

**Установка Фазотрон  
Лаборатории Ядерных Проблем:  
прошлое, настоящее и будущее**



**Халин В.М.  
ЛЯП ЭТО**

## Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова

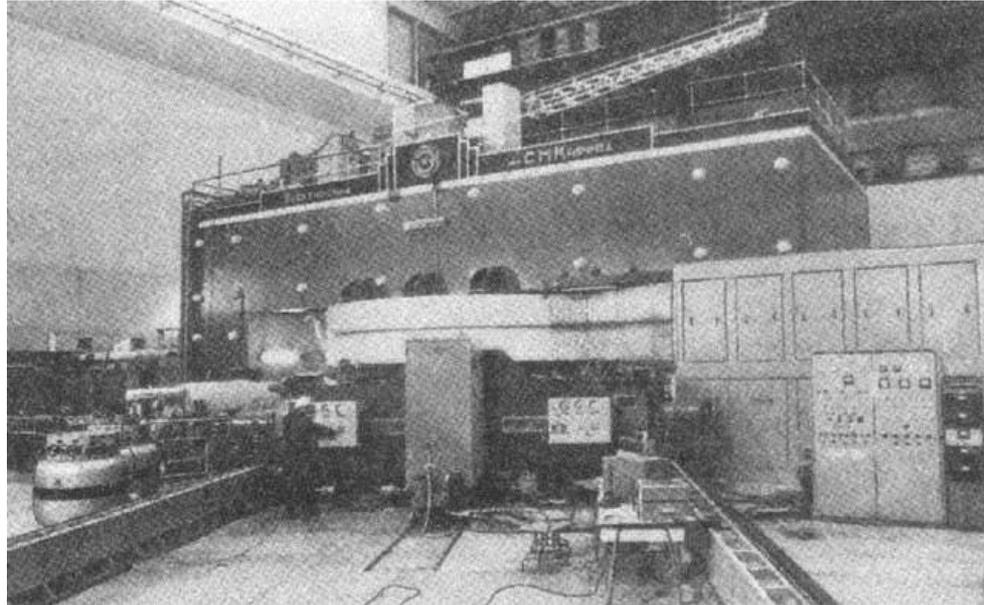
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова — это самый первый ядерный центр в СССР, возникший на том месте, которое теперь известно всему миру под названием — Дубна. Судьба этого центра была определена 18 августа 1946 г., когда по инициативе академика И. В. Курчатова для проведения фундаментальных исследований в области ядерной физики правительством СССР было принято решение о сооружении первого в стране крупного ускорителя — синхроциклотрона.



Директором ГТЛ и научным руководителем разработок по ускорителю был назначен Михаил Григорьевич Мещеряков, а его заместителем — Венедикт Петрович Джелепов.

## Крупнейший в мире ускоритель

Запуск синхроциклотрона состоялся в рекордные сроки — 14 декабря 1949. Это было историческое событие — первый в СССР, первый в Дубне крупный ускоритель заработал. Именно этот день теперь считается днем рождения Лаборатории ядерных проблем. На синхроциклотроне были сначала ускорены дейтроны до энергии 280 МэВ, альфа-частицы до 250 МэВ, и вскоре протоны до 480 МэВ. До 1953 года синхроциклотрон оставался крупнейшим ускорителем в мире!



В 1953 году после увеличения диаметра полюсов магнита синхроциклотрона до шести метров и существенной реконструкции его высокочастотной системы был введен в действие протонный вариант ускорителя на энергию протонов 680 МэВ с интенсивностью пучка протонов примерно 0,3 мкА.

## Модернизация ускорителя

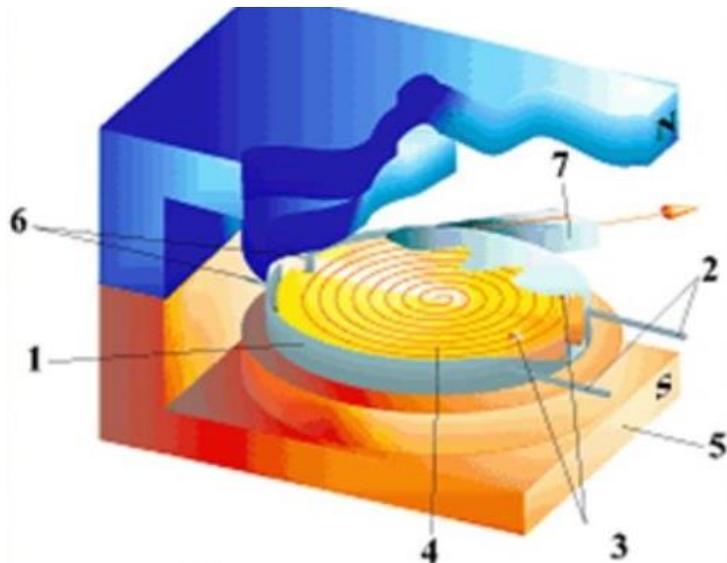
Любой, даже самый лучший ускоритель со временем устаревает — он становится уже не в состоянии обеспечить условия для получения новых физических результатов. По этой причине в 1967 году был предложен проект фазотрона со спиральной структурой магнитного поля на энергию протонов 680 МэВ (проект «Ф»).



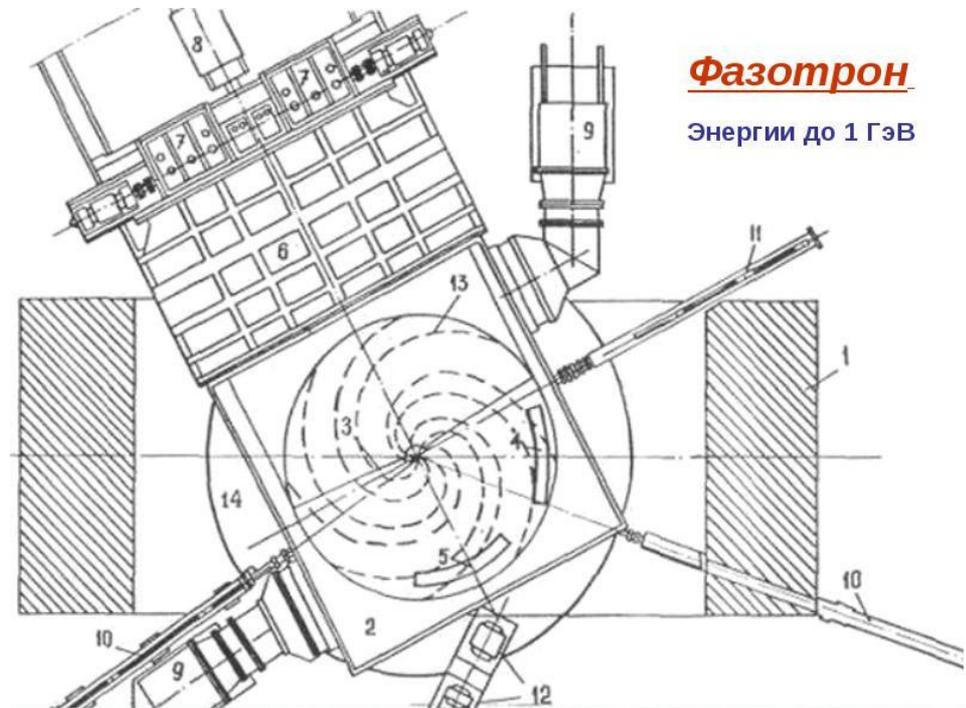
Физический пуск Фазотрона был осуществлен летом 1984 года, т.е. дубненский синхроциклотрон был реконструирован в новый ускоритель — фазотрон со спиральной вариацией нарастающего с увеличением радиуса магнитного поля. Протоны в нем ускорялись до энергии 680 МэВ. При этом максимальный ток внутреннего пучка был увеличен в 4 раза, интенсивность выведенного пучка — в 20 раз. Это существенно расширило спектр исследований в ЛЯП.

## Что такое Фазотрон?

**Фазотрон** (синхроциклотрон) – циклический резонансный ускоритель тяжелых заряженных частиц. Движение частиц в Фазотроне, как и в циклотроне, происходит по раскручивающейся спирали. Управляющее магнитное поле в нем постоянно, а частота ускоряющего электрического поля медленно изменяется с периодом. В Фазотроне возможно ускорение частиц до энергий до 1 ГэВ. Ограничения здесь определяются размерами Фазотрона, так как с ростом скорости частиц растет радиус их орбиты.



1. Вакуумная камера
2. Труба вакуумного насоса
3. Дуанты
4. Траектория ускоряемой частицы
5. Полюс магнита
6. Выводы к генератору переменного напряжения
7. Вывод электронов



**Фазотрон**

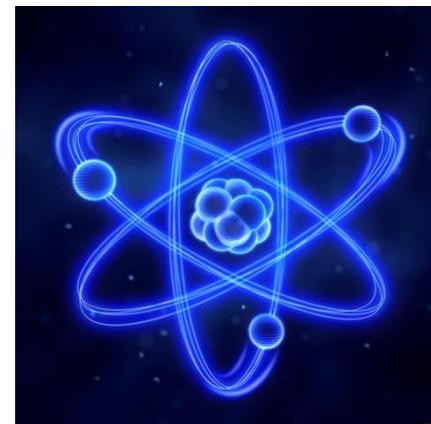
Энергии до 1 ГэВ

## Физические исследования на Фазотроне

Физические исследования проводились на выведенных протонных пучках. На фазотроне было реализовано 10 каналов пучков, которые использовались для экспериментов с пи-мезонами, мюонами, нейтронами и протонами. Пять вторичных пучков - для медицинских исследований, главным образом по терапии онкологических заболеваний.

### **Основные направления исследований на фазотроне:**

- ядерная спектроскопия на комплексе ЯСНАПП
- исследования мю-катализа
- изучение редких распадов частиц
- изучение свойств конденсированных сред  $\mu$ SR-методом
- медико-биологические исследования.



Фазотрон снабжен эффективной системой вывода на основе железо-токового канала.

- Эффективность быстрого вывода достигает 60%.
- При медленном выводе (растяжке) из фазотрона выводится почти непрерывный пучок.



## Пучки Фазотрона

**I, II, III, IX** служат для формирования пучков мезонов, остальные каналы - для формирования пучков нуклонов.

Мезонные каналы **I** и **II** предназначены для получения сепарированных и несепарированных мюонных, пионных и электронных пучков в интервале энергий 30-300 МэВ. Основное назначение канала **II** - формирование мезонных пучков в низкофоновом помещении.

Канал **III** предназначен для получения пионных пучков с энергией 50-250 МэВ.

Для получения заторможенных протонных пучков с энергиями 100, 130 и 200 МэВ используется канал **VIII**.

Интенсивные мезонные пучки получают на канале **IX** с помощью широкоугольной магнитной линзы.

Для формирования нейтронного пучка используется канал **X**.

Узкие протонные пучки (диаметром от 5 до 20 мм) формируются каналом **XI**.

Для проводки протонного пучка в здание ЯСНАПП используется канал **XII**.

Облучение мишеней для радиохимических исследований производится на внутреннем пучке фазотрона в диапазоне энергий от 70 до 660 МэВ при интенсивности до 6 мкА и на установке КОБРА в конце канала **IX**.

## Пожар на ускорителе

Сильно осложнил жизнь сотрудников ЛЯП случившийся в апреле 2005 года пожар на ускорителе. При пожаре пострадала значительная часть оборудования Фазотрона и трактов проводки пучков. Практически полностью выгорели кабельные линии.

Руководство лаборатории, после не легкого обсуждения, приняло решение о восстановлении всех основных систем Фазотрона и тракта VIII (протонный пучок в кабину №1).

За два года сотрудники отдела ускорителя и электро-технологического отдела сделали казалось невозможное – восстановили после пожара все основные системы Фазотрона и медицинский тракт. Благодаря этому уже в январе 2007 года на Фазотроне были начаты плановые сеансы по протонной лучевой терапии.

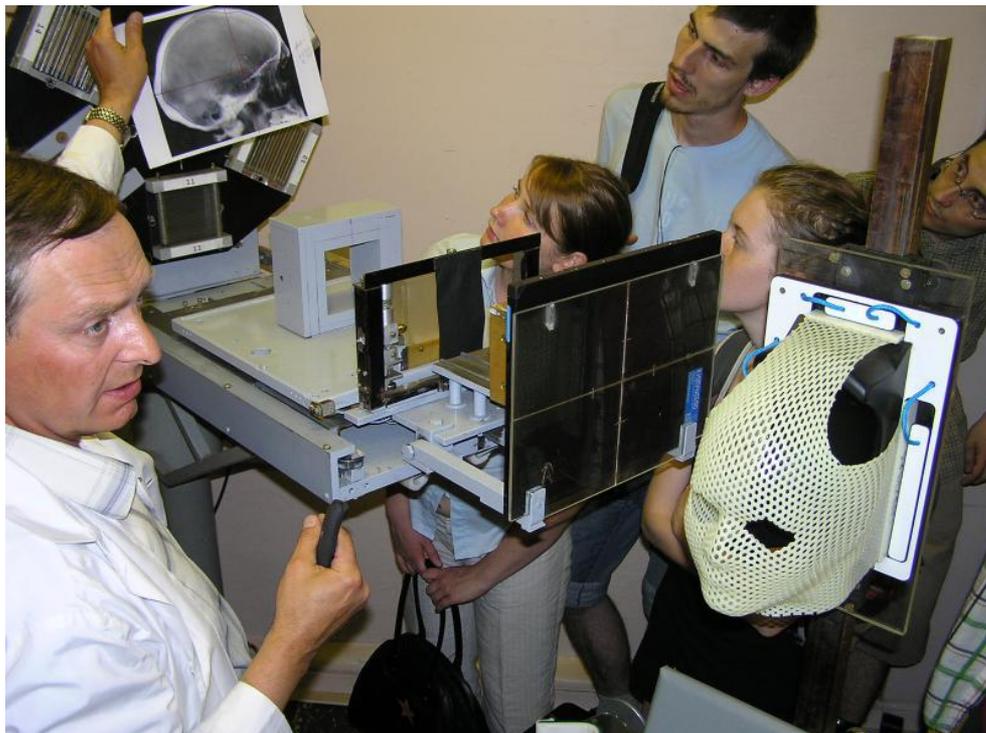
В последствии были восстановлены XIII и II тракты для формирования мезонных пучков в низкофоновом помещении. Благодаря чему физики-экспериментаторы вновь смогли работать на установке.

Так, весной 2016 года совместно с коллегами из Саранска, под руководством Д.Л. Дёмина был проведён 100-часовой сеанс по облучению трития. В настоящее время ведётся обработка данных эксперимента.



## Протоны вместо скальпеля

Основным направлением работы установки Фазотрон в настоящее время является протонная терапия онкологических заболеваний. Для этого используются заторможенные протонные пучки с энергиями 100, 130 и 200 МэВ и канал VIII. По сравнению с другими, существующими на сегодняшний день, методами лечения онкологических заболеваний, протонная терапия является наиболее продуктивной, безопасной и современной.



До сегодняшнего дня Дубна остается бесспорным лидером в России в области прецизионной протонной терапии: только здесь реализована и успешно применяется методика конформного трехмерного облучения глубокозалегающих опухолей, при которой дозное распределение с точностью до миллиметров соответствует форме мишени.

Сегодня пропускная способность МТК ЛЯП ОИЯИ составляет порядка ста пациентов в год.

## Перспективы развития

Сейчас в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разрабатывается Центр протонной терапии на основе нового компактного циклотрона. Ранее предполагалось использование для этих целей бельгийского С-235. Сейчас же руководство склоняется к SC200 на 200 МэВ, разрабатываемого в настоящее время совместно с Китаем. Такое решение было принято в связи с тем, что абсолютно не рационально использовать ускоритель 680 МэВ, когда требуется максимум 200 МэВ. SC200 планируется установить в 4-й лаборатории корпуса №1 с использованием существующего тракта.



Потребляемая мощность обмоток магнита Фазотрона составляет порядка 750 кВт. Полная же мощность всей установки при работе на медицинский канал составляет 3 МВт!

Потребляемая мощность обмоток магнита SC200 будет порядка 180 кВт. Полная ожидаемая мощность всей установки при работе на медицинский канал, с учетом перевода питания элементов трактов на инверторные источники питания, составит 500-600 кВт.

## Что же будет с Фазотроном?

В настоящее время судьба Фазотрона до конца не определена. Вариантов несколько:

- полный демонтаж,
- консервирование и использование в качестве музейного экспоната,
- поддержание в рабочем состоянии и использование для физических экспериментов.



Не смотря на такую неопределённость, помимо плановых ревизий и ремонтов, нами проводятся работы по модернизации оборудования установки Фазотрон. За последние годы это:

- Ввод в эксплуатацию нового источника питания магнита фазотрона ТПП-5000.
- Проектирование, изготовление и ввод в эксплуатацию системы подавления пульсаций в источниках питания ЖТК.
- Создание и ввод нового источника питания корректирующей обмотки ЖТК 3кА.
- Ступенчатый ввод в эксплуатацию инверторных источников питания элементов трактов.
- Создание АСУ трактами проводки пучков.

## Основные достижения на установке Фазотрон ЛЯП

Введение в строй дубненского синхроциклотрона, способного ускорять частицы до рекордных по тем временам энергий, а затем его модификация и проведение уникальных физических исследований — все это заложило прочный фундамент Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Ученым ЛЯП принадлежат 13 научных открытий, зарегистрированных в Государственном реестре Советского Союза. Результаты научных исследований Лаборатории более 100 раз были удостоены премий Объединенного института ядерных исследований.

*К основным достижениям на установке Фазотрон можно отнести следующие:*

1. Нуклон-нуклонные взаимодействия.
2. Взаимодействие  $P_i$  - мезонов с нуклонами и ядрами. Редкие процессы.
3. Исследования процессов с участием отрицательного мюона.
4. Развитие ускорительной техники.
5. Получение и использование пучков тяжелых ядерных частиц в медицине.
6. Биофизические исследования, проводимые в ЛЯП.
7. Ядерная спектроскопия и радиохимия.

**А также судьбы и жизни многих выдающихся и самых обычных людей!**



Благодарю за внимание!