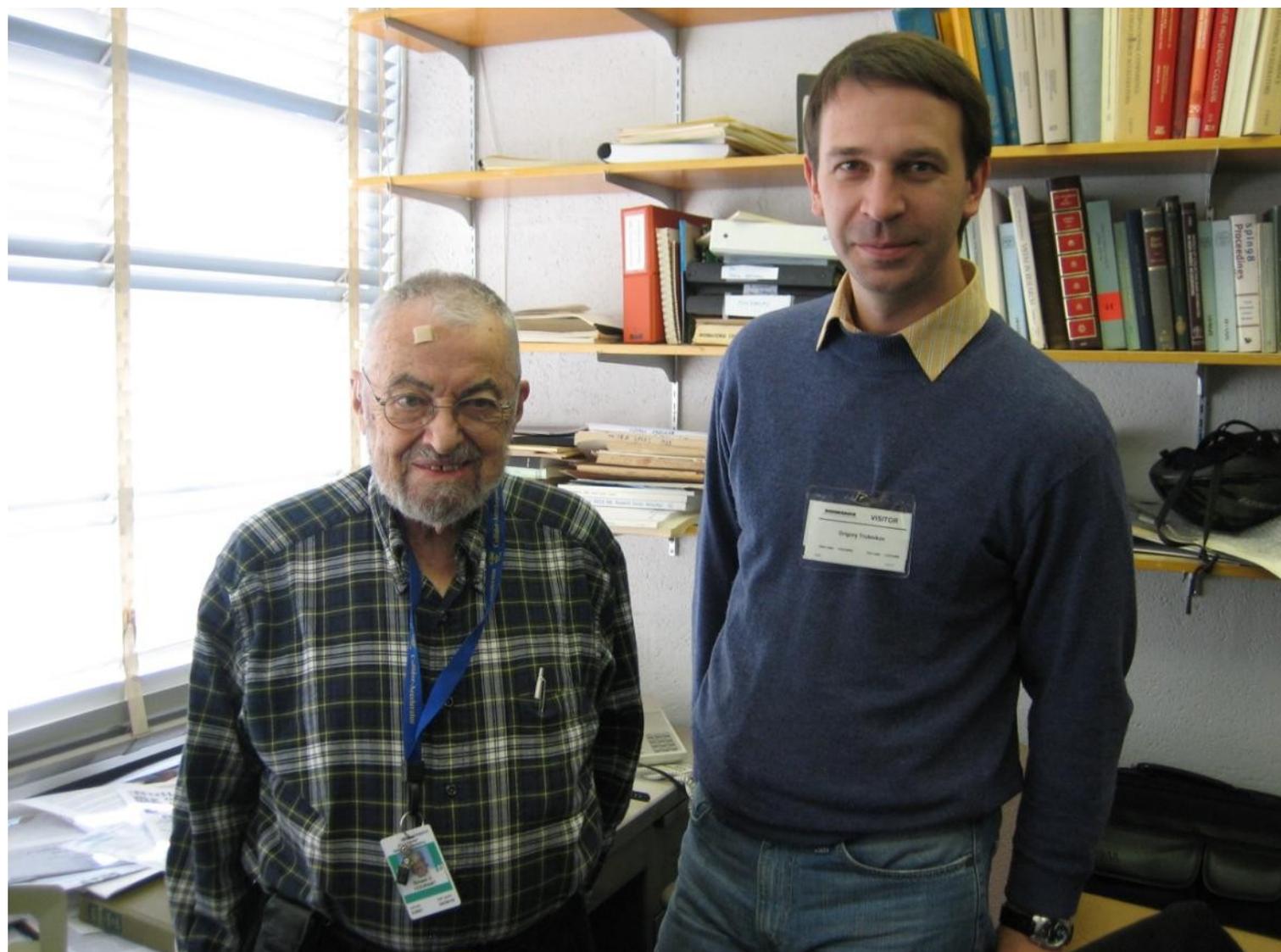


Fig. 6-7. Radially decreasing magnetic field between poles of a cyclotron magnet, showing shims for field correction.



с Эрнстом Курантом в Брукхейвене (2008г)

Первые протонные синхротроны с жесткой фокусировкой

1959 PS ("Proton Synchrotron"), ЦЕРН 26 ГэВ

1960 AGS ("Alternating Gradient Synchrotron"),

Брукхейвенская Национальная Лаборатория 28 ГэВ



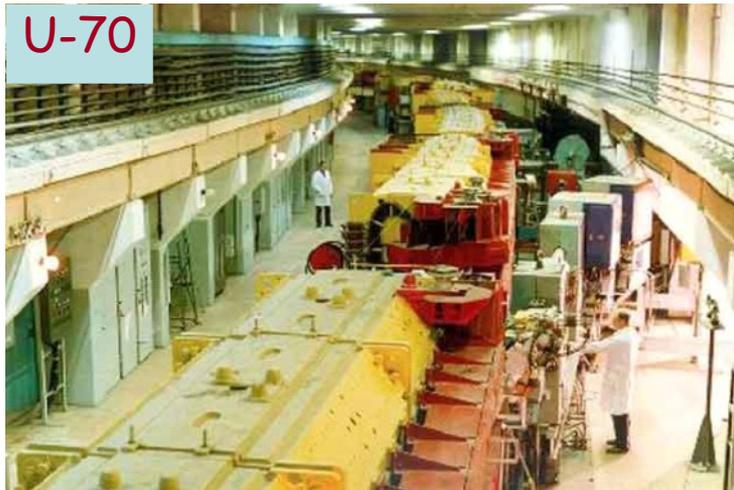
слабые нейтральные токи



1962, AGS: **Открытие мюонного нейтрино** (Ледерман, Шварц, Штайнбергер)

1965, AGS: **Получено первое антиядро (pn)**
Антидейтрон (Л.Ледерман)

1974, AGS: **Открытие J-мезона** (С.Тинг и др.)



1967: У-70, ИФВЭ,

Протвино, $E = 76$ ГэВ, кольцо 1500м

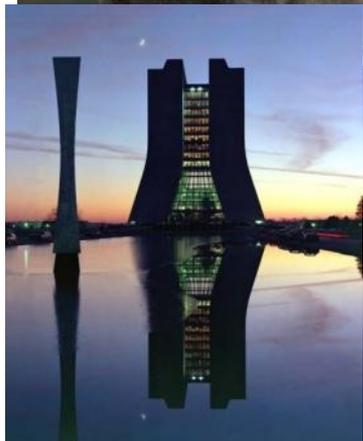
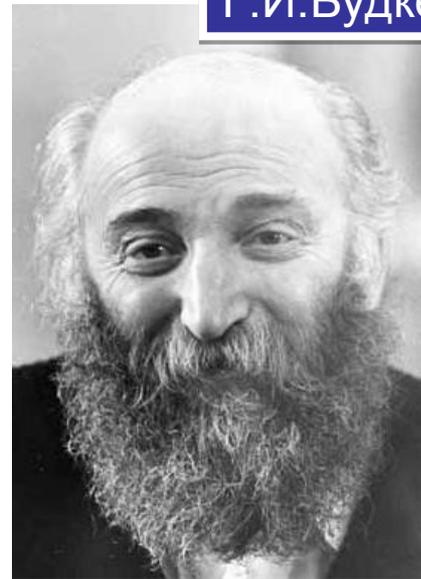
На Серпуховском ускорителе были
впервые синтезированы ядра
антигелия (1970) и антитрития
(1973).



Дж.Адамс



Г.И.Будкер



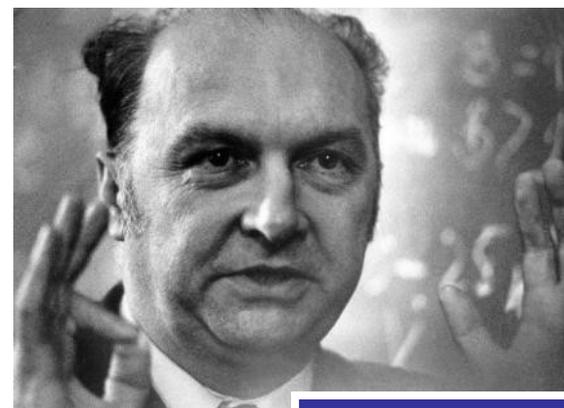
Л.Ледерман



Р.Вильсон



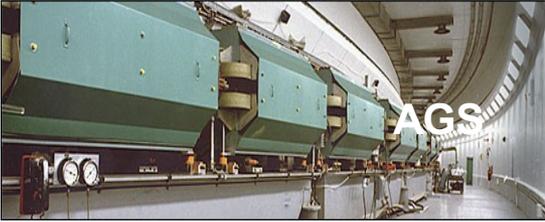
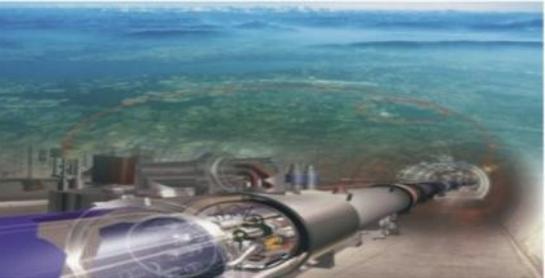
К.Руббиа



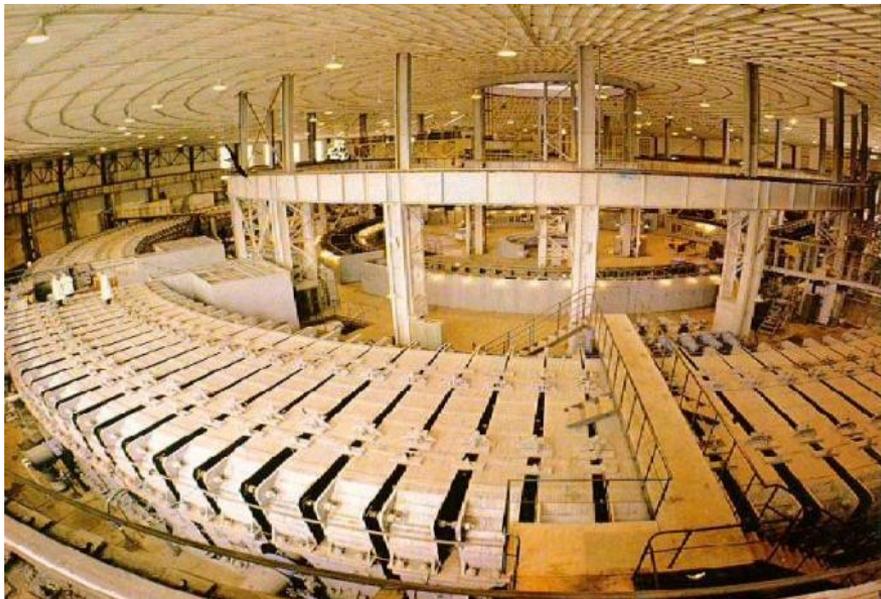
А.М.Балдин

- Циклотроны
- Слабофокусирующие (синхроциклотроны, синхротроны)
- Современные синхротроны (SPS, Main Ring, У-70, ...)
- Сверхпроводящие синхротроны и коллайдеры



<p>1960 AGS, БНЛ</p>	<p>p, 28 ГэВ</p> <p>("Alternating Gradient Synchrotron"),</p>	<p>1962, AGS: Открытие мюонного нейтрино (Ледерман, Шварц, Штайнбергер)</p> <p>1965, AGS: Получено первое антиядро ($p\bar{p}$) <i>Антидейтрон</i> (Л.Ледерман)</p> <p>1974, AGS: Открытие J-мезона (S.Ting et al.)</p>	 
<p>1959 PS ЦЕРН</p>	<p>p, 26 ГэВ</p> <p>("Proton Synchrotron"),</p>	<p>1973 Нейтральные токи</p>	
<p>1976 SPS (ЦЕРН) SppS</p>	<p>p, 400 ГэВ</p> <p>pp, 450 ГэВ</p>	<p>1983: W^\pm и Z^0 бозонов (К.Руббиа, С.В-Д-Мейер)</p>	
<p>Main Ring (США)</p>	<p>p, 200 \Rightarrow 500 ГэВ</p> <p>(1976) $C = 6.28$ км</p>	<p>(Л.Ледерман, Р.Вильсон): Y и Y' мезоны (1977) b-кварк (1977)</p>	
<p>1995 Теватрон (ФНАЛ)</p>	<p>pp, 0,8x0,8 ТэВ, $C=6,2$км</p>	<p>t-кварк (D0 & CDF)</p>	
<p>2010 БАК (LHC)</p>	<p>pp, 7x7 ТэВ, $C=28$ Км</p>		

Ускорители для Физики Высоких Энергий в ОИЯИ. Дубна, Лаборатория Высоких Энергий.



10 ГэВ Синхрофазотрон
(1957 – 2002 г.г.)



Первый в России сверхпроводящий синхротрон релятивистских тяжелых ионов **НУКЛОТРОН** запущен в 1993г.
(А.М.Балдин. Л.Г.Макаров)

Сорта ионов: p , d , He , Li , B ,
 C , N^{6+} , N^{7+} , Mg , Ar^{16+} , Fe^{24+} ;
 Xe^{42+} , d^{\uparrow}

Диапазон энергий:
 $(0,05)0.2 \div 6$ ГэВ/н – для
ядер,



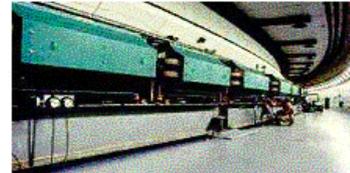
Relativistic Heavy Ion Facilities from Synchrotron and AGS to NICA and FAIR

Over the last 30 years a lot of efforts have been made to provide the conditions for searching for new states of strongly interacting matter under extreme conditions.



Synchrotron: $E_{\text{lab}} \sim 4.2 \text{ AGeV}$ ($\sqrt{s_{\text{NN}}} = 3 \text{ GeV}$)
1971 - 1999, pioneering experiments in the field of relativistic nuclear physics.

AGS: $E_{\text{lab}} \sim 11 \text{ AGeV}$ ($\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5 \text{ GeV}$)
1986 – 1992, study of compressed baryonic matter.



SPS: $E_{\text{lab}} \sim 158 \text{ AGeV}$ ($\sqrt{s_{\text{NN}}} = 18 \text{ GeV}$)
1986- up to now,
study of compressed baryonic matter.

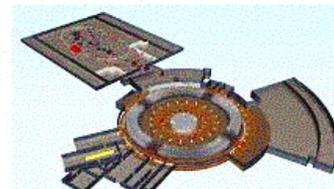
RHIC: $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 200 \text{ GeV}$ ($E_{\text{lab}} \sim 80000 \text{ AGeV}$)
1996 - up to now.



LHC: $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5600 \text{ AGeV}$ ($E_{\text{lab}} \sim 6.3 \cdot 10^7 \text{ AGeV}$)
2009 - planned



SIS 300: (FAIR GSI) $E_{\text{lab}} \sim 34 \text{ AGeV}$
($\sqrt{s_{\text{NN}}} = 8.5 \text{ GeV}$),
full performance will be reached in 2015,
study of compressed baryonic matter.

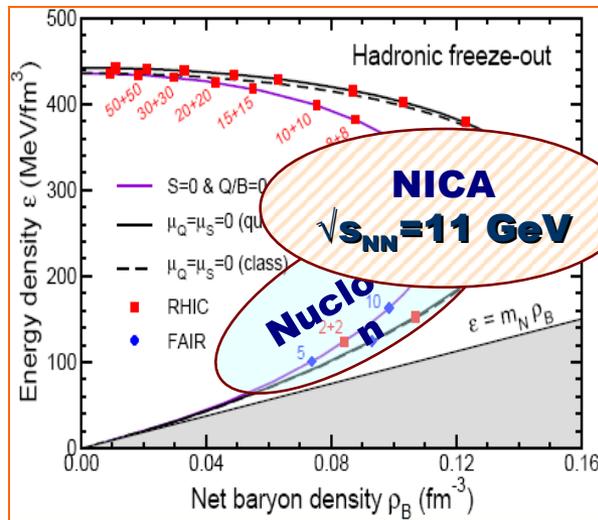
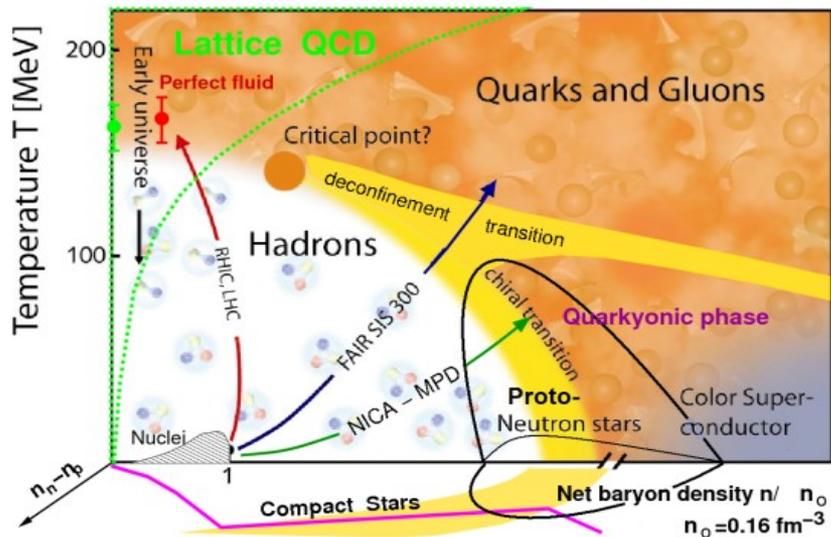


NICA: $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 9 \text{ GeV}$ ($E_{\text{lab}} \sim 40 \text{ AGeV}$)
full performance will be reached in 2013,
search for the mixed phase of strongly
interacting matter.

Новые идеи из Дубны (2005):

А.Сисакян, А.Сорин, В.Тонеев

Поиск “смешанной фазы”

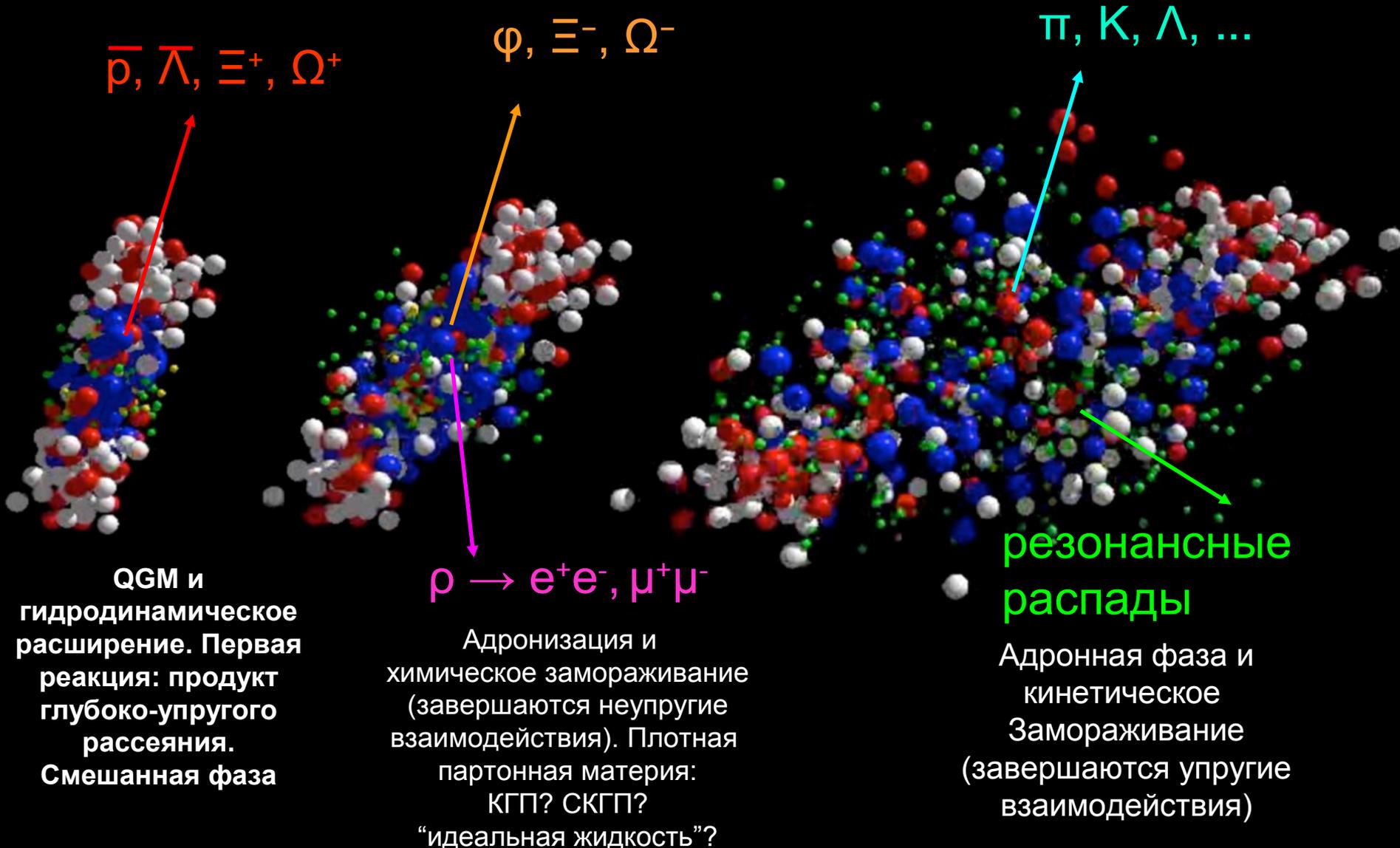


NICA/MPD – тяжелоионный коллайдер на базе Нуклотрона



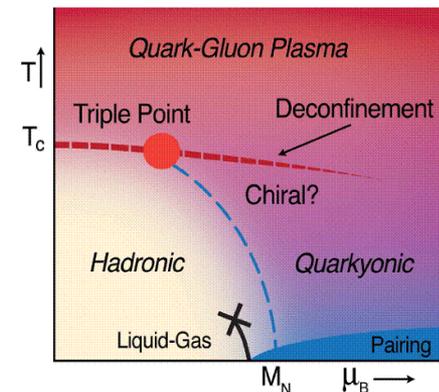
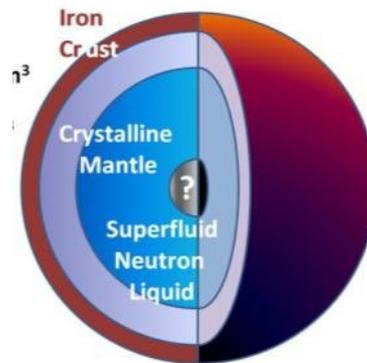
Цель проекта – экспериментальное изучение горячей и плотной сильно-взаимодействующей КХД материи и поиск возможных проявлений образования смешанной фазы и критических явлений в столкновениях тяжелых ионов

Индикаторы из плотного “огненного шара”: UrQMD симуляции Au+Au 10.7 ГэВ/н

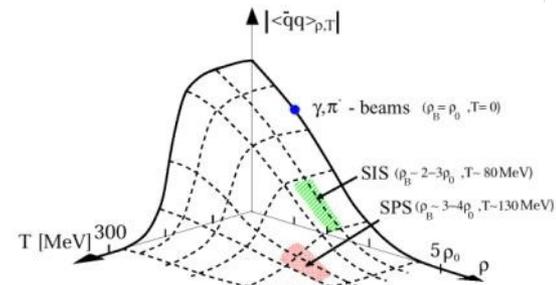


Физика ядерной материи на энергиях NICA (и не только)

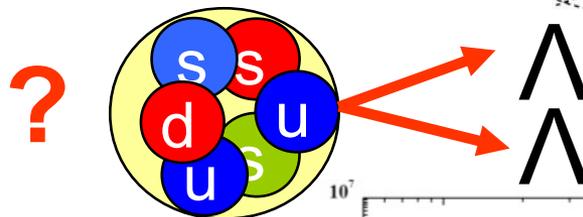
∇ Ядерное состояние вещества, кварковая материя при высоких плотностях: Каковы свойства и степени свободы ядерной материи в центре нейтронной звезды?



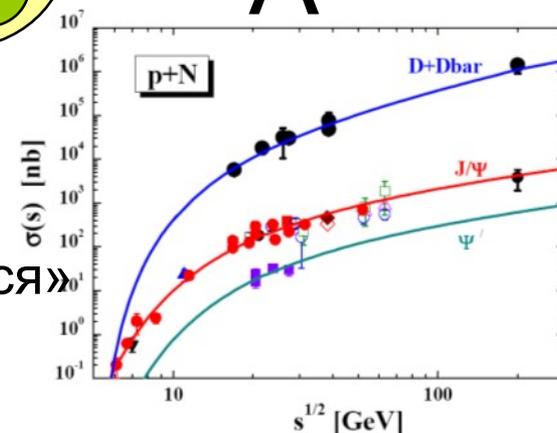
∇ Адроны в плотной материи: Каковы свойства адронов в такой среде? Восстанавливается ли киральная симметрия при сверхвысоких барионных плотностях?



∇ «Странная» материя: Существует ли «странная» материя в виде тяжелых мульти-странных объектов?



∇ Физика ароматов (heavy flavor physics): Каким образом чармоний образуется при низких энергиях, и как он «распространяется» в «холодной» ядерной материи?





Задачи и ускорители:

1. Проверка Стандартной Модели → Циклические e^+e^- коллайдеры
2. Спиновая физика → HERA, CEBAF, **Nuclotron**, COSY,... U70 (?)
3. Синтез сверхтяжелых, Радиоактивные пучки → **FLNR**, GSI, Франция
4. Сверхплотная ядерная материя → SPS, RHIC, FAIR, **NICA**
5. Нейтрино (масса, осцилляции) → **Dubna**, SPS, FNAL, J-PARC, Италия
6. “Новая физика” → LHC, **ILC**, CLIC, мюонный коллайдер, “plasma accelerators”

Первые Ускорители: 1928г. – тоже почти 100 лет...
Все годы - это ГЛАВНЫЙ прибор (микроскоп в микромир)

Заключение: Чего же нам ожидать?...

2010 \Rightarrow LHC

2016-2019 (?) \Rightarrow NICA, FAIR

2025 (??) \Rightarrow ILC

2025 (?) \Rightarrow Muon collider

2030 (?) \Rightarrow Wake Field Accelerator

ЦЕЛИ:

ТВО (Теория Великого Объединения) $\sim 10^{23}$ эВ

Надежды:

LHC $1.4 \cdot 10^{13}$ эВ (26 км)

ILC $2 \cdot 10^{12}$ эВ (2x20 км)

Wake Field Collider $6 \cdot 10^{14}$ эВ (2x100 км)

Дубна ОИЯИ

Спасибо за внимание.