

P18-2018-29

В. И. Комаров

КАК НАЧИНАЛОСЬ СОЗДАНИЕ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА ПРОТОННОМ ПУЧКЕ
СИНХРОЦИКЛОТРОНА **ОИЯИ**

Направлено в журнал ЭЧАЯ

Комаров В. И.

P18-2018-29

Как начиналось создание медико-биологического комплекса на протонном пучке синхроциклотрона ОИЯИ

Описывается первый этап создания медико-биологического комплекса на протонном пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2018

Komarov V. I.

P18-2018-29

The start of the creation of the medico-biological complex at the proton beam of the JINR synchrocyclotron

The first step in the creation of the medico-biological complex at the proton beam of the JINR Laboratory of Nuclear Problems cyclotron is considered.

The investigation has been performed at the Dzheleпов Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Присутствие пика в распределении ионизационных потерь тяжелых заряженных частиц по их пробегу в веществе натолкнуло на мысль использовать его для эффективной лучевой терапии. Такое предложение было сделано в 1946 г. Р. Вильсоном [1], и вскоре были проведены первые облучения пациентов (Радиационная лаборатория в Беркли (США), 1954 г., Университет в Упсале (Швеция), 1957 г.). В 1961 г. было начато систематическое лечение пациентов на циклотроне в Массачусетсе (США). В нашей стране нужные для этого ускорители протонов с энергией 100–200 МэВ отсутствовали, и этот дорогостоящий метод лечения в 1950-е гг. не был востребован ввиду давления более острых и насущных проблем.

Однако в середине 1965 г. у выдающегося физика академика И. Я. Померанчука (рис. 1) была диагностирована тяжелая стадия рака пищевода и ему был назначен курс терапии облучением гамма-квантами Co^{60} . При первой же встрече с заведующим радиологическим отделением Онкологического института профессором А. И. Рудерманом Исаак Яковлевич спросил его, почему они не используют для терапии облучение протонами. И. Я. Померанчук не был знаком с публикацией Р. Вильсона и развитием протонной терапии в США, но ему было очевидно, что облучение протонами более эффективно, чем облучение электронами или гамма-квантами. Знал это и А. И. Рудерман. Он рассказывает об этой беседе [2]:

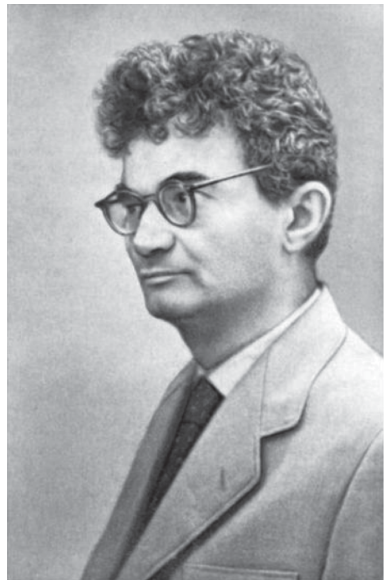


Рис. 1. Исаак Яковлевич Померанчук

— За чем же дело стало?

— Медики не имеют таких установок. Они в руках физиков. Требуется соответствующее решение.

— Ну, в этом советской медицине можно помочь.

Тут же состоялся телефонный разговор академиков И. Я. Померанчука и В. А. Кириллина (в то время председателя ГКНТ). На следующий день я был вызван в ГКНТ, а еще через день президент АМН СССР Н. Н. Блохин и я обсуждали с В. А. Кириллиным текст возможных заданий по использованию заряженных ядерных частиц в медицине. Ответственными исполнителями были выделены ИЭиКО (Институт экспериментальной и клинической онкологии), ИТЭФ и ОИЯИ. Затем состоялся Ученый совет ИЭиКО с участием И. Я. Померанчука, В. П. Желепова и ряда других ведущих физиков и лучевых терапевтов Москвы. После моего доклада и детального обсуждения выяснилось, что физико-техническая подготовка к клиническому использованию протонов займет немало времени.

Исаак Яковлевич знал, что в лечении его самого использовать протонную терапию уже не удастся, но это не погасило его энтузиазм — он активно интересовался ходом дел и способствовал ему до последних дней своей жизни.

Венедикт Петрович Желепов действовал стремительно. Сразу же по возвращении из Москвы в Дубну он распорядился собрать для обсуждения ведущих и активных физиков Лаборатории ядерных проблем, в первую очередь тех, кто имел опыт работы на выведенном протонном пучке синхроциклотрона. Список участников этого директорского совещания не сохранился, но можно утверждать, что на нем присутствовали Л. И. Лапидус, И. М. Василевский, Л. М. Сороко и сотрудники его сектора О. В. Савченко и В. И. Комаров. После информационного сообщения директора последовало активное обсуждение.

Общая схема использования синхроциклотрона была ясна: пучок протонов может быть выведен из камеры ускорителя только при максимальной энергии 670 МэВ, но использовать его надо при энергии не выше 200 МэВ, так что необходимо существенно подтормозить его фильтром. Затем пучок вводится в поле отклоняющего магнита СП-37 и через стальной коллиматор выводится за радиационную защиту в зал лаборатории № 4 корпуса синхроциклотрона. Допустим ли здесь радиационный фон для пребывания пациента во время сеанса облучения — надо было еще выяснять. Главный вопрос состоял в том, будет ли после коллиматора интенсивность пучка достаточно большой, а энергетическая дисперсия достаточно малой для клинического использования. Ответ на этот вопрос можно было получить только при прямых измерениях на ускорителе.

Необходимая для этого аппаратура довольно проста, но должна быть готова к использованию без задержки. Выяснилось, что такая аппаратура есть у О. В. Савченко, В. И. Комарова и И. М. Василевского. Они и взялись провести нужные измерения. Уже на следующий день ускоритель был предоставлен

в их распоряжение, и началась юстировка выведенного пучка в направлении квадрупольной линзы МЛ-4 вблизи камеры ускорителя. Для этого регулировалось положение двух массивных железных пластин — отклоняющих насадок, между которыми проходил пучок, выходящий из окна вакуумной камеры ускорителя. Движение пластин осуществлялось вручную с помощью больших медных штурвалов при включенном питании обмоток ускорителя, но выключенном ВЧ-поле. Так как уровень излучения в этом месте даже при выключенном ВЧ-поле очень высок, нужно было спешить, поворачивая штурвалы, которые буквально сопротивлялись движению в сильнейшем

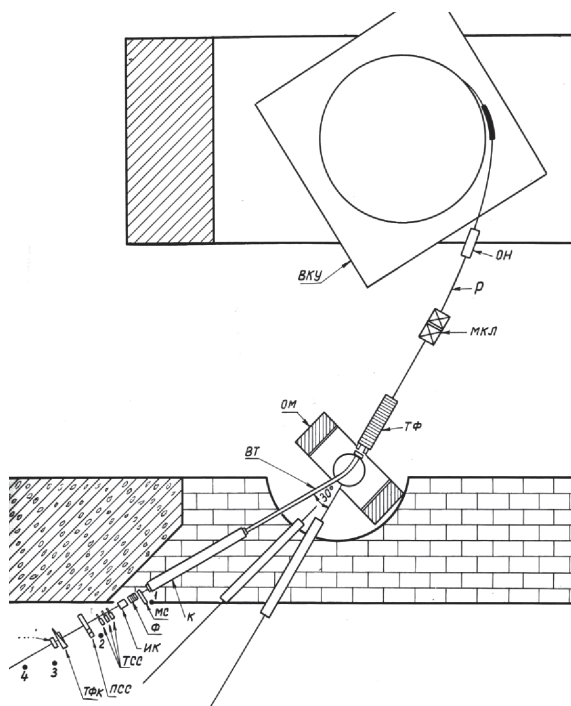


Рис. 2. Общая схема формирования протонного пучка и расположения регистрирующей аппаратуры при первых измерениях: ВКУ — вакуумная камера ускорителя; ОН — отклоняющие насадки; p — выведенный протонный пучок с энергией 670 МэВ; МКЛ — магнитная квадрупольная линза; ТФ — тормозящий фильтр из полиэтилена; ОМ — отклоняющий магнит; ВТ — вакуумный тракт для транспортировки заторможенных протонов; К — коллиматор в защитной стене; МС — мониторный счетчик; Ф — фильтр из полиэтилена; ИК — ионизационная камера; ТСС — телескоп из трех сцинтилляционных счетчиков; ТФК — тормозящий фильтр из алюминия, состоящий из двух клиновидных частей; 1-4 — точки, где измерялись дозы рассеянного излучения. Из [3]

магнитном поле, и стремительно убежать от камеры ускорителя, установив насадки и закрепив фотобумагу на входе/выходе МЛ-4 и входе СП-37. Все это делалось под гулом и струями довольно горячего воздуха, шедшими от камеры охлаждения обмоток ускорителя. Покинув радиационную зону, надо было сделать секундную экспозицию включением ВЧ и затем забрать листы облученной фотобумаги. На проявленной фотобумаге хорошо просматривался след пучка и контуры полюсов МЛ-4. Многократное выполнение этой процедуры позволяло установить пучок по оси МЛ-4 с выходом на нужную точку магнита СП-37. Затем между линзой и магнитом выкладывались полиэтиленовые блоки замедлителя полной длиной около полутора метров, а вокруг подторможенного пучка устанавливались свинцовые кирпичи для снижения фона от рассеяния пучка в замедлителе. За коллиматором в лаборатории № 4 была собрана нужная аппаратура (рис. 2), и в течение нескольких сеансов в

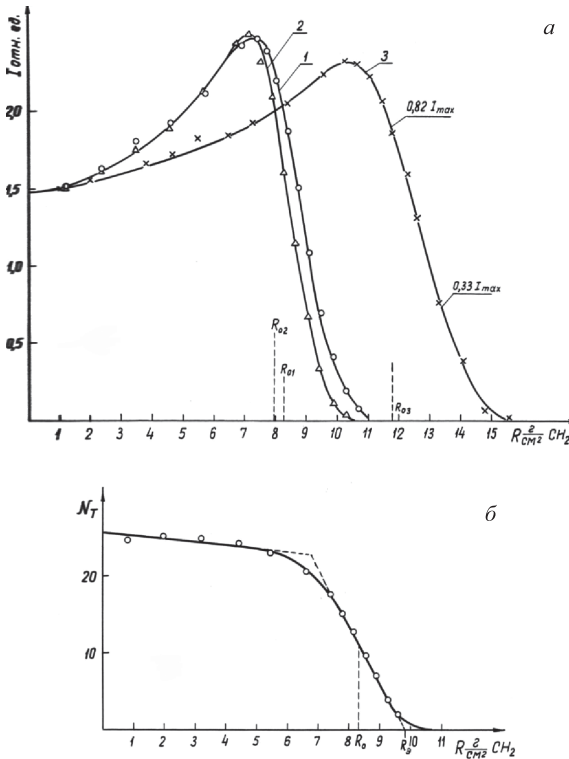


Рис. 3. Результаты первых измерений. *а*) Кривые Брэгга для заторможенных протонов с энергией 108 и 135 МэВ: 1 и 2 — при диаметре коллиматора 20 мм, кривая 2 — после откачки вакуумного тракта; 3 — при диаметре коллиматора 30 мм и без откачки. *б*) Интегральная кривая пробега протонов в фильтре, установленном в телескопе счетчиков. Из [3]

декабре 1965 г. – январе 1966 г. были проведены измерения интенсивности пучка, его энергетической дисперсии и радиального профиля.

При этом регулированием толщины замедлителя устанавливалась величина энергии, а набором секций коллиматора изменялся диаметр получаемых пучков. При интенсивности первичного пучка протонов около $3 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ и энергетической дисперсии $\sigma_E = 2,8 \text{ МэВ}$ для энергии 135 МэВ была получена полная интенсивность $(6 \div 9) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ и плотность $(2 \div 3) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Для энергии протонов 108 МэВ интенсивность пучка была примерно в 1,5 раза меньше, а при энергии 180 МэВ — в 2 раза больше, чем для 135 МэВ. Интенсивность пучка определялась при измерении тока плоскопараллельной ионизационной камеры или непосредственной регистрации счета телескопа сцинтилляционных счетчиков при сниженной интенсивности первичного пучка. При энергии 135 МэВ энергетическая дисперсия равнялась $\sigma_E = 10 \text{ МэВ}$, а при 180 МэВ — 9 МэВ и уменьшалась до 7,2 МэВ при наличии вакуума между замедлителем и регистрирующей аппаратурой. Интенсивность заторможенного пучка с энергией 135 МэВ обеспечивала накопление дозы в максимуме кривой Брэгга со скоростью приблизительно $20 \div 30 \text{ рад/мин}$. Кривые Брэгга и радиальные распределения плотности пучка были измерены при нескольких значениях энергии и диаметров коллиматоров (рис. 3 и 4).

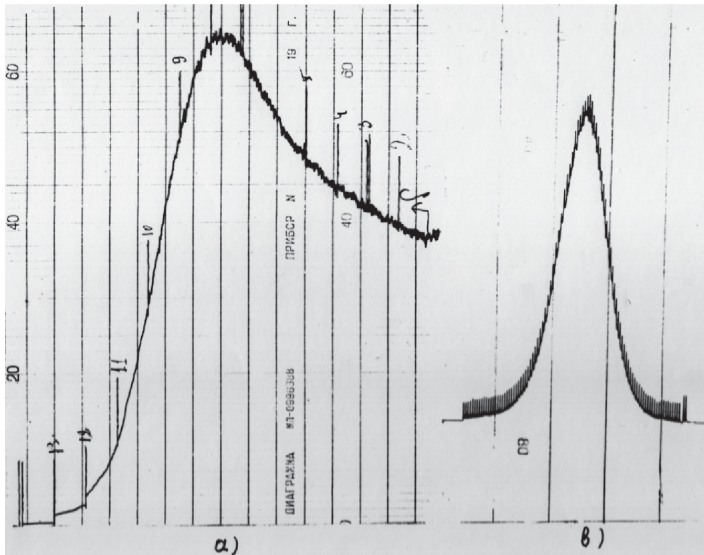


Рис. 4. Результаты первых измерений при энергии 135 МэВ: а) кривая Брэгга, снятая с помощью автоматически наращиваемого алюминиевого фильтра; б) радиальная зависимость поглощенной дозы, снятая с помощью управляемого сцинтилляционного счетчика, передвигавшегося перпендикулярно пучку. Из [3]

Полученные результаты показывали достижимость параметров пучка, нужных для клинического использования. Однако измерение суммарной дозы рассеянного излучения в районе регистрирующей аппаратуры, выполненное М. М. Комочковым, показало при работе ускорителя величину $20 \div 40$ мбэр/ч, недопустимую для облучаемого пациента. Значительно уменьшить дозу, создав дополнительную защиту в этом месте, было невозможно. Это означало необходимость вывода пучка в удаленное помещение за дополнительной защитой.

Результаты измерений [3] были доложены на директорском совещании ЛЯП, где было принято решение о неотложном проведении дальнейших работ с целью создания условий для терапии И. Я. Померанчука на протонном пучке синхроциклотрона.

Работать в этом направлении взялись только два научных сотрудника — О. В. Савченко и В. И. Комаров. Столь небольшое число добровольцев объясняется тем, что необходимая работа была практически несовместима с продолжением научных исследований, проводимых в то время сотрудниками лаборатории, и очевидно требовала отложить их на время не менее года. С другой стороны, работа с протонными пучками высокой интенсивности могла проводиться только при получении радиационных доз, ограниченных сверху принятыми нормативами. Такой дополнительный риск для здоровья тоже не способствовал энтузиазму. В результате все неотложные работы начального этапа пришлось проводить двоим, в то время как усилиями дирекции лаборатории подбирались кандидатуры молодых инженеров и научных сотрудников для комплектования кадров нового направления работ в ОИЯИ. Ответственным руководителем планируемых работ был назначен кандидат физико-математических наук Олег Васильевич Савченко. В кратчайший срок он подготовил проект работ по созданию медико-биологического комплекса [4].

Проект включал два основных блока: строительство экспериментально-клинического помещения и создание фокусирующего протонного канала для транспортировки подторможенного протонного пучка в это помещение (рис. 5). Предлагалось оборудовать специализированное помещение за двухметровой бетонной стеной корпуса ускорителя, чтобы обеспечить достаточно низкий радиационный фон в месте расположения пациента. Для сохранения интенсивности подторможенного пучка при его транспортировании на расстояние около 30 м предлагалось создать систему из семи фокусирующих магнитных линз и вакуумного тракта с полной длиной 26 м. В качестве линз предлагались квадрупольные триплеты с полной конструктивной длиной 1,5 м и градиентом магнитного поля до ~ 800 Э/см. Такие линзы были разработаны в конструкторском бюро ЛЯП А. А. Кропиным, и задача состояла в срочном их изготовлении. Проект был одобрен дирекциями ЛЯП и ОИЯИ. Началась подготовка технических заданий для выполнения работ в конструкторском бюро, экспериментальных мастерских, электротехниче-

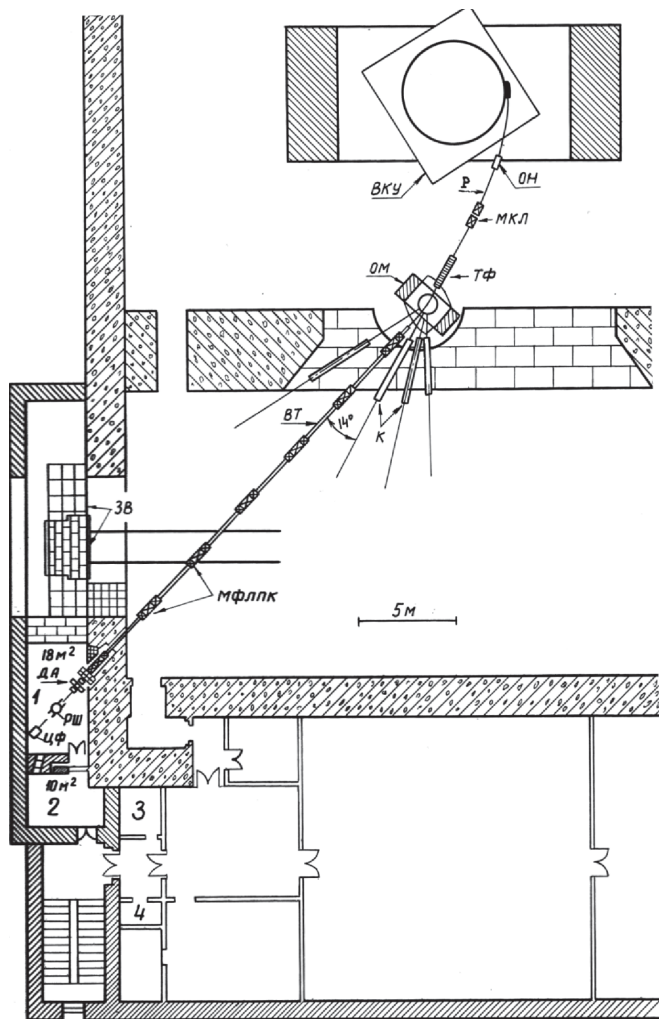


Рис. 5. Общая схема формирования протонного пучка и расположения экспериментально-клинического помещения в корпусе синхроциклотрона: ВКУ — вакуумная камера ускорителя; ОН — отклоняющие насадки; p — выведенный протонный пучок с энергией 660 МэВ; МКЛ — магнитная квадрупольная линза для фокусировки первичного пучка; ТФ — тормозящий полиэтиленовый фильтр; ОМ — отклоняющий магнит; К — коллиматоры; ВТ — вакуумный тракт; МФЛПК — магнитные фокусирующие линзы протонного канала; ЗВ — защитные ворота; ДА — дозиметрическая аппаратура; РШ — ротационный штатив; ЦФ — цилиндр Фарадея; 1 — комната для облучения пациента; 2 — комната врача-оператора; 3 — комната для медицинского осмотра пациента

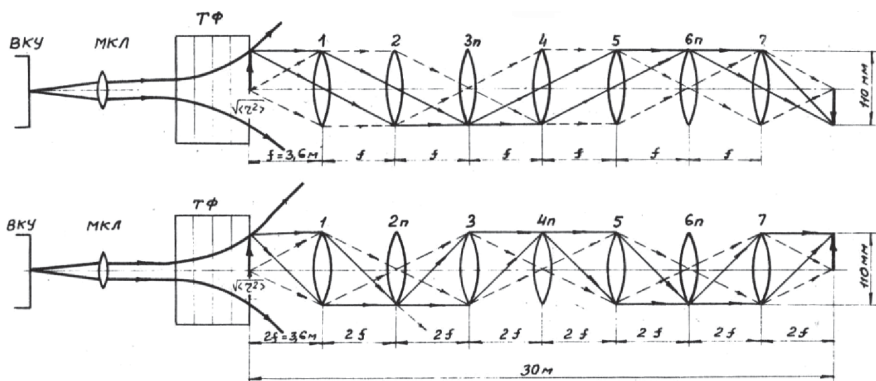


Рис. 6. Эквивалентные оптические схемы магнитного фокусирующего канала для двух вариантов размещения фокусирующих и полевых линз: МКЛ — линза фокусировки первичного пучка; ТФ — тормозящий фильтр; f — фокусное расстояние отдельной линзы

ском отделе лаборатории, строительной организации и Центральных мастерских ОИЯИ. Одновременно началось изготовление и наладка необходимой измерительной аппаратуры. Все дальнейшие работы по реализации заданий курировались Венедиктом Петровичем Желеповым и проводились в самом максимальном темпе.

Подготовкой аппаратуры и разработкой ионно-оптической схемы фокусирующего канала занимался В.И. Комаров. При различных значениях тока возбуждения в магнитном квадрупольном триплете были измерены градиенты магнитного поля вдоль оси триплета и определены эффективные длины секций триплета и эффективное расстояние между ними. Эти значения использовались для расчета оптимальных параметров фокусирующего канала. Расчеты проводились на ЭВМ БЭСМ-3М, работавшей в Лаборатории высоких энергий. Расчеты велись непосредственно в кодах машины, поскольку такие программные способы вычислений, как Алгол или Фортран, еще не были доступны. Были проанализированы две основные эквивалентные оптические схемы канала (рис. 6) и различные последовательности включения полярности секций. Эти факторы определяют зависимость коэффициента захвата протонов каналом от величины возбуждающего тока. Максимальное расчетное значение коэффициента захвата при внутреннем диаметре вакуумопровода 11 см было найдено равным $\sim 0,04$.

Комплект квадруполов был срочно изготовлен в Центральных мастерских ОИЯИ и смонтирован сотрудниками опытно-экспериментального производства ЛЯП под руководством К. А. Байчера. Он же руководил работами по монтажу вакуумопровода канала и бурению бетонной стены корпуса для

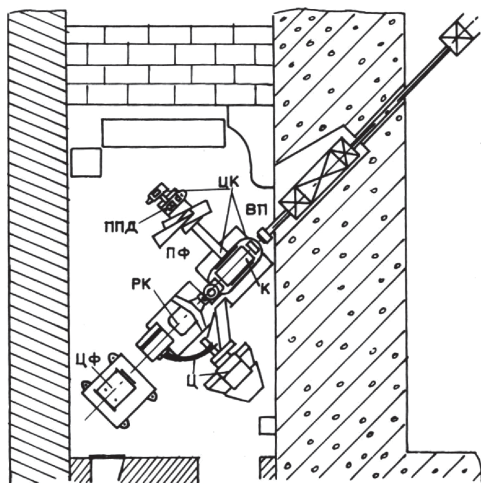


Рис. 7. Схема расположения канала, дозиметрической, юстировочной и вспомогательной аппаратуры в процедурном помещении корпуса синхротрона: ВП — вакуумопровод; К — коллиматорная система; РК — ротационное кресло; Ц — рентгеновские и оптические центраторы; ЦФ — цилиндр Фарадея; ПФ — подвижный фантом; ИК — ионизационные камеры; ППД — полупроводниковые кремневые детекторы

установки в ней коллиматора и замыкающего триплета канала. Энергия Константина Алексеевича и его увлеченность выполняемой задачей позволили закончить все работы по установке канала в самые краткие сроки. Так же слаженно работали сотрудники электротехнического отдела, руководимые В. И. Смирновым, обеспечив своевременное электропитание канала. В результате к осени 1966 г. удалось подготовить испытания канала, его оптимальную настройку. Строительство специализированных помещений и установка оборудования в процедурном помещении (рис. 7) уже завершались в конце года, здесь проявлялась энергичная деятельность зам. директора ЛЯП Н. Т. Грехова. Другой заместитель директора, Л. И. Липидус, организовывал взаимодействие с медицинскими учреждениями. Их работу в Дубне курировал президент Академии медицинских наук Н. Н. Блохин. Прочная связь с сотрудниками московского Института экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР установилась сразу же. В Дубну неоднократно приезжал А. И. Рудерман; О. В. Савченко постоянно обсуждал вопросы, связанные с дозиметрией и процедурами облучения, с докторами М. Ш. Вейнбергом и Б. В. Астраханом. Успешно шла подготовка нужной дозиметрической аппаратуры. Сознание срочности и нужности нашей работы проявлялось всеми. К несчастью, декабрь 1966 г. стал последним в жизни И. Я. Померанчука. Мы испытали тяжелое чувство утраты и сожаления о том, что наши усилия не

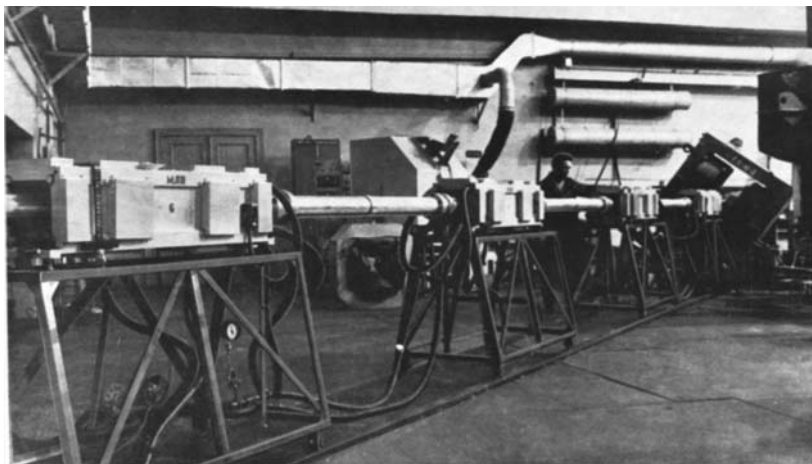


Рис. 8. Внешний вид протонного канала

смогли помочь Исааку Яковлевичу. Но много позже Лев Иосифович Лапидус выразил нашу общую благодарность ему словами: «... на всю жизнь сохранию в памяти его "спасибо" за наши инициативные действия по организации исследования возможности лечения онкологических больных с помощью ускоренных протонов в последний год жизни И. Я. Померанчука. Его внимание и личный контакт с В. А. Кириллиным были очень важны для развития этого направления в нашей стране» [5] *.

В начале 1967 г. были определены основные параметры созданного пучка. Внешний вид фокусирующего канала показан на рис. 8. Включение линз канала на порядок величины увеличивало полную интенсивность пучка на выходе канала (рис. 9), а плотность потока возрастала в 40–50 раз. Были измерены основные характеристики полученного пучка. На выходе пучок имел диаметр 4–5 см, угловую расходимость $\pm 1^\circ$ и полную интенсивность $4,5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ при энергии 160 МэВ. Были измерены кривые Брэгга при различных настройках канала (рис. 10, 11). Мощность дозы излучения в брэгговском максимуме составляла около 150 рад/мин [6–9].

Еще в 1966 г. был организован сектор медицинского протонного пучка ЛЯП под руководством О. В. Савченко. При создании сектора в него, кроме самого Савченко, вошли три техника и механика из состава сектора Л. М. Со-

* Лев Иосифович, действительно, всегда сохранял благодарную память о И. Я. Померанчуке. Уже в середине 1980-х, как-то зайдя в мою служебную комнату (31-я комн., 3-й корп. ЛЯП), он сказал: «Владимир Иванович, знаете ли Вы, что в будущем на стене около Вашей комнаты поместят мемориальную доску со словами: "В этой комнате в 1950-х гг. XX столетия работал академик И. Я. Померанчук"?».

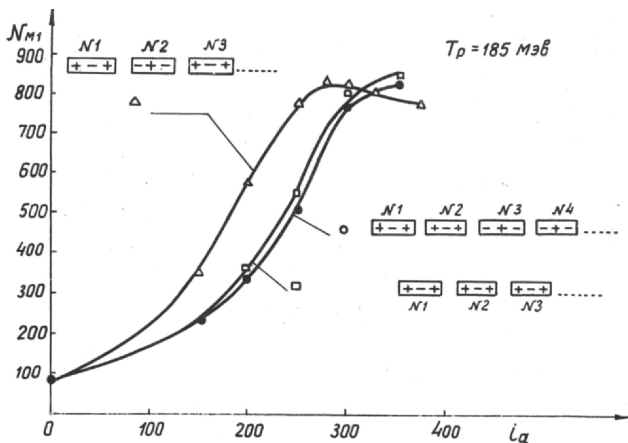


Рис. 9. Относительное увеличение полной интенсивности заторможенного пучка протонов на выходе протонного канала в зависимости от тока возбуждения при различных способах включения линз. Кривая Δ соответствует способу, при котором плоскости фокусировок последовательно чередуются (верхняя схема рис. 6)

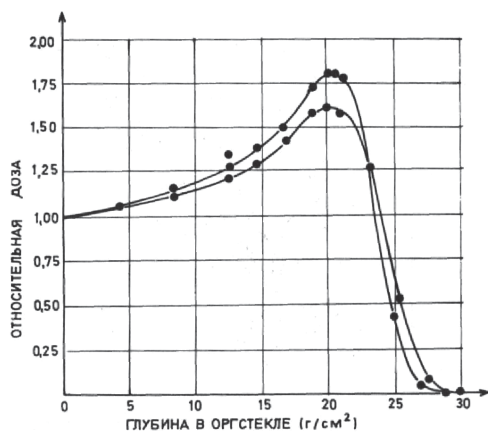


Рис. 10. Кривые Брэгга для пучка с энергией 185 МэВ. Верхняя кривая получена при установке щелевых коллиматоров до и после отклоняющего магнита

роко. В. И. Комаров остался в секторе Сороко, поскольку планировал вернуться к физическим исследованиям после окончания мобилизационного периода создания медико-биологического комплекса. Вскоре были приняты на работу в секторе выпускники физических и физико-технических институтов Москвы Б. Б. Бугарчев, а затем В. И. Абазов, А. Г. Молоканов, Г. П. Решетников, В. П. Стекольников, Е. С. Кузьмин. В 1967 г. с участием сотрудников

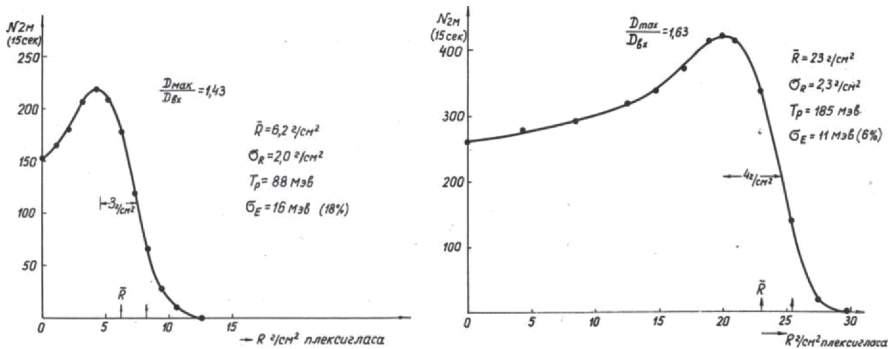


Рис. 11. Брэгговские кривые заторможенного пучка на выходе фокусирующего канала при оптимальных значениях его параметров: энергии протонов 88 и 185 МэВ

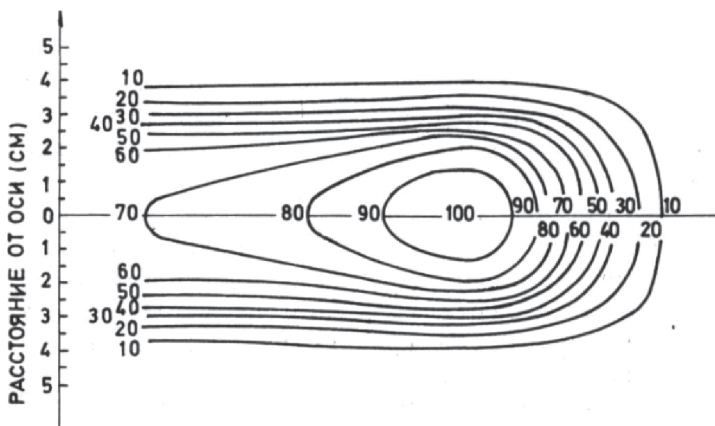


Рис. 12. Изодозная карта протонного пучка с энергией 167 МэВ в гомогенном тканеэквивалентном фантоме (диаметр коллиматора 50 мм)

отдела электроники ЛЯП был создан первый комплект дозиметрической аппаратуры и сняты изодозные карты на гомогенном тканеэквивалентном фантоме [10] (рис. 12). Было продемонстрировано преимущество дозиметрических характеристик протонного пучка ЛЯП ОИЯИ по сравнению с получаемыми при других видах излучения, используемых в лучевой терапии [8] (рис. 13). Этот объем работ и облучение животных позволили в том же году провести первые клинические облучения больных и получить информацию об эффективности терапии различных онкологических заболеваний на протонном пучке. В работе [11] суммировалось: «Результаты клинических исследо-

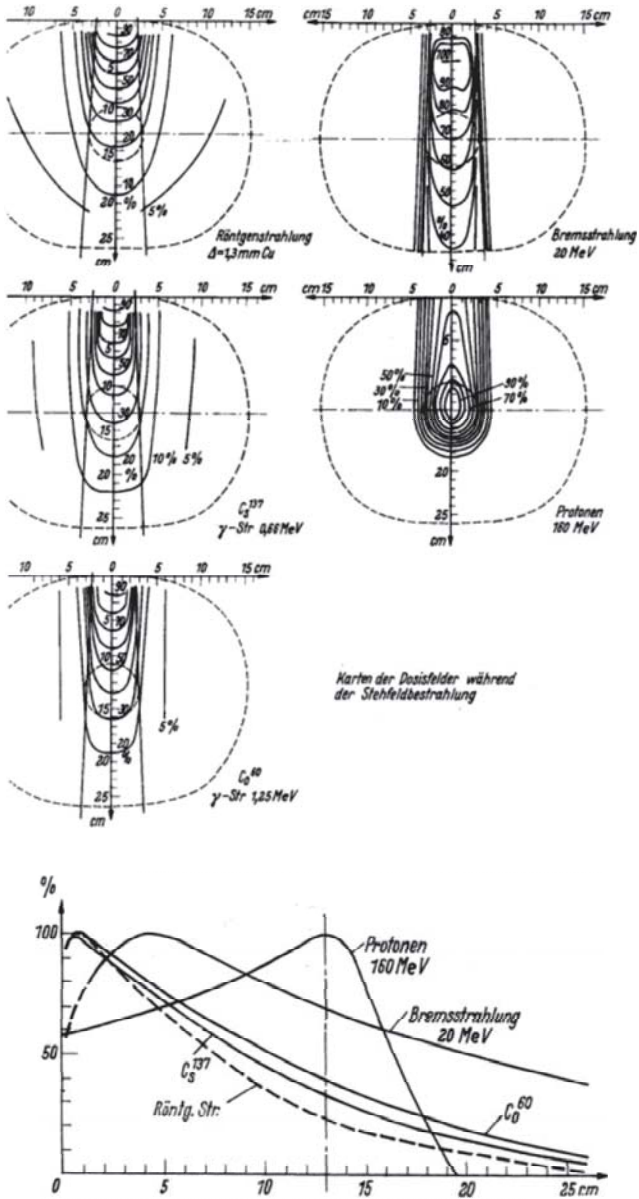


Рис. 13. Сравнительные дозиметрические характеристики при различных видах излучения, используемых в лучевой терапии



Рис. 14. В процедурной. О. В. Савченко, В. П. Дзепов, А. И. Рудерман



Рис. 15. Активные создатели медицинского пучка — коллектив механических мастерских производственно-технического отдела ЛЯП



Рис. 16. Начальник производственно-технического отдела К. А. Байчер

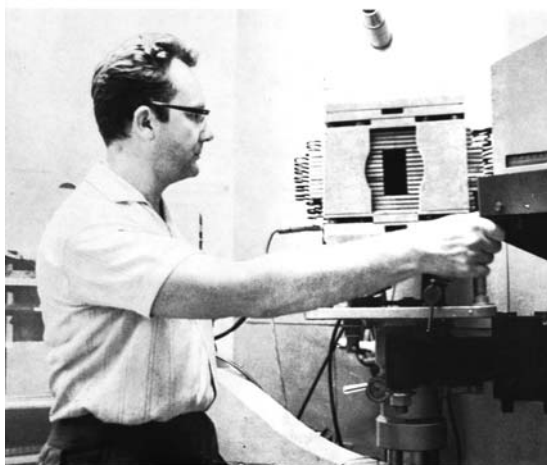


Рис. 17. Лидер создания медико-биологического комплекса О. В. Савченко

ваний показали целесообразность использования протонов высокой энергии для облучения злокачественных опухолей. Протонная терапия приводит к существенно меньшим, чем при традиционных методах лучевой терапии, общим

лучевым нагрузкам, не вызывая общих реакций, и сулит более благоприятные клинические результаты. Изменения опухолевых тканей и непосредственные реактивные явления адекватны поглощенной дозе излучения и могут служить основой при планировании лучевого лечения рака различных локализаций».

Следует отметить, что выполнение начальных работ по созданию медико-биологического комплекса происходило при высоком уровне энтузиазма всех участников работ (рис. 14–18).

В августе 1971 г. создание медицинского протонного пучка в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ было отмечено медалью ВДНХ СССР (рис. 19).



Рис. 18. Создатели и пользователи медико-биологического комплекса (справа налево) — А. И. Рудерман, Л. И. Липидус, В. П. Джелепов, О. В. Савченко, М. Ш. Вейнберг, С. П. Ярмоненко



Рис. 19. Медаль ВДНХ СССР (1971 г.) за создание медицинского протонного пучка на синхроциклотроне ОИЯИ

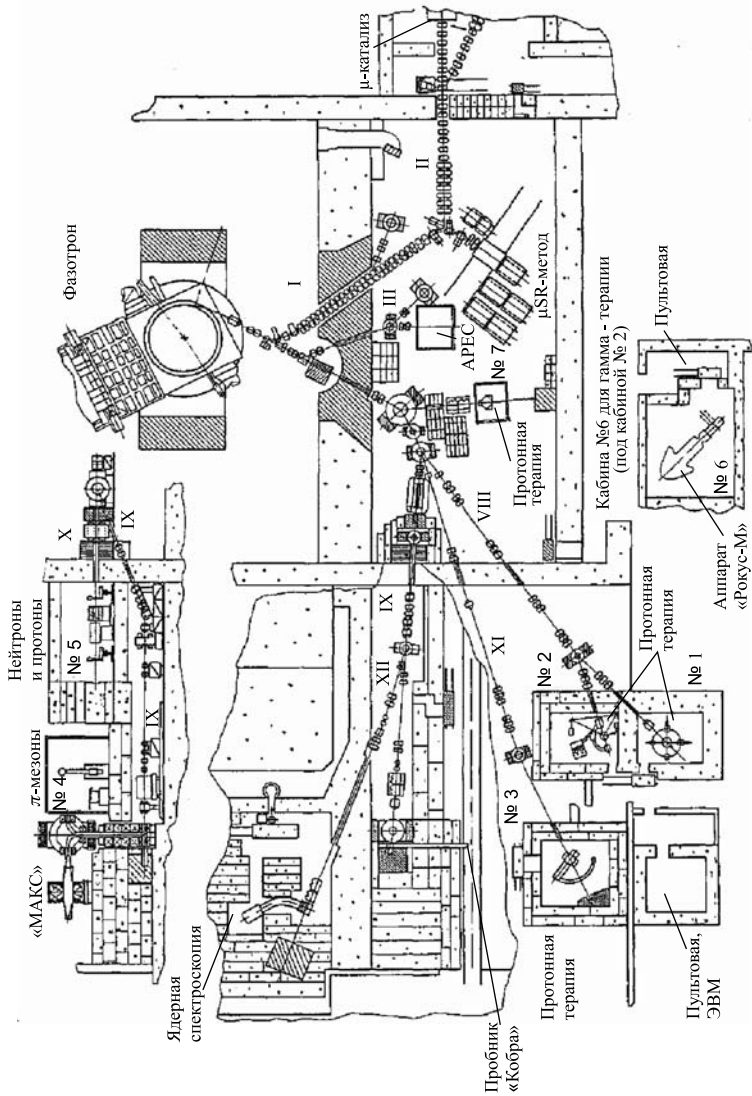


Рис. 20. Общая схема расположения шестиканального медико-биологического комплекса в 1985 г.

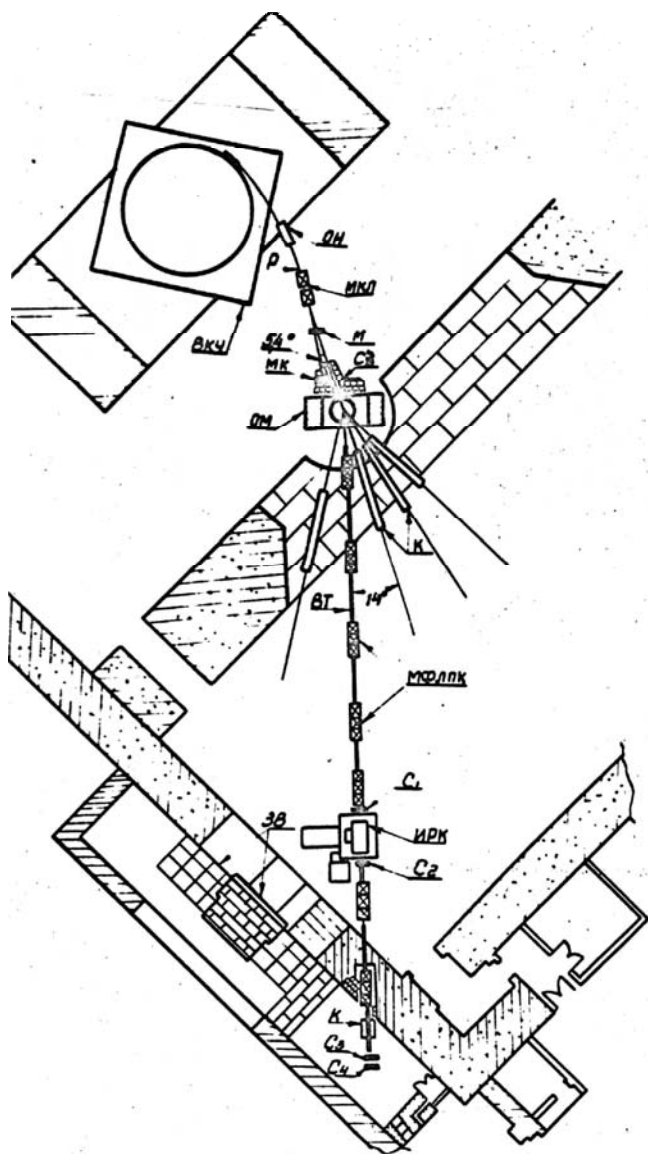


Рис. 21. Схема расположения детекторов для проведения физических экспериментов на протонном канале: С1–С4 — сцинтилляционные счетчики измерения полной энергии и удельных потерь энергии регистрируемых частиц; ИРК — изотропная разрядная камера, газоразрядная трековая камера для измерения координат треков частиц и их ионизирующей способности

Развитие работ на протонном пучке ЛЯП ОИЯИ в начале 1970-х гг. описано в ряде публикаций [12, 13]. В течение этого начального периода регулярно, два раза в неделю, на ускорителе проводились сеансы облучения пациентов и лучевое лечение было проведено 84 пациентам [13, 14].

Работа была приостановлена в 1974 г. при реконструкции синхротрона, но в то время под руководством О. В. Савченко шла подготовка нового шестиканального комплекса, который был открыт в 1985 г. (рис. 20). Описание этого и следующего Медико-технического комплекса выходит за рамки настоящей публикации. Краткий обзор этой успешной деятельности лаборатории вплоть до настоящего времени можно найти в [15].

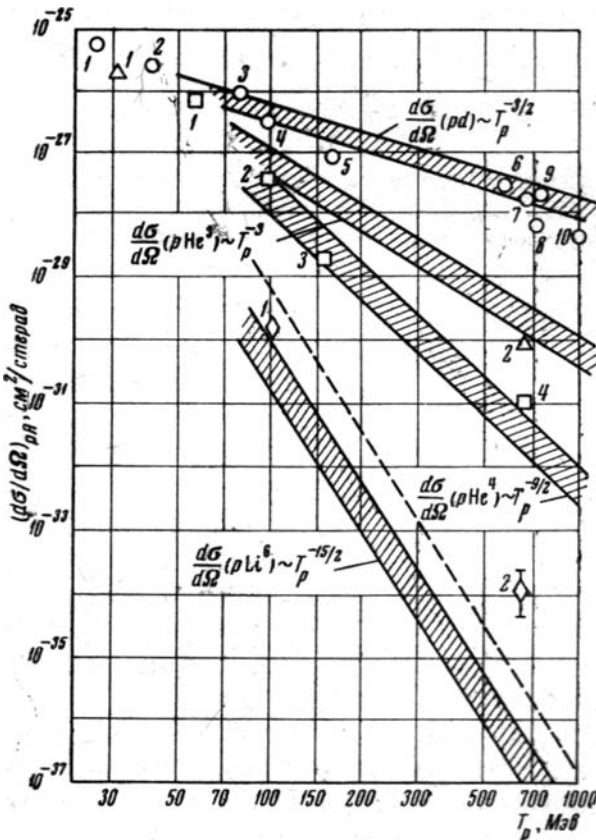


Рис. 22. Энергетическая зависимость дифференциального сечения упругого рассеяния быстрых протонов назад. Измерения [19] группы ЛЯП на пучке медико-биологического комплекса: Δ 2 — $p^3\text{He}$; \square 4 — $p^4\text{He}$; \diamond 2 — верхняя граница сечения $p^6\text{Li}$

В заключение имеет смысл напомнить, что новые возможности, появившиеся в лаборатории при создании протонного канала, были использованы и для физических исследований. Канал позволял собирать в 4-й лаборатории систему детекторов для регистрации частиц, генерируемых протонным пучком в мишени непосредственно вблизи ускорителя, там, где при медицинских сеансах располагается замедлитель (рис. 21). Таким способом обеспечивалась эффективная регистрация частиц при их надежной идентификации и значительном подавлении фона, при высокой светимости в экспериментах. Это позволяло исследовать процессы с весьма низкими дифференциальными сечениями вплоть до $\sim 0,1$ нб/ср. Особый интерес в 1960–1970-х гг. вызывало исследование упругого рассеяния быстрых протонов назад легкими ядрами и малонуклонными группами в ядрах. Этот интерес возник в связи с открытием группой М. Г. Мещерякова квазиупругого выбивания дейтронов протонами с энергией 675 МэВ [16]. Феномен был интерпретирован Д. И. Блохинцевым как проявление рассеяния частиц высокой энергии на флуктуациях плотности ядерного вещества, флуктонах [17]. Возникал интригующий вопрос о возможности существования более тяжелых, трех- и четырехнуклонных

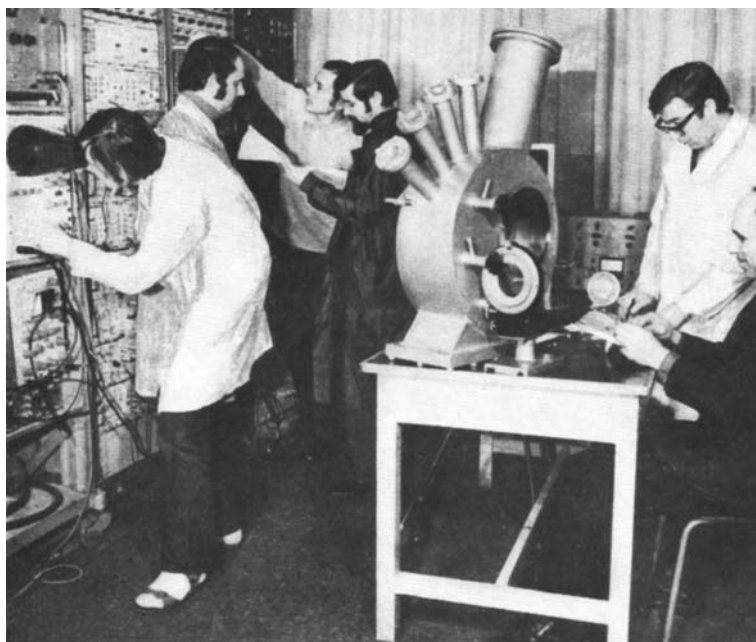


Рис. 23. Экспериментаторы на сеансе физических измерений с использованием магнитного фокусирующего канала (слева направо): З. Теш, Т. Штилер, В. И. Комаров, Г. Мотц, А. Г. Молоканов, Г. Е. Косарев

флуктонов. Чтобы ответить на него, надо было измерить сечения рассеяния назад протонов на ядрах ^3He и ^4He . Такое измерение было сделано В. И. Комаровым и О. В. Савченко в 1968 г. с использованием протонного канала [18, 19] (рис. 22), за чем последовало открытие квазиупругого выбивания из ядер ^3He - и ^4He -фрагментов [20]. Целая серия экспериментов в этом направлении была затем проведена на канале группой физиков ЛЯП и немецких физиков [21] (рис. 23).

Подводя итог, можно сказать, что успешная работа, проведенная в высоком темпе при создании медико-биологического комплекса на синхротроне ОИЯИ, и полвека спустя остается достойным примером научно-технической активности, обусловленной высокой мотивацией и четкой организацией работ.

Автор заранее приносит извинения сотрудникам, отделам и учреждениям, упоминание вклада которых, возможно, оказалось недостаточным либо упущенным. Настоящая публикация обязана своим появлением В. А. Беднякову, проявившему интерес к истокам медико-биологических исследований в Лаборатории ядерных проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wilson R.R.* Radiobiological Use of Fast Protons // *Radiology*. 1948. V.41. P.481.
2. *Рудерман А.И.* Начало протонной терапии в СССР // *Воспоминания о И. Я. Померанчуке*. М.: Наука, 1988. С. 181.
3. *Василевский И.М., Комаров В.И., Савченко О.В.* Формирование пучка протонов с энергией $100 \div 200$ МэВ для изучения возможности использования протонов в лучевой терапии онкологических больных и предварительные результаты дозиметрии. Препринт ОИЯИ Б1-2749. Дубна, 1966.
4. *Савченко О.В.* Проект экспериментально-клинического помещения и фокусирующего протонного канала в корпусе синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для проведения медико-биологических исследований по теме «Изучение возможности использования протонных пучков в лучевой терапии онкологических больных». Препринт ОИЯИ Б1-2748. Дубна, 1966.
5. *Лапидус Л.И.* И. Я. Померанчук в Дубне, которая тогда так не называлась // *Воспоминания о И. Я. Померанчуке*. М.: Наука, 1988. С. 116.
6. *Джелепов В.П., Комаров В.И., Савченко О.В.* Создание возможностей для проведения на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ исследований по лучевой терапии и другим медико-биологическим проблемам. Препринт ОИЯИ 16-3491. Дубна, 1967.
7. *Джелепов В.П., Комаров В.И., Савченко О.В.* Вывод протонного пучка синхротроне с энергией 100–200 МэВ для медико-биологических исследований // *Медицинская радиология*. Т. 4. М., 1969. С. 54.

8. Вайнберг М. Ш., Комаров В. И., Савченко О. В. Сравнительные дозиметрические характеристики статического облучения для протонного пучка ЛЯП ОИЯИ и других используемых в лучевой терапии видов излучения // Материалы Симпозиума по клинической дозиметрии. Л., 1969. С. 27.
9. Vainberg M. S., Komarov V. I., Savchenko O. V. Ein Vergleich der dosimetrischen Charakteristika fur das medizinische Protonenbundel des Laboratoriums fur Kernprobleme des Vereinigten Kernforschungsinstituts (LJaP OIJaI) bei der Stehfeldbestrahlung und fur Quantenstrahlungen // Radiobiologia · Radiotherapia. 1970. Bd. 11. S. 1.
10. Борейко В. Ф., Бугарчев Б. Б., Вейнберг М. Ш., Валувев Ю. М., Джелепов В. П., Калинин А. И., Комаров В. И., Краснобородов Б. С., Савченко О. И., Стекольников И. П., Шаранов Б. Н. Создание возможности для проведения на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ исследований по лучевой терапии и другим медико-биологическим проблемам // Радиационная медицина: Тез. докл. на Всесоюзн. науч.-техн. конф. М.: Атомиздат, 1968.
11. Блохин Н. Н., Гольдин Л. Л., Джелепов В. П., Рудерман А. И., Астрахан Б. В., Бугарчев Б. Б., Вайнберг М. Ш., Комаров В. И., Ломанов М. Ф., Минакова Е. И., Оносовский К. К., Савченко О. В., Хорошков В. С. Применение протонных пучков в СССР для медико-биологических целей // Proc. of Fourth United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, 1971.
12. Abazov V. I., Astrakhan B. V., Blokhin N. N., Blokhin S. I., Bugarchov B. B., Dzheleпов V. P., Goldin L. L., Kiseleva V. N., Komarov V. I., Kleinbock Y. L., Khoroshkov V. S., Lomanov M. F., Minakova E. I., Molokanov A. G., Onosovskiy K. K., Pavlonsky L. M., Ruderman A. I., Reshetnikov G. P., Salamov R. F., Shtakova N. L., Savchenko O. V., Stekolnikov V. P., Shimchuk G. G., Veinberg M. S., Vajnsou A. A., Yarmonenko S. P. JINR, E-5854. Dubna, 1971.
13. Медицинский протонный пучок ЛЯП ОИЯИ / Под ред. В. П. Джелепова и А. И. Рудермана. Сообщение ОИЯИ 7287. Дубна, 1973.
14. Джелепов В. П., Абазов В. М., Комаров В. И., Кузьмин Е. С., Решетников Г. П., Савченко О. В., Череватенко Е. П., Рудерман А. И., Астрахан Б. В., Вайнберг М. Ш. Параметры медицинского протонного пучка Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и исследования по его клиническому применению // Протонные пучки высоких энергий и лучевая терапия злокачественных опухолей. Дубна, 1975. С. 21.
15. На пучке первого ускорителя ОИЯИ // Дубна: наука, содружество, прогресс. 2017. №49.
16. Аджирей Л. С., Взоров И. К., Зрелов В. П., Мещеряков М. Г., Неганов Б. С., Шабудин А. Ф. Выбивание дейтронов из ядер Li, Be, C и O протонами с энергией 675 МэВ // ЖЭТФ. 1957. Т. 33. С. 1185.
17. Блохинцев Д. И. О флуктуациях ядерного вещества // ЖЭТФ. 1957. Т. 33. С. 1295.

18. *Комаров В. И., Савченко О. В.* Упругое $p\text{He}^4$ рассеяние назад при энергии протонов 665 МэВ. Препринт ОИЯИ Р1-3720. Дубна, 1968.
19. *Комаров В. И., Савченко О. В.* Упругое рассеяние быстрых протонов назад на легких ядрах // ЯФ. 1970. Т. 12. С. 1229.
20. *Комаров В. И., Косарев Г. Е., Савченко О. В.* Выбивание быстрых He^3 и He^4 фрагментов из легких ядер протонами с энергией 665 МэВ // ЯФ. 1970. Т. 11. С. 711.
21. *Komarov V. I., Kosarev G. E., Kuzmin E. S., Molokanov A. G., Reshetnikov G. P., Savchenko O. V., Tesch S.* Production of fast fragments by bombarding light nuclei with intermediate-energy protons // Nucl. Phys. A. 1976. V. 256. P. 362.

Получено 5 июня 2018 г.

Редактор *Е. В. Калининкова*

Подписано в печать 13.09.2018.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,64. Тираж 195 экз. Заказ № 59492.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/