

Владимир Иосифович Векслер

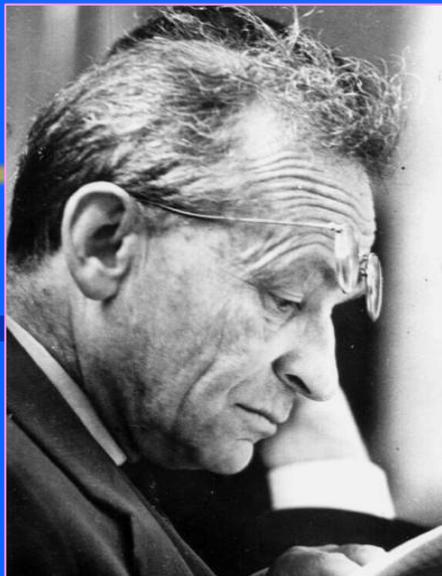
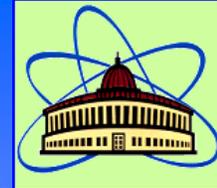
*–основатель и первый директор
Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.*

НУКЛОТРОН и НИКА – ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ

А.Д.Коваленко

*Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения
академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона.*

Дубна, 11 Октября 2007 года



В.И.Векслер (1907-2007)

Мне выпала честь представить доклад «От Синхрофазотрона к Нуклотрону» на торжественной научной сессии и объединенном заседании Ученых советов ФИАН, ОИЯИ, ИЯИ РАН и научного совета по ускорителям заряженных частиц РАН, посвященном 100-летию академика В.И.Векслера. Материалы этого заседания, состоявшегося 5 Марта 2007 года в ФИ РАН, опубликованы в УФН.

А.Д.Коваленко

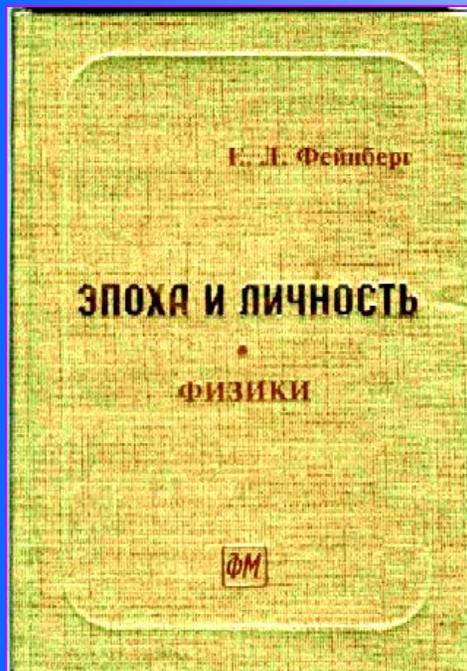
Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

ПРИНЦИП АВТОФАЗИРОВКИ:

“гордиев узел разрублен!”



Для людей моего поколения, т.е. родившихся на полвека позже Владимира Иосифовича, и вовлеченных судьбой в процесс создания ускорителей, получения и использования пучков заряженных частиц высоких энергий, его имя, конечно, в первую очередь ассоциируется с открытием принципа «автофазировки». Мне кажется, что наиболее точно атмосфера, предшествовавшая этому, отражена в воспоминаниях Е.Л.Фейнберга в статье «Вавилов и вавиловский ФИАН», выдержка из которой приведена ниже.



«...В конце 30-х годов не меньше, чем теперь, было ясно, что ядерная физика нуждается в ускорителях частиц на большие энергии. ...Сергей Иванович (Вавилов) понимал, что серьезная ядерная физика невозможна без крупного ускорителя. И вот в 1940 г. принимается смелое решение: создается «циклотронная бригада» с заданием изучить вопрос о сооружении циклотрона с диаметром полюсов в несколько метров и приступить к его проектированию. ... В циклотронную бригаду вошла все та же «зеленая» молодежь — Векслер, Вернов, Грошев, Черенков и я (Е.Л.Ф) Изучение вопроса шло интенсивно, споры по поводу возможных вариантов были горячими, но все лишь для того, чтобы снова и снова убеждаться в невероятной трудности задачи.

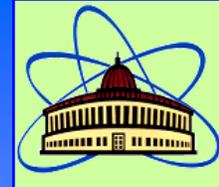
Однако все было круто изменено, когда в феврале 1944 г. В.И.Векслер, все годы, чем бы он одновременно ни занимался, неустанно размышлявший над проблемой ускорения, буквально разрубил гордиев узел: он обнаружил, что можно перескочить через релятивистский барьер. Открытая им возможность создания ускорителей совершенно нового класса повернула всю мировую технику ускорителей на другой путь.»

Е.Л.Фейнберг. Эпоха и личность, Вавилов и вавиловский ФИАН, стр.233.

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

ПРИНЦИП АВТОФАЗИРОВКИ PHASE STABILITY PRINCIPLE



В анналы мировой истории науки открытие возможности преодоления релятивистского барьера при резонансном ускорении заряженных частиц – то есть открытие принципа автофазировки вошло как:

“The discovery of phase stability principle”

by V.I. Veksler and E.McMillan.



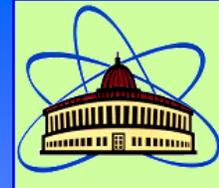
В.И.Векслер и Е.М. McMillan

**ОТКРЫТИЕ ПРИНЦИПА АВТОФАЗИРОВКИ СНЯЛО
ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ НА ПОЛУЧЕНИЕ В
ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ
ЧАСТИЦ СКОЛЬ УГОДНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

А.Д.Коваленко

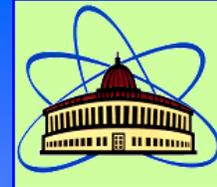
Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

ЧАСТИЦЫ СКОЛЬ УГОДНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



Сравнивая энергию протонов (≈ 100 МэВ), достигнутую на циклотронах - циклических резонансных ускорителях «довекслеровского периода», с ожидаемой в ЦЕРН после запуска «Большого Адронного Коллайдера» LHC (7 000 000 МэВ), можно сказать, что с позиций ускорительщиков того времени это уже практически «недостижимо высокие энергии», а если учесть, что в коллайдерном режиме энергия сталкивающихся протонов $E_{\text{цм}} = 14$ ТэВ, то есть эквивалентная энергия налетающего на неподвижную мишень протона соответствует примерно $5 \cdot 10^7$ МэВ, - то тем более.

Но вполне уместно в связи с юбилеем В.И.Векслера поставить вопрос: а есть ли разумный, реализуемый в принципе, верхний предел энергии «рукотворного» ускорителя протонов. Фантазия автора этих строк ограничилась в свое время предложением и концептуальным рассмотрением «Пэватрона» - протонного синхротрона/коллайдера на энергию 1 ПэВ, т.е. 10^{15} эВ, основанного на экономичной сверхпроводящей магнитной системе нового типа. В коллайдерном режиме «Пэватрон» обеспечил бы эквивалентную энергию взаимодействия $\sim 2 \cdot 10^{21}$ эВ в системе с неподвижной мишенью, что превышает максимальную энергию частиц ($\sim 3,0 \cdot 10^{20}$ эВ), зарегистрированную в приходящих к нашей планете космических лучах, с исследованиями которых было связано начало деятельности Владимира Иосифовича в области физики высоких энергий.

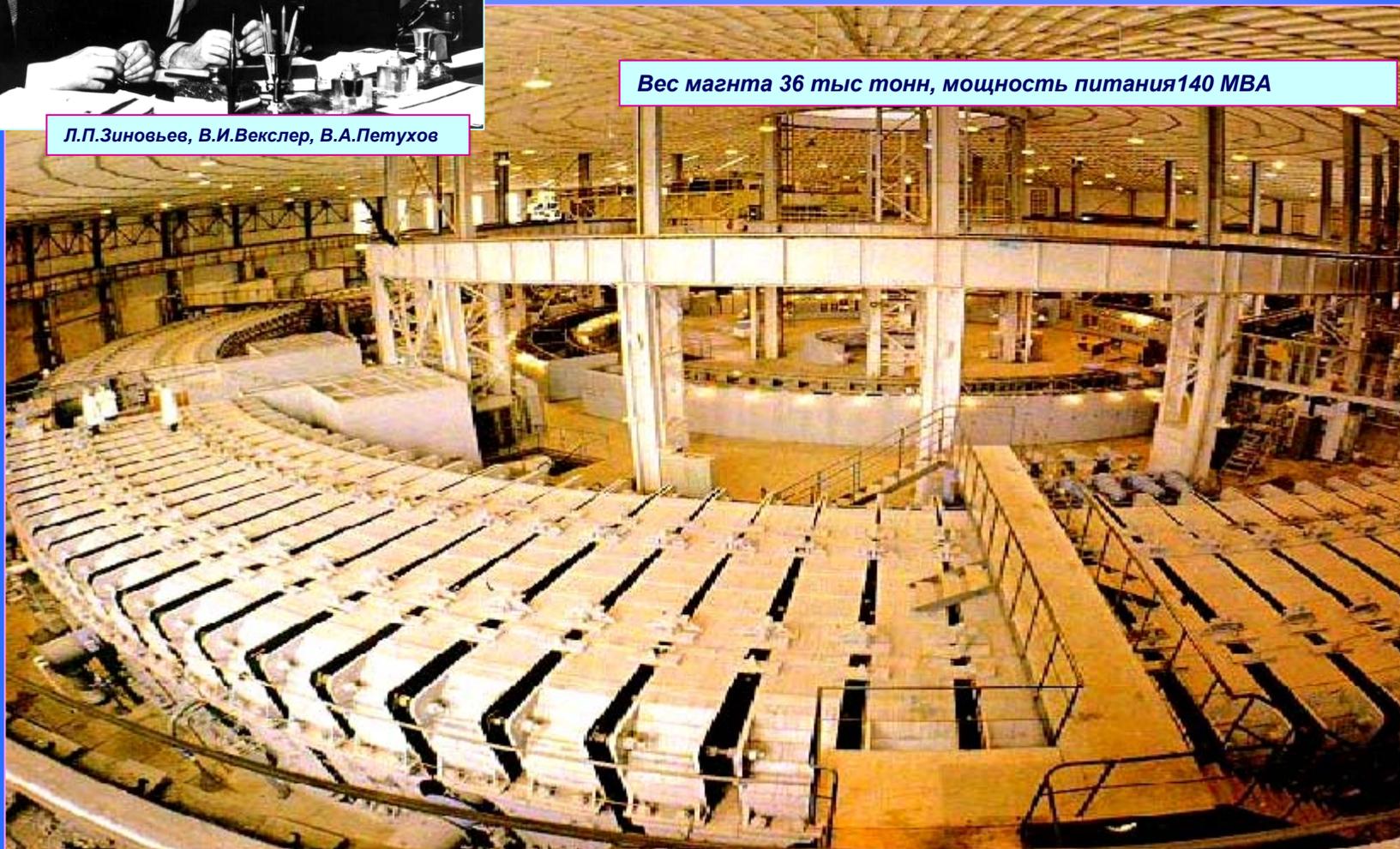


ОБЪЕКТ «КМ» - Синхрофазотрон на энергию протонов 10 ГэВ



Л.П.Зиновьев, В.И.Векслер, В.А.Петухов

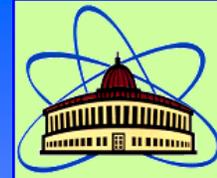
Вес магнита 36 тыс тонн, мощность питания 140 МВА



А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

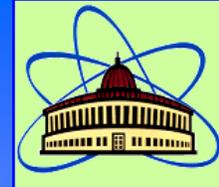
СИНХРОФАЗОТРОН- ЗАЛ УПРАВЛЕНИЯ



А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

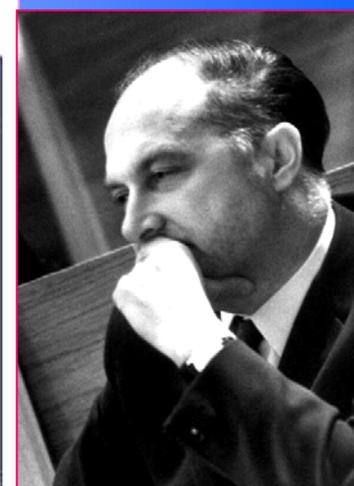
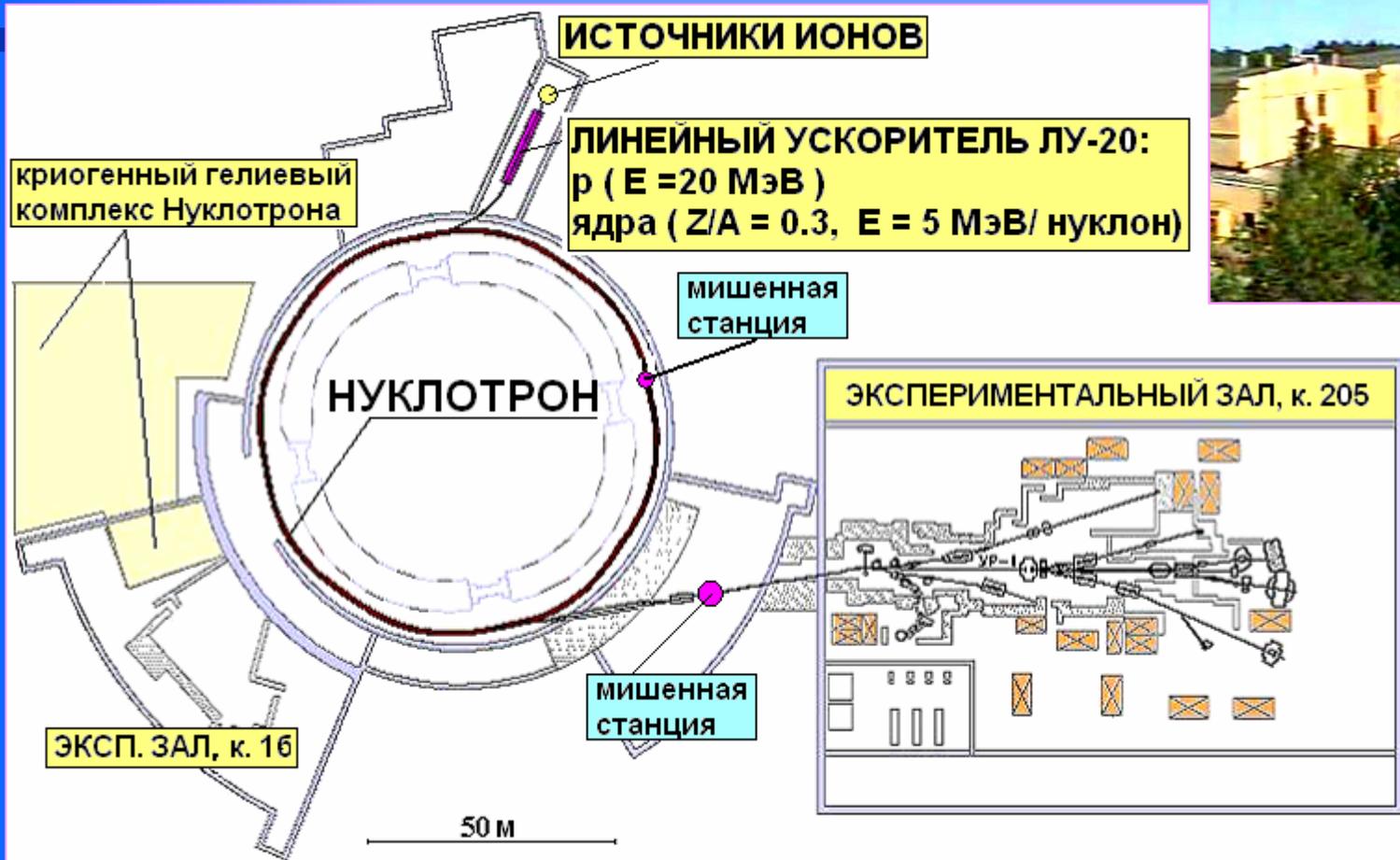
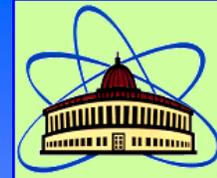
Синхрофазотрон оставался «в строю» с 1957 до 2003 года



- В результате последовательной модернизации в 70-е годы этот протонный ускоритель был преобразован в первый ускоритель релятивистских ядер и на протяжении 15-и лет был лидирующим в области релятивистской ядерной физики;
- Были предложены и реализованы новые методы получения высокозарядных ионов в источниках частиц, создан новый инжектор – линейный ускоритель Лу-20, созданы системы вывода ускоренных пучков протонов и ядер из синхрофазотрона в двух направлениях, включая новый экспериментальный корпус (здание 205), введены многие другие усовершенствования;
- На синхрофазотроне были получены уникальные пучки поляризованных дейтронов с импульсом до 4.5 ГэВ/нуклон, сформированы вторичные пучки поляризованных нейтронов;
- В период 1970 – 1990 гг. средний годовой уровень работы ускорительного комплекса ЛВЭ превышал 4000 часов.

(Более детально см., например: И.Н.Семенюшкин «Дубненский синхрофазотрон. От протонов к релятивистским ядрам и поляризованным дейтронам». Письма в ЭЧАЯ. 2004, Т.1, №6(123), с. 80-94.)

УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ЛВЭ

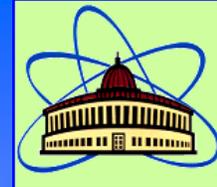


А.М.Валдина

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

НУКЛОТРОН ОИЯИ



6 АГЭВ СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ СИНХРОТРОН



• ПРОЕКТ УТВЕРЖДЕН В ДЕКАБРЕ 1986 года

• ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ ЗАВЕРШЕНЫ в янв. 1993г.

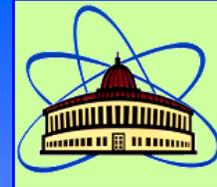
• ПЕРВЫЙ СЕАНС РАБОТЫ - март 1993 года

• В ноябре 2007 на НУКЛОТРОНЕ СОСТОИТСЯ 37-й СЕАНС

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

НУКЛОТРОН: новая технология



685 мм



ДИПОЛЬНЫЙ
МАГНИТ:
 $B = 2 \text{ Тл}$, $\dot{B} = 4 \text{ Т/с}$



КВАДРУПОЛЬНАЯ
ЛИНЗА: $G = 34 \text{ Т/м}$,
 $\dot{G} = 68 \text{ Т/м}\cdot\text{с}$

• ПОЛЕ ФОРМИРУЕТСЯ ЖЕЛЕЗОМ

• ОБМОТКА ИЗ ПОЛОГО СП-КАБЕЛЯ

• ДВУХФАЗНЫЙ ГЕЛИЙ, $T = 4.5 \text{ К}$

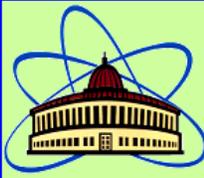
• МИНИАТЮРИЗАЦИЯ
ЗА СЧЕТ ВЫСОКОЙ
ПЛОТНОСТИ ТОКА В
ПРОВОДНИКЕ

• ОРИГИНАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ СП-КАБЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В БЫСТРОЦИКЛИЧНОМ РЕЖИМЕ: 1 Гц

А.Д.Коваленко

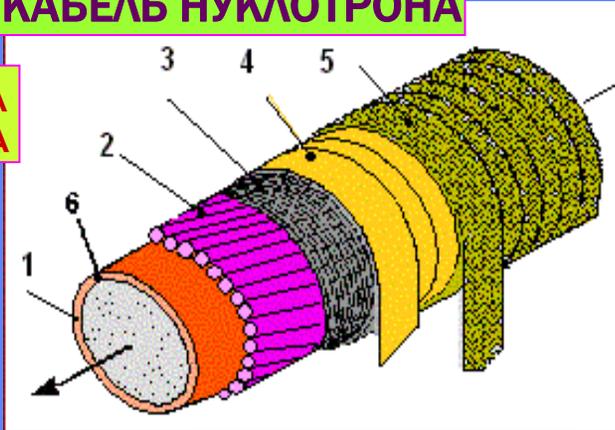
Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

НУКЛОТРОН: новая технология



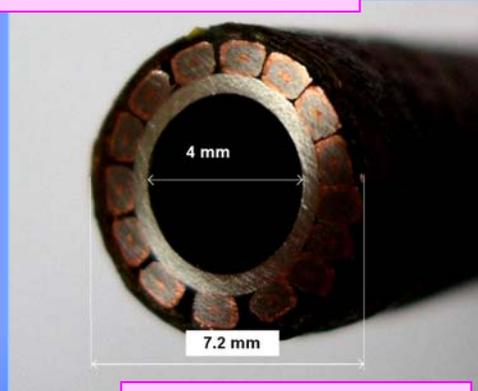
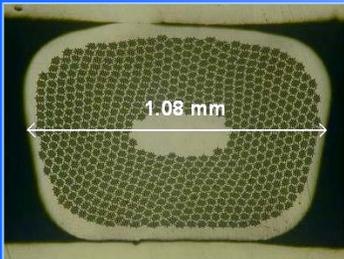
1978 год: СП КАБЕЛЬ НУКЛОТРОНА

РАБОЧИЙ ТОК: 6 кА
КРИТ. ТОК: 8.4 кА

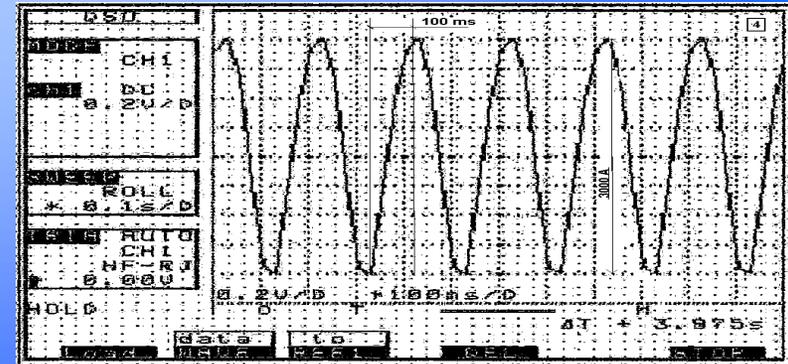


2 Тл СП ДИПОЛЬ: $f = 5$ Гц

2004 год: НОВЫЙ ТРУБЧАТЫЙ КАБЕЛЬ



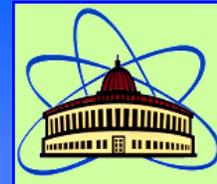
РАБОЧИЙ ТОК: 12 кА
КРИТ. ТОК: 20 кА



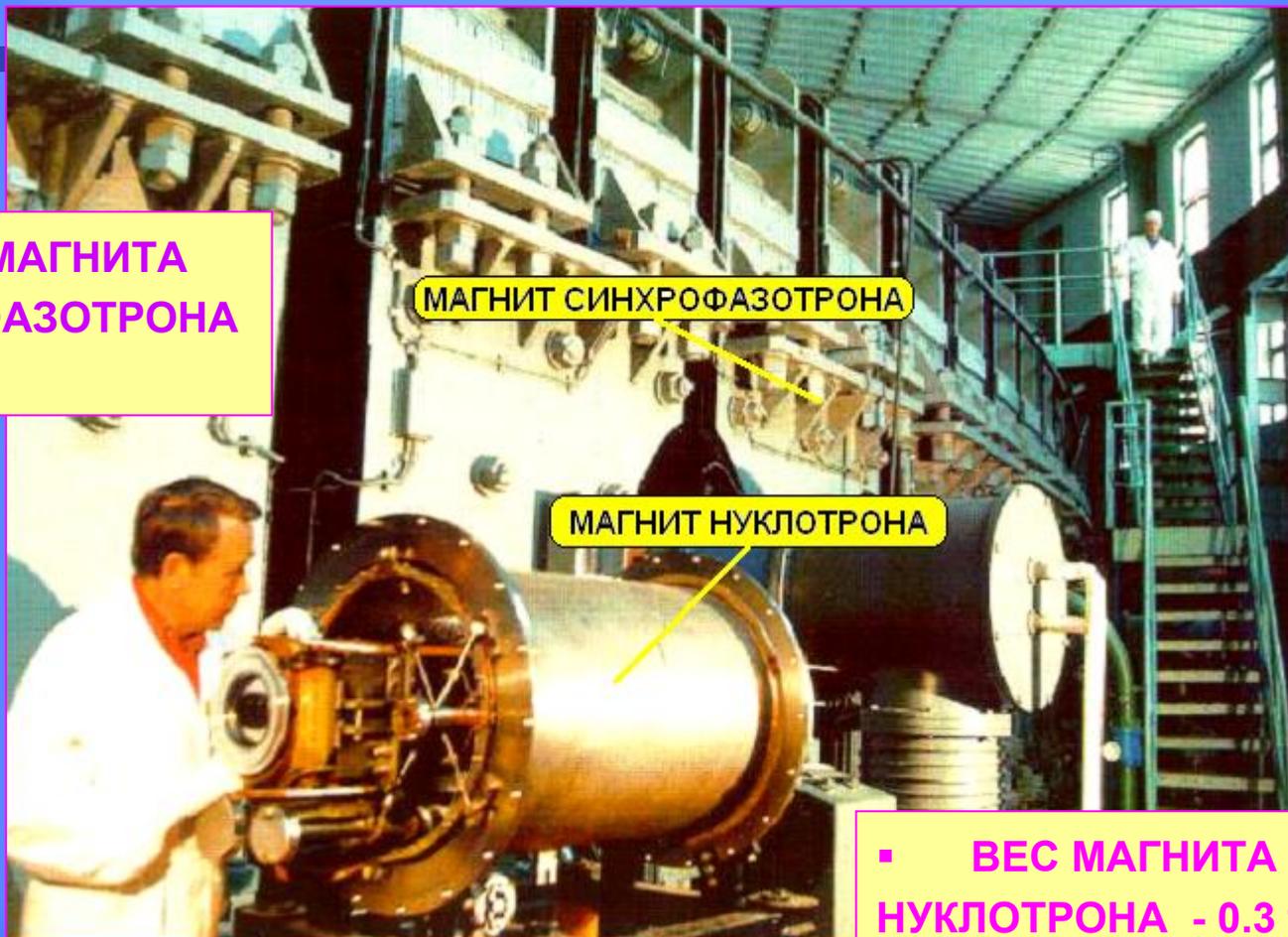
А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

НУКЛОТРОН & СИНХРОФАЗОТРОН



- **ВЕС МАГНИТА
СИНХРОФАЗОТРОНА**
- 170 т/м

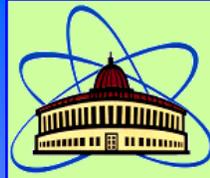


- **ВЕС МАГНИТА
НУКЛОТРОНА** - 0.3 т/м

А.Д.Коваленко

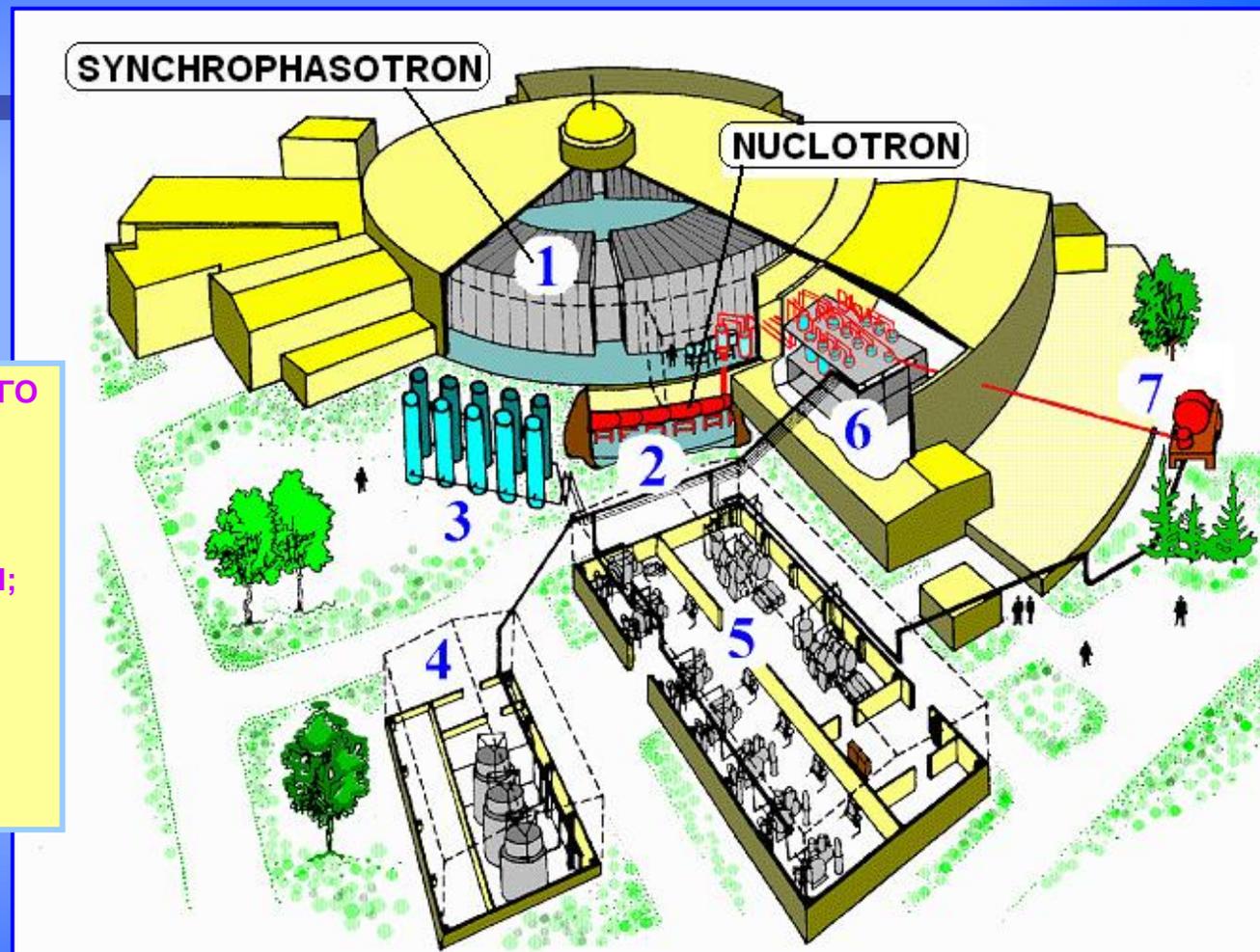
Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

КРИОГЕННЫЙ КОМПЛЕКС НУКЛОТРОНА



SYNCHROPHASOTRON

NUCLOTRON



3- ХРАНИЛИЩЕ ГАЗООБРАЗНОГО
ГЕЛИЯ: $V = 5000 \text{ m}^3$

4 – ГАЗГОЛЬДЕРЫ;

5 – ГЕЛИЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ;

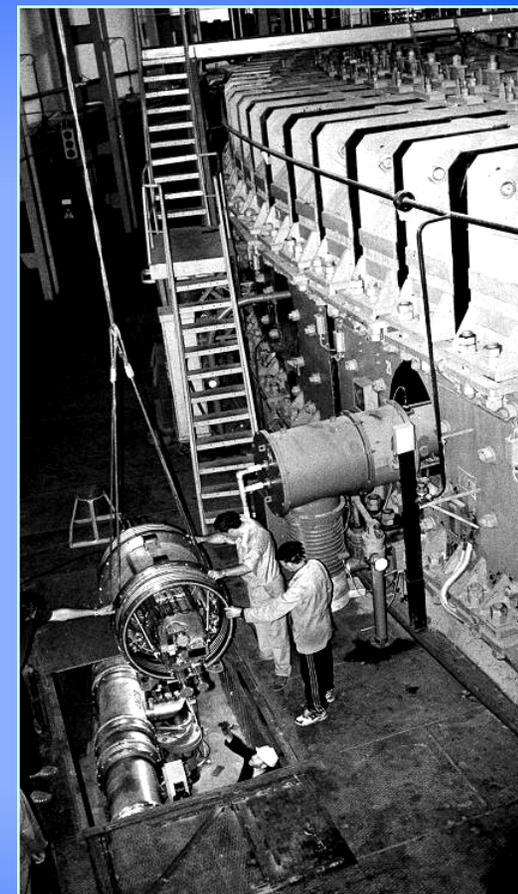
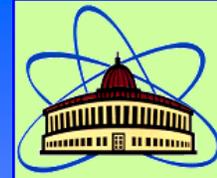
6 – РЕФРИЖЕРАТОРЫ КГУ:
 $3 \times 1600 \text{ W @ } T = 4.5 \text{ K};$

7 – СТАНЦИЯ НАПОЛНЕНИЯ
СОСУДОВ ЖИДКИМ ГЕЛИЕМ

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

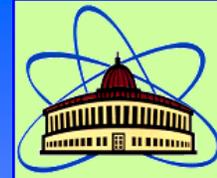
МОНТАЖ СИСТЕМЫ ВЫВОДА ПУЧКА



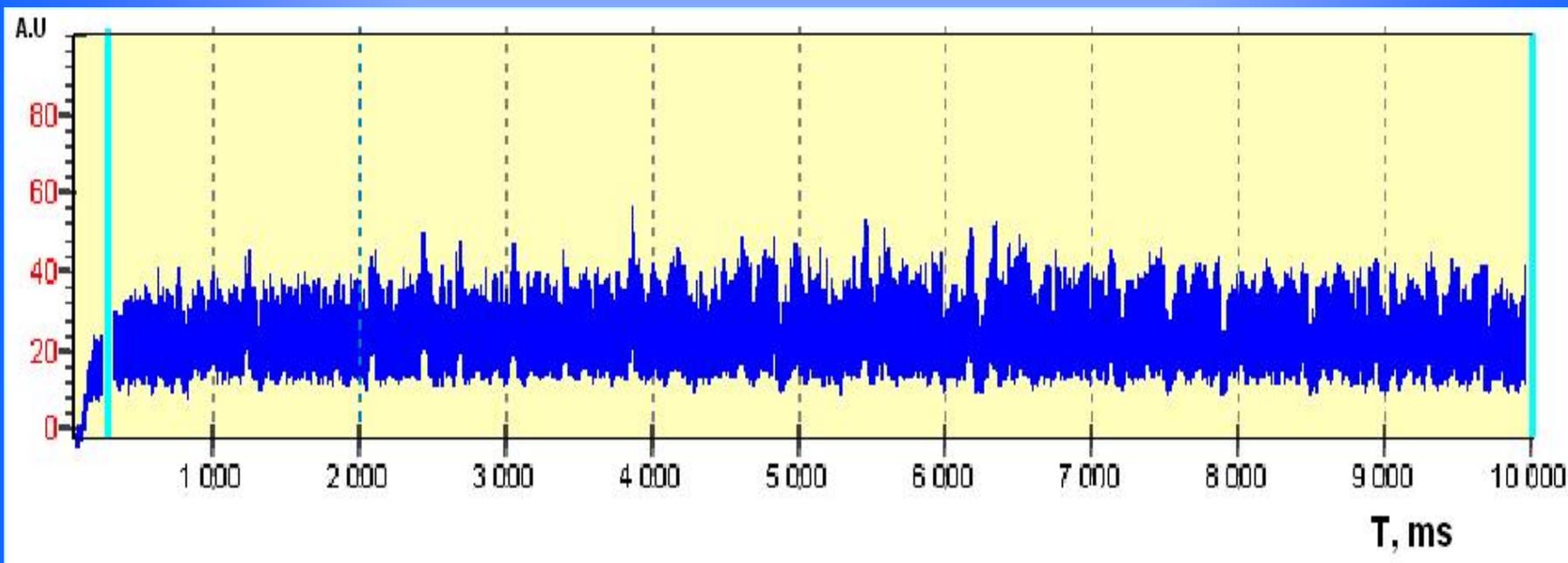
НУКЛОТРОН – единственный СП-синхротрон, имеющий сверхпроводящую систему медленного резонансного вывода пучка

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.



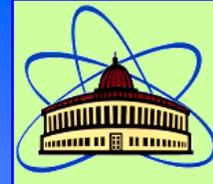
ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РАСТЯЖКИ ПУЧКА 10 с (не предел)



А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

НУКЛОТРОН: тяжелые ионы



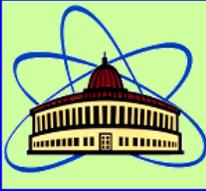
^{56}Fe

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЯДРА ^{56}Fe С ЭНЕРГИЕЙ 1 ГэВ/нуклон в ФОТОЭМУЛЬСИИ

ПРОЕКТ БЕККЕРЕЛЬ

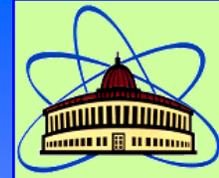
А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.



■ **Создается новый проект, реализацию которого планируется осуществить в период 2007 – 2013 гг.**

■ **Руководитель проекта А.Н.Сисакян**



Search for the Mixed Phase of Strongly Interacting Matter at Nuclotron-based Ion Collider Facility



Nuclotron-based Ion Collider Facility and MultiPurpose Detector (NICA / MPD)

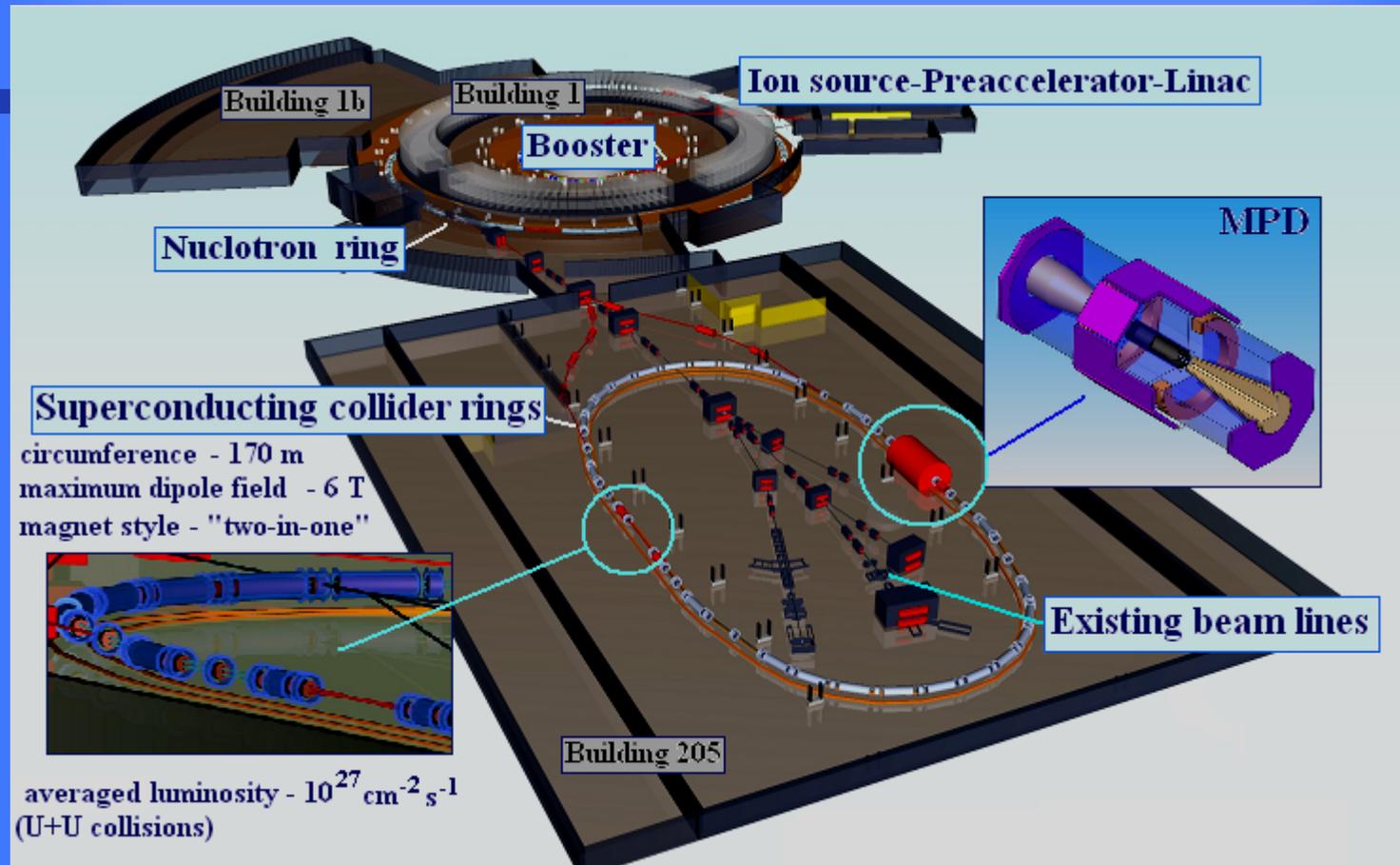
- The new flagship of the Joint Institute for Nuclear Research

The main goal of the NICA/MPD project is to start in the coming years experimental study of hot and dense strongly interacting QCD matter and search for a possible manifestation of the mixed phase formation and critical endpoint in heavy ion collisions. These investigations are relevant to understanding of the evolution of the Early Universe after Big Bang, formation of neutron stars, and the physics of heavy ion collisions. The new facility makes it possible to reach a new level in studying polarization phenomena in few-body nucleon systems.

- The main goal is proposed to be reached by :

- Development of the existing Nuclotron accelerator facility as a basis for generation of intense beams over atomic mass range from protons to uranium and light polarized ions.
- Design and construction of heavy ion collider (**NICA**) with maximum collision energy of $\sqrt{s_{NN}} = 9$ GeV and averaged luminosity $10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.
- Design and construction of multipurpose particle detector (**MPD**) at colliding beams.

NICA/MPD: The proposed extension of JINR basic facility for generation of intense heavy ion and light polarized nuclear beams aimed at searching for the mixed phase of nuclear matter and investigation of polarization phenomena at the collision energies up to $\sqrt{s_{NN}} = 9$ GeV



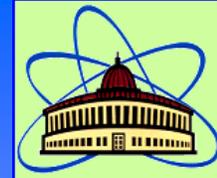
- No new buildings, no additional power lines
- No extra heat, water cooling power

- Fixed target experiments could be also continued
- Polarized deuterons collision mode is foreseen

А.Д.Коваленко

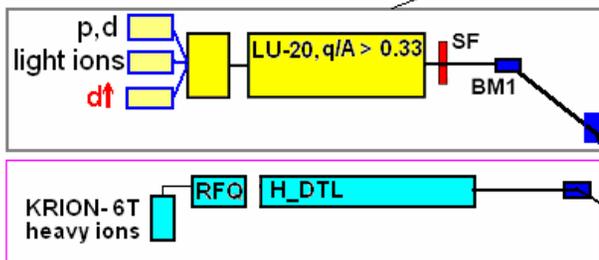
Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА ЛВЭ



Можно ли осуществить на базе синхрофазотрона/нуклотрона ЛВЭ асимметричный коллайдер или коллайдер с пучком поляризованных дейтронов ?

существующий инжекционный комплекс



новый инжекционный комплекс

корпус 1

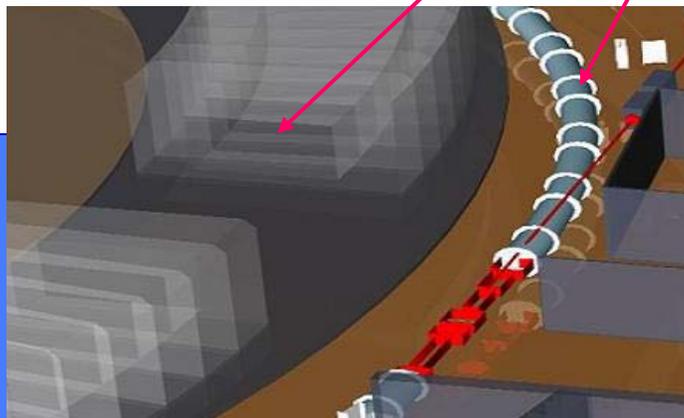
- нуклотрон в тоннеле периметром 250 м
- бустер периметром 190 - 200 м внутри синхрофазотрона

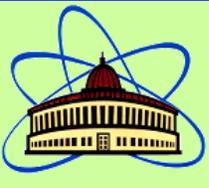
корпус 2005

- два накопительных кольца периметром 180-200 м с участком встречи (или двумя)
- магнитное поле в диполях 5-6 Тл,
- предусматривается режим доускорения в НК

режимы инжекции в НК:

- тяжелые ионы с энергией от 500 МэВ/н из бустера в оба НК или одно;
- легкие ионы с энергией до 6 ГэВ/н в оба или одно из колец
- поляризованные дейтроны с энергией до 5,6 ГэВ/н

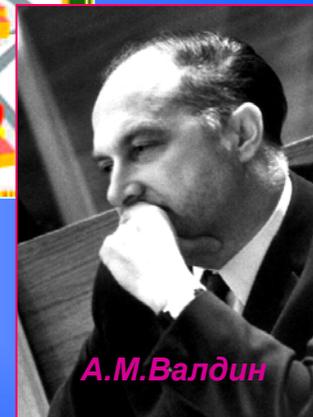




“ПЛОЩАДКА ВЕКслера” в ДУБНЕ



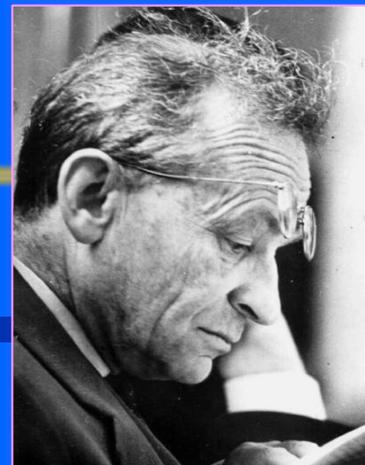
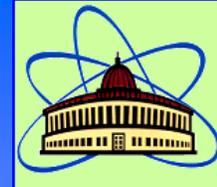
В.И.Векслер



А.М.Валдин

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.



В.И.Векслер (1907-2007)

- **Лучшая оценка – это добрая память, продолжение дел начатых и развитие уже осуществленных этим человеком, что и имеет место в случае Владимира Иосифовича Векслера.**
- **Его имя вошло в историю мировой науки, в историю страны, в историю Дубны. О нем часто вспоминают те, которым пришлось работать вместе с ним (хотя таких все меньше и меньше).**
- **Созданный под его руководством ускорительный комплекс продолжает жить. Этот комплекс развивался и продолжает развиваться несмотря на все трудности и после его безвременного ухода благодаря усилиям его последователей.**

Мне не довелось видеть Владимира Иосифовича, но вся моя работа и жизнь в Дубне с приезда на дипломную практику в феврале 1967 года оказалась связанной с его наследием: до 1974 года – с реализацией коллективного метода ускорения, а затем с синхрофазотроном и нуклотроном. Но еще гораздо раньше, за 10 лет до приезда в Дубну, на меня произвело, по-видимому, неизгладимое впечатление сообщение о запуске Синхрофазотрона и это во многом определило все дальнейшее.

А.Д.Коваленко

Юбилейное совещание, посвященное 100-летию со дня рождения академика В.И.Векслера и 50-летию запуска Синхрофазотрона, Дубна, 10-12 Октября 2007 года.

