



Сильноточный линейный ускоритель протонов и отрицательных ионов водорода ИЯИ РАН является единственным в России ускорителем данного класса. В настоящее время это самый мощный линейный ускоритель ионов водорода во всем Евразийском регионе. Описана история создания сильноточного линейного ускорителя, его устройство, информация о проводимых на нем работах и достижениях.



Федеральное
государственное
бюджетное
учреждение
науки

Институт
ядерных
исследований
Российской
академии
наук



Уникальная
научная установка

Сильноточный линейный ускоритель ионов водорода ИЯИ РАН

аналитическая
справка

2016

Федеральное
государственное
бюджетное
учреждение
науки

Институт
ядерных
исследований
Российской
академии
наук



Уникальная
научная установка

**Сильноточный
линейный ускоритель
ионов водорода
ИЯИ РАН**

аналитическая
справка

2016



Этапы строительства
сильноточного
линейного
ускорителя
ионов водорода



Сильноточные ускорители на средние энергии предназначены для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований в области физики атомного ядра и элементарных частиц, нейтронной физики, ядерной энергетики, материаловедения, медицины и иных областях. Ускорители

входят в состав исследовательских комплексов, которые помимо собственно ускорителей включают экспериментальные установки, а также другую научную и инженерную инфраструктуру. Линейный ускоритель ионов водорода ИЯИ РАН является основой комплекса, получившего в свое время название **Московская мезонная фабрика**. В последние годы, в связи с изменением научных задач, используется и другое название — **Комплекс сильноточного линейного ускорителя ионов водорода ИЯИ РАН**.

- 1970 Постановление правительства СССР и ЦК КПСС о создании Института ядерных исследований (ИЯИ АН СССР) и сооружении линейного ускорителя в г. Троицке.
- 1972 Разработка технического проекта технологической части ускорителя
- 1988 Получение первого ускоренного до энергии 20 МэВ пучка
- 1990 Получение пучка, ускоренного до энергии 100 МэВ
- 1991 Получение пучка, ускоренного до энергии 160 МэВ
- 1992 Получение пучка, ускоренного до энергии 250 МэВ
- 1993 Начало регулярной работы на физические и прикладные задачи
- 1996 Получение пучка, ускоренного до энергии 502 МэВ
- 2001 Присуждение премии Правительства РФ в области науки и техники за разработку и сооружение ускорителя
- 2012 Проведение сотого сеанса работы ускорителя
- 2015 Проведено 118 сеансов работы ускорителя общей продолжительностью 43300 часов.





▲ Рис.1. Комплекс сверхточного линейного ускорителя

Данный исследовательский комплекс (рис. 1) расположен в Москве в городе Троицке и включает в себя:

- ◆ сверхточный линейный ускоритель протонов и отрицательных ионов водорода, с проектной энергией до 600 МэВ, средним током пучка до 0,5 мА, импульсным током до 50 мА;
- ◆ экспериментальный зал с каналами первичных и вторичных частиц различной энергии, экспериментальными установками, системой диагностики пучков;
- ◆ нейтронный комплекс, включающий импульсный источник нейтронов с интенсивностью до 10^{15} н/с, спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце, комплекс нейтронографических, рентгеновских установок и мёссбауэровский спектрометр для исследования материалов;
- ◆ комплекс по производству радиоактивных изотопов для медицины и промышленности на участке промежуточного вывода протонного пучка с энергией 160 МэВ;
- ◆ комплекс лучевой терапии, включающий рентгеновский томограф, рентгеновскую облучательную установку, электронный ускоритель для гамма-облучения, канал протонного пучка.

Площадь земельного участка, который занимает комплекс, равна 73,44 гектара. Площадь помещений комплекса составляет 83371 квадратный метр. Балансовая стоимость — 7 122 643 851 рубль.

Основными направлениями и областями проводимых и перспективных исследований являются:

- ◆ физика элементарных частиц;
- ◆ ядерная физика;
- ◆ нейтронная физика;
- ◆ физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника;
- ◆ физика конденсированных сред и нано-структур;
- ◆ радиационное материаловедение;
- ◆ изучение перспективных материалов;
- ◆ радиационная стойкость материалов и приборов;
- ◆ развитие ядерных технологий;
- ◆ перспективные реакторы;
- ◆ управляемые подкритические системы (ADS);
- ◆ лучевая терапия.

Сооружение сверхточного линейного ускорителя ионов водорода на энергию 600 МэВ и средний ток 0,5 мА являлось одной из главных задач при создании Института ядерных исследований АН СССР (ныне РАН). Постановление правительства СССР и ЦК КПСС о создании Института и сооружении линейного ускорителя в г. Троицке было принято в 1970 году.

Разработка проекта такой уникальной электрофизической установки проводилась в СССР во взаимодействии ведущих НИИ и НПО в области физики и техники электрофизических установок, мощных ВЧ приборов и др. Главным разработчиком проекта являлся Радиотехнический (впоследствии Московский радиотехнический) институт. Системы инжекции и фокусировки пучка разработаны и изготовлены в НИИЭФА им. Д.В. Ефремова. Мощные усилительные ВЧ приборы изготавливались в НПО «Светлана» и НИИ «Титан». Проекты строительной части комплекса и систем энергоснабжения выполнены ГСПИ и ВНИПИ ТПЭП.

Созданный в ИЯИ РАН сверхточный линейный ускоритель ионов водорода относится к группе уникальных установок национального и международного значения, является единственным в России ускорителем данного класса и самым крупным линейным ускорителем ионов водорода в Евроазиатском регионе. На основе сверхточных линейных ускорителей ионов водорода такого класса в США работают Лос-Аламосский центр нейтронных исследований (LANSCe) и самый мощный в настоящее время источник нейтронов (ORNL SNS). Завершена модернизация линейного ускорителя исследовательского ускорительного комплекса (J-PARC), Япония. Начато сооружение линейных ускорителей такого класса в Швеции

для Европейского нейтронного источника (ESS) и в Китае для исследований по управляемым подкритическим системам (ADS).

Сильноточный линейный ускоритель ИЯИ РАН

Структурная схема сильноточного линейного ускорителя представлена на рис.2.

Сильноточный линейный ускоритель ионов ИЯИ РАН включает:

- ◆ два инжектора: инжектор протонов (рис. 3) и инжектор отрицательных ионов водорода,
- ◆ инжекционные тракты (рис. 4),
- ◆ начальную часть ускорителя до энергии 100 МэВ,
- ◆ основную часть ускорителя до энергии 600 МэВ.

Инжекторы протонов (H^+) и отрицательных ионов водорода (H^-) состоят из:

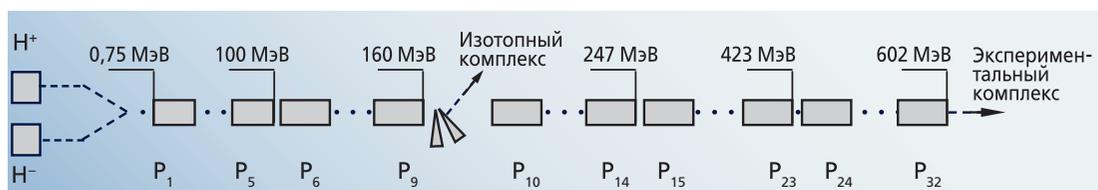
- ◆ ионных источников с системами питания,
- ◆ систем формирования и ускорения пучков до 400 кэВ.

Источником протонов является дуоплазматрон, работающий с частотой повторения импульсов до 100 Гц, длительностью импульсов до 200 мкс и током в импульсе до 100 мА. Ускоряющее напряжение 400 кВ формируется с помощью высоковольтного импульсного трансформатора.

Недавно сотрудниками ИЯИ РАН проведена модернизация системы формирования пучка протонов с целью повышения стабильности работы инжектора, увеличения тока ионов при одновременном улучшении согласования эмиттанса пучка с акцептансом инжекционного тракта. Управление инжектором протонов автоматизировано и осуществляется с удаленного пульта управления.

В инжекторе отрицательных ионов водорода используется поверхностно-плазменный источник отрицательных ионов водорода с разрядом Пеннинга.

Начальная часть ускорителя состоит из бустерного ускоряющего резонатора с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой



▲ Рис.2. Структурная схема линейного ускорителя (P1...P32 — ускоряющие резонаторы)



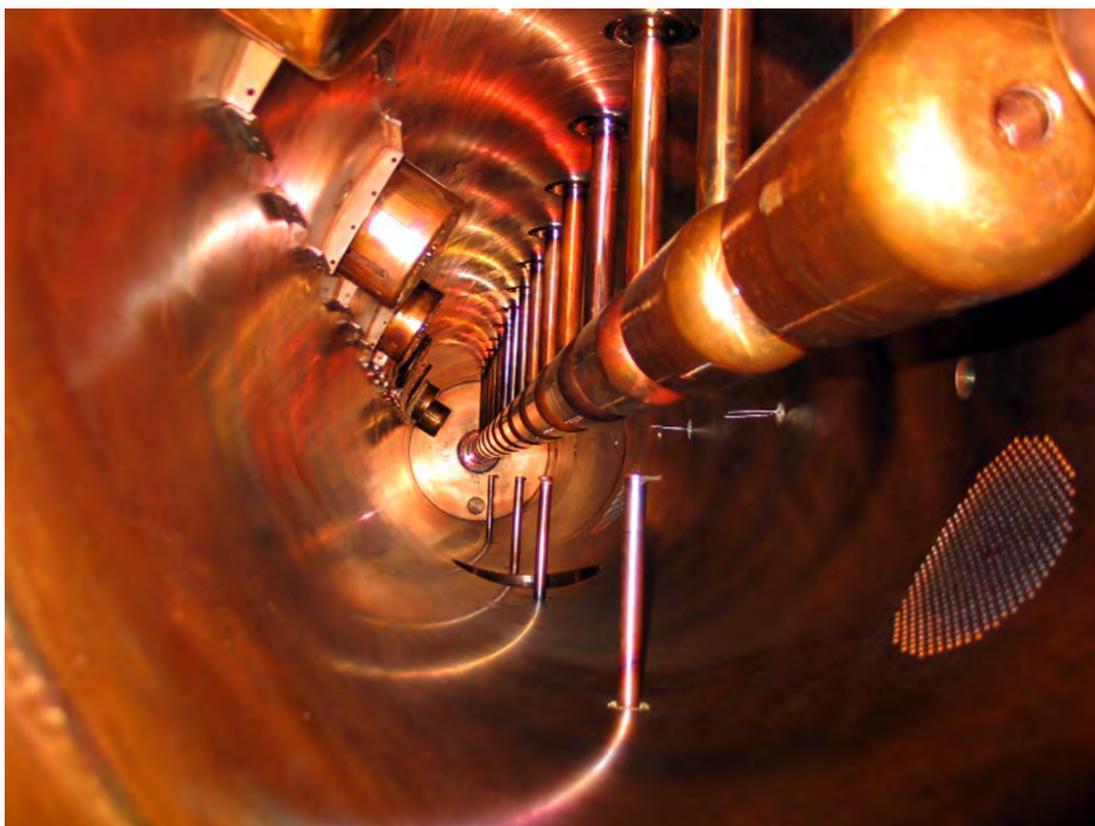
▲ Рис.3. Инжектор протонов линейного ускорителя



▲ Рис.4. Инжекционные тракты протонов (слева) и ионов H- (справа)



▲ Рис.5. Ускоряющие резонаторы с трубками дрейфа начальной части (100 МэВ)



▲ Рис.6. Внутренний вид резонаторов с трубками дрейфа начальной части

и пяти ускоряющих резонаторов с трубками дрейфа, работающих на частоте 198,2 МГц. Корпуса резонаторов выполнены по уникальной технологии из триметалла. Вид ускоряющих резонаторов с трубками дрейфа снаружи и внутри представлен на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Система высокочастотного питания ускоряющих резонаторов включает семь каналов усиления, один из которых резервный, с выходной импульсной мощностью до 3 МВт.

В ускоряющей системе основной части ускорителя на частоте 991 МГц применена ускоряющая структура с проводящими шайбами и диафрагмами.

Система имеет общую длину около 300 метров, и состоит из 27 четырехсекционных и одного двухсекционного согласующего резонатора. Ускоряющие секции включают в себя от 18 до 27 модулей ускоряющей структуры, один из которых показан на рис. 7.

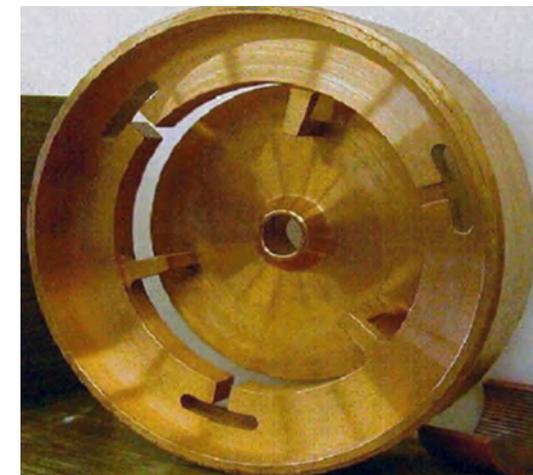
Весь объем работ по созданию ускоряющей системы основной части, начиная с высокотехнологичных этапов точной обработки модулей и высокотемпературной пайки секций и заканчивая наукоемкими этапами ВЧ настройки секций и резонаторов, ВЧ тренировки и запуска системы с пучком в целом, был выполнен сотрудниками ИЯИ РАН.

Система высокочастотного питания основной части включает 31 канал усиления, на основе клистронов КИУ-40 с выходной импульсной мощностью 4,7 МВт.

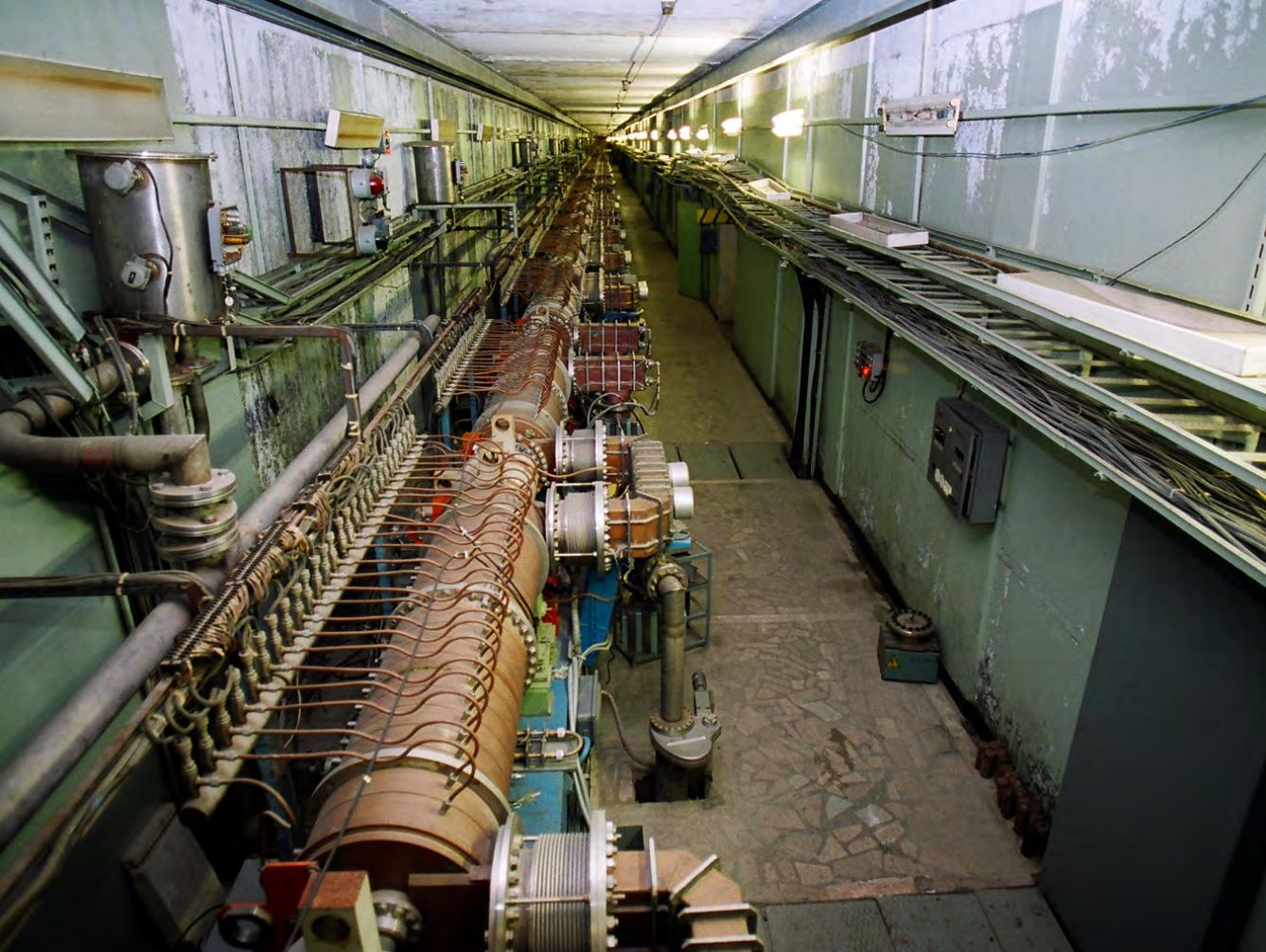
Фотографии ускоряющей структуры и галереи высокочастотного питания приведены на рис. 8

На участке 160 МэВ предусмотрен промежуточный вывод пучка, что позволяет направлять пучок в сооруженный комплекс по наработке радиоизотопов (рис. 9). Сочетание таких параметров входного пучка как интенсивность, энергия и глубина возможной их регулировки обеспечивает уникальные возможности радиоизотопного комплекса по широте ассортимента и качеству производства радионуклидов медицинского назначения.

Управление ускорителем осуществляется с центрального пульта ускорителя (рис. 10).



▲ Рис.7. Модуль ускоряющей структуры с шайбами и диафрагмами



Основные проектные, достигнутые и текущие параметры ускорителя приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры ускорителя

| Параметр | Проект | Достигнуто | Состояние на 2015 год |
|----------------------------|--------|------------|-----------------------|
| Энергия, МэВ | 600 | 502 | 209 |
| Импульсный ток, мА | 50 | 16 | 12 |
| Частота повторения, Гц | 100 | 50 | 50 |
| Длительность импульса, мкс | 100 | 0,3÷200 | 0,3÷200 |
| Средний ток, мкА | 500 | 150 | 120 |

Информация о работе ускорителя

Со времени начала регулярной работы ускорителя на физические и прикладные задачи в 1993 году по декабрь 2015 года проведено 118 сеансов, общей продолжительностью свыше 43300 часов. В таблице 2 приведена информация о работе ускорителя за 10 лет с 2006 по 2015 годы.

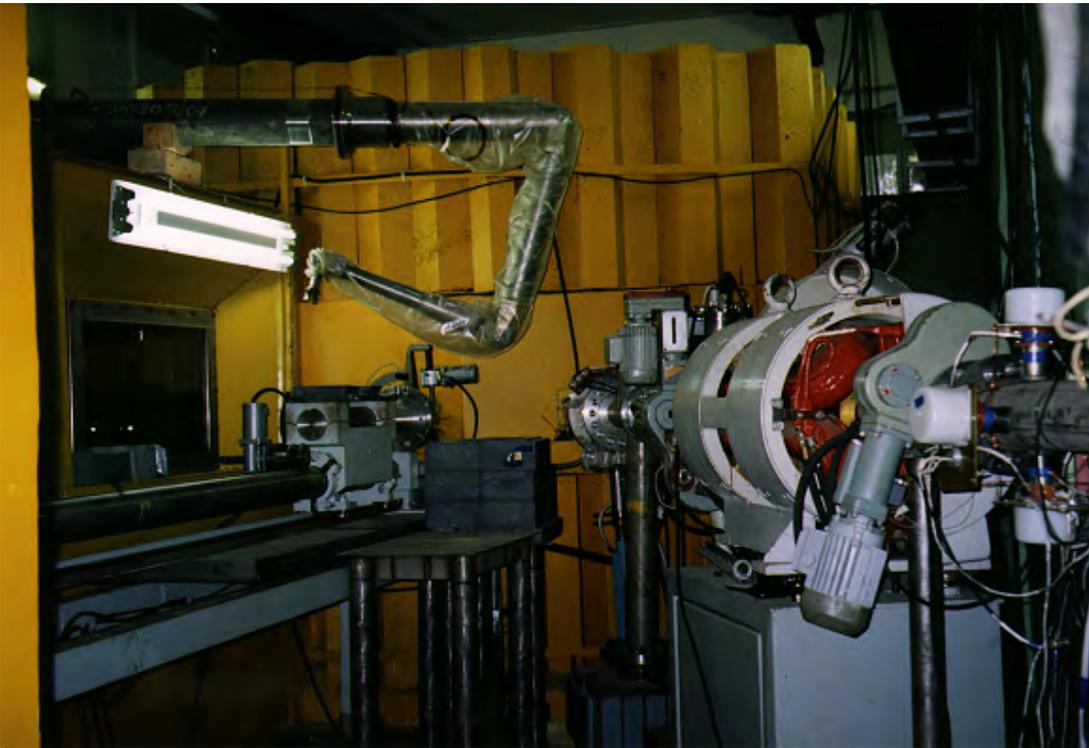
Таблица 2

В эти годы работы велись при энергии до 209 МэВ с интенсивностью в диапазоне от 100 нА до 120 мкА. С целью обеспечения работоспособности и улучшения параметров проводится непрерывная модернизация ускорителя и отдельных систем. Все работы ведутся в рамках реализации научных и инновационных проектов для решения проблем социально-экономического развития Российской Федерации.

| Год | Проведено сеансов | Наработка ускорителя, часы |
|-------|-------------------|----------------------------|
| 2006 | 7 | 2250 |
| 2007 | 7 | 2040 |
| 2008 | 5 | 1300 |
| 2009 | 6 | 1208 |
| 2010 | 7 | 1700 |
| 2011 | 5 | 1652 |
| 2012 | 5 | 1590 |
| 2013 | 4 | 1212 |
| 2014 | 5 | 1812 |
| 2015 | 5 | 1665 |
| Всего | 56 | 16429 |



◀ Рис.8. Основная часть ускорителя:
Ускоряющие резонаторы основной части ускорителя (вверху)
Галерея ВЧ питания основной части ускорителя (внизу)



▲ Рис.9 В помещении комплекса по наработке радиоизотопов



▲ Рис.10. Центральный пульт ускорителя

Возможности увеличения энергии и интенсивности пучка ускорителя

Реализуемые по состоянию на 2015 год значения энергии и интенсивности пучка обусловлены в основном доступностью мощных ВЧ приборов. С небольшими финансовыми и трудовыми затратами может быть решена задача увеличения энергии до 247 МэВ при токе пучка до 100 мкА.

Реалистичной, но с большим объемом необходимых работ, является задача увеличения энергии пучка до 305 МэВ при интенсивности пучка 50 мкА. Количество имеющихся в настоящее время в наличии клистронов КИУ-40 достаточно для получения энергии пучка 305 МэВ без резерва для замены вышедших из строя приборов. Увеличение энергии свыше 305 МэВ возможно при условии значительного увеличения финансирования и решения проблемы обеспечения кадрами.

Повышение интенсивности пучка до 100 мкА потребует модернизации системы импульсного питания клистронов с целью увеличения длительности ВЧ импульсов.

Увеличение частоты следования импульсов тока пучка до 100 Гц в основной части ускорителя в настоящее время ограничено низкой надежностью работы первого резонатора основной части ($100 \div 113$ МэВ). Это проявляется в возрастании числа ВЧ пробоев при увеличении частоты и длительности ВЧ импульсов. Для преодоления данной проблемы необходима разработка и изготовление нового резонатора.

Система разделения пучков, созданная на участке 160 МэВ, позволит подавать пучок с энергией 100 МэВ на комплекс по наработке изотопов, а ускоряемый до энергий свыше 100 МэВ — на экспериментальный комплекс.

Существует также реальная перспектива одновременной (через импульс) работы с пучками протонов и ионов H^- . При этом пучок протонов с энергией 100 МэВ может выводиться на комплекс по наработке изотопов, а пучок ионов H^- ускоряться до более высокой энергии и использоваться, например, для протонной терапии.

Для обеспечения более надежной работы ускорителя на установки в экспериментальном зале начата поэтапная модернизация каналов транспортировки пучка экспериментального комплекса, включая магнитную систему, вакуумную систему, систему диагностики пучка, систему измерения потерь пучка, систему контроля и управления, систему аварийной защиты и другие системы. Также необходимо создание единой системы контроля и управления ускорителя и экспериментального комплекса. Развернутые работы имеют реальную перспективу поэтапного выполнения для энергий

пучка до 305 МэВ. Для более высоких энергий необходима модернизация системы питания электромагнитных элементов, что потребует значительных финансовых затрат.

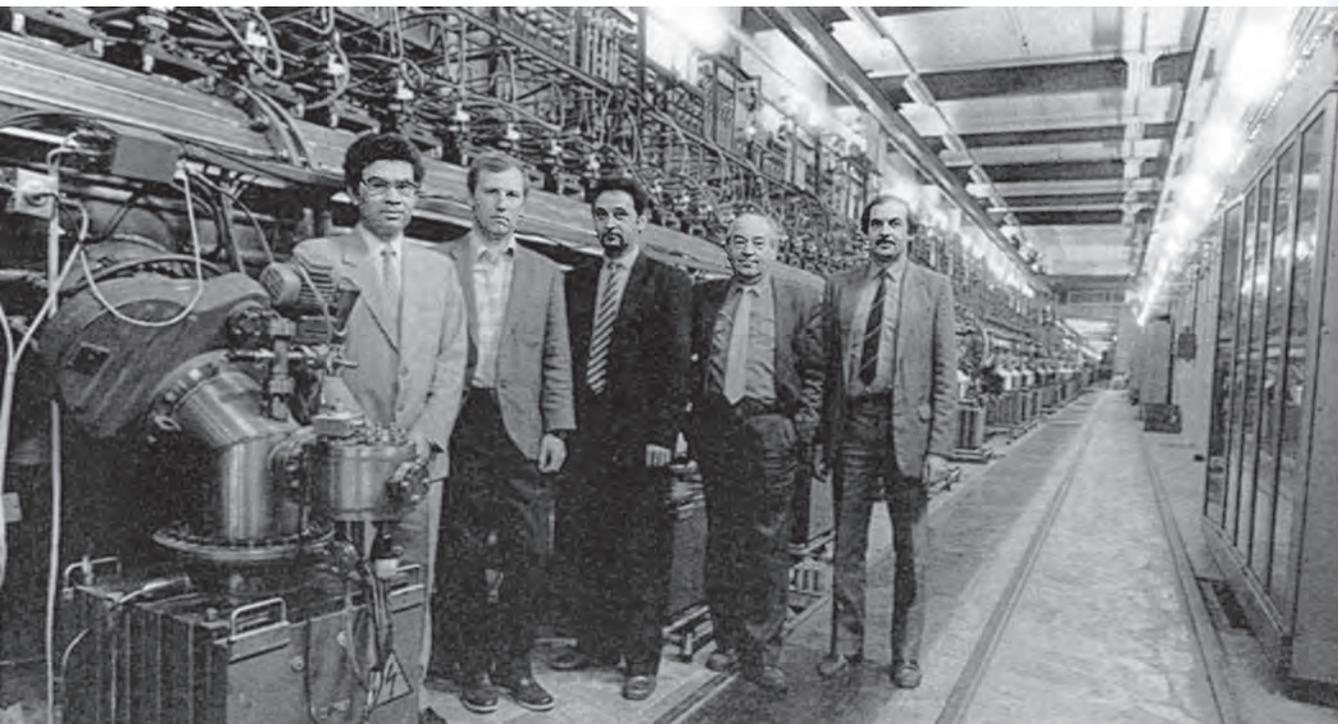
Персонал ускорителя

Работу и постоянную модернизацию ускорителя и каналов транспортировки пучков на экспериментальные установки обеспечивает отдел ускорительного комплекса ИЯИ РАН (ОУК). Функционирование инженерной инфраструктуры обеспечивается службами главного инженера Института.

В таблице 3 приведен состав ОУК (на декабрь 2015 года).

Следует подчеркнуть, что на ускорителе ощущается острый дефицит квалифицированных кадров, поэтому важнейшей задачей является привлечение как молодых, так и имеющих опыт специалистов.

Первым руководителем ОУК (с 1973 по 1998 г.) был доктор технических наук, профессор Сергей Константинович Есин. С 1998 по 1999 год отдел возглавлял доктор физ.-мат. наук Петр Николаевич Остроумов, а с 1999 года и по настоящий день отделом руководит доктор физ.-мат. наук Александр Владимирович Фещенко. Главным инже-



▲ Рис.11. В тоннеле ускорителя после запуска его начальной части и получения энергии пучка 100 МэВ, 1990 год.
Слева направо: П.Н. Остроумов, А.В. Фещенко, В.Л. Серов, С.К. Есин, Л.В. Кравчук

нером ОУК с 1975 года является Валерий Львович Серов. Следует также отметить, что и нынешний директор Института Леонид Владимирович Кравчук долгие годы являлся сотрудником ОУК и непосредственно внес существенный вклад в сооружение и развитие ускорителя.

Таблица 3. Персонал отдела ускорительного комплекса

| | |
|--|----|
| Доктора наук | 3 |
| Кандидаты наук | 6 |
| Научный персонал без ученой степени | 9 |
| Научно-технический и инженерный персонал | 58 |
| Рабочие | 4 |
| Всего | 80 |

Достижения и награды

Первый ускоренный до энергии 20 МэВ пучок был получен в 1988 году. Энергия 100 МэВ была получена в 1990 году, 160 МэВ — в 1991 году, 250 МэВ — в 1992 году. Началом регулярной работы на физические и прикладные задачи является 1993 год. Максимальная энергия



▲ Рис.12. Лауреаты премии Правительства РФ после награждения в Доме Правительства.
Слева направо: А.П. Федотов, Е.Д. Лебедев, С.К. Есин, В.А. Матвеев, Б.И. Бондарев, А.Н. Тавхелидзе, Н.И. Уксусов, Л.В. Кравчук, О.Д. Пронин, В.Л. Серов



Лауреат премии им. ак. М.А. Маркова С.К. Есин



Лауреат премии им. ак. М.А. Маркова и премии им. В.И. Векслера Л.В. Кравчук



Лауреат премии им. ак. М.А. Маркова А.В. Фещенко



Лауреат премии им. В.И. Векслера В.В. Парамонов



▲ Рис.13. Вручение премии Кубок Фарадея (Беркли, США, 1992 год)

502 МэВ была достигнута в 1996 году и определялась количеством имеющихся в наличии работающих клистронов КИУ-40. В дальнейшем, однако, из-за выхода из строя клистронов и невозможности приобретения в достаточном количестве новых приборов, энергия ускорителя снижалась, и с 2001 года работы ведутся при энергии 209 МэВ. Несмотря на это линейный ускоритель ИЯИ РАН и в настоящее время является крупнейшим линейным ускорителем протонов в Европе и одним из крупнейших в мире. В 2012 году был проведен юбилейный сотый сеанс работы ускорителя.

Работы по разработке, сооружению и вводу в научную эксплуатацию сильноточного линейного ускорителя протонов были отмечены премией Правительства РФ в области науки и техники 2001 года (рис. 12).

В 2008 году за большой вклад в развитие физики и техники ускорителей, создание и развитие сильноточного линейного ускорителя — основы комплекса Московской мезонной фабрики, была вручена премия имени академика М.А. Маркова. Лауреатами стали С.К. Есин, Л.В. Кравчук и А.В. Фещенко.

Премиями РАН имени В.И. Векслера за выдающиеся работы по физике ускорителей отмечены в 2006 г. к.ф.-м.н. А.С. Белов и д.ф.-м.н. А.Н. Зеленский за цикл работ «Создание высокоинтенсивных источников поляризованных ионов для ускорителей», а в 2015 г. — д.т.н. Л.В. Кравчук и д.ф.-м.н. В.В. Парамонов за цикл работ «Исследование, разработка сооружение и запуск ускоряющих структур».

В 1992 году за создание измерителя продольного распределения заряда в сгустках ускоренного пучка с использованием вторичных низкоэнергетических электронов с пикосекундным разрешением, оргкомитетом международного совещания по диагностике пучка была присуждена премия **Кубок Фарадея** д.ф.-м.н. Александру Владимировичу Фещенко. <http://www.faraday-cup.com/>



▲ Рис.14. Коллектив отдела ускорительного комплекса

Разработка и создание новых узлов и элементов ускорителей

В процессе сооружения, запуска, эксплуатации и модернизации ускорителя сотрудниками отдела был достигнут уникальный уровень понимания процессов в ускорителе и накоплен огромный опыт решения практических задач. Это обеспечило международное признание их авторитета и широкое применение их разработок не только в ИЯИ РАН, но и в ведущих ядерно-физических ускорительных научных центрах России и всего мира.

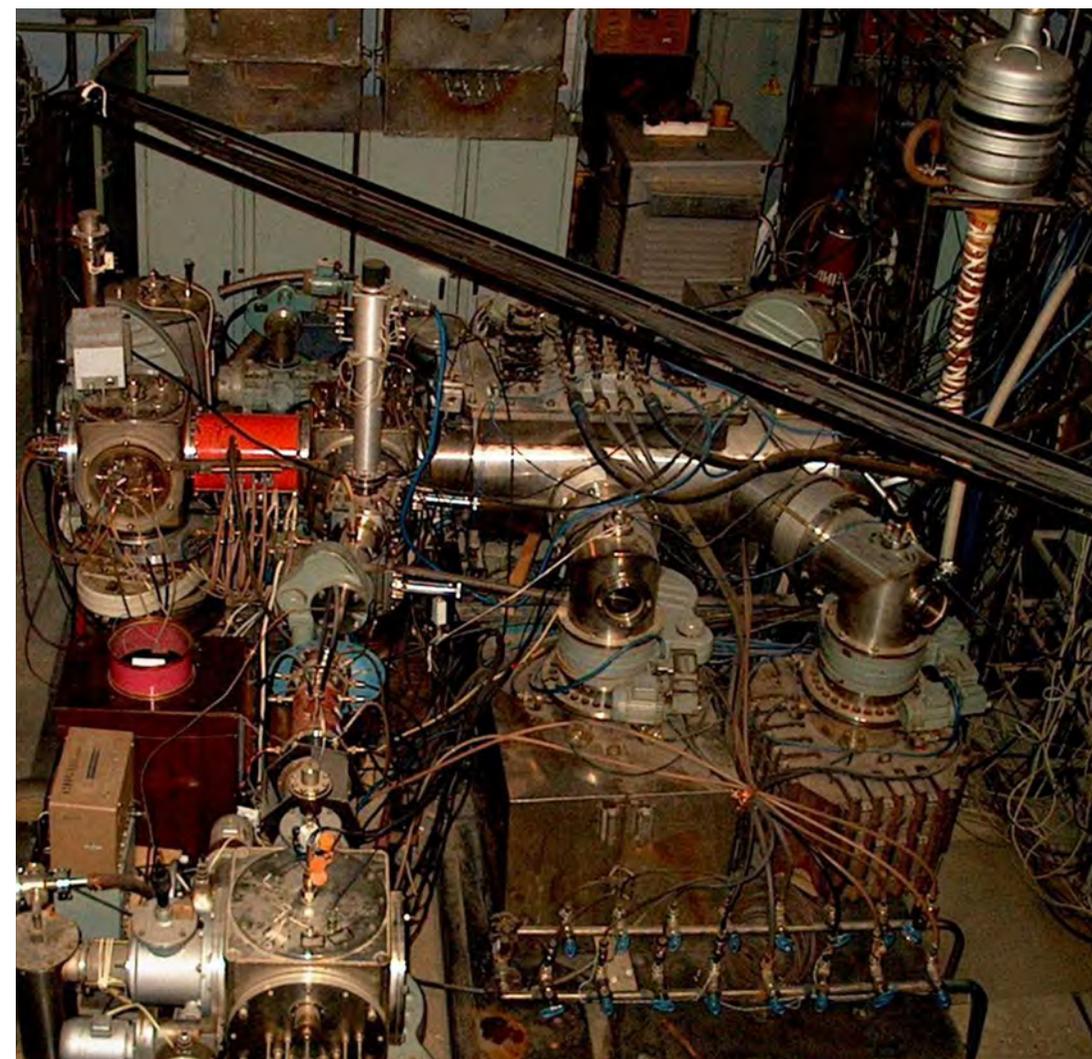
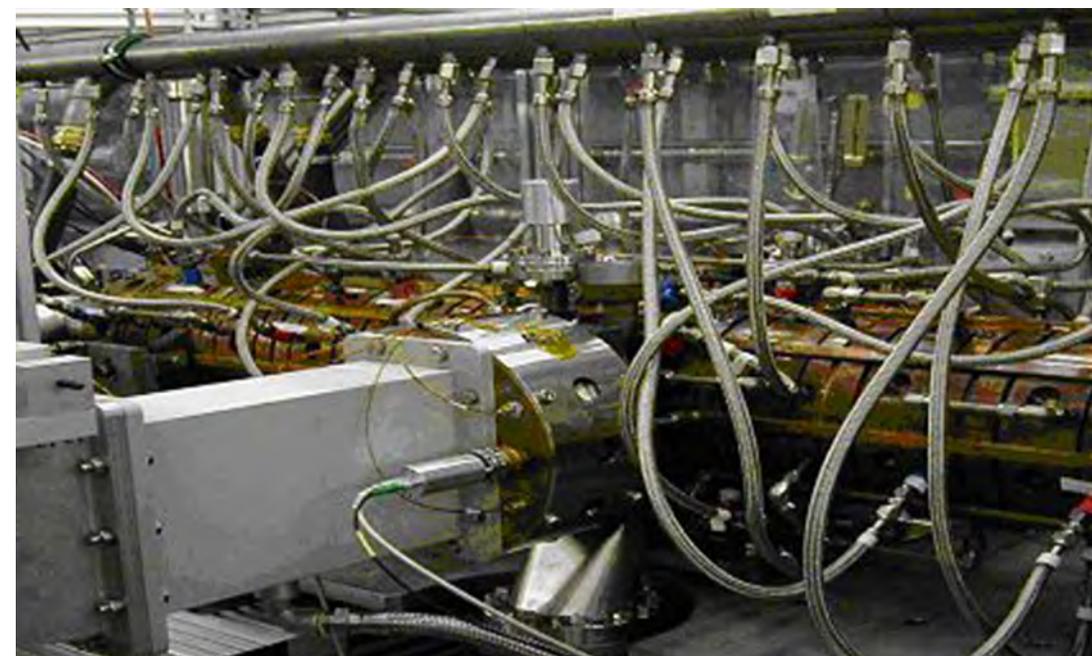
На ускорителе вырос ряд ученых, работающих в настоящее время в ускорительных центрах Европы (CERN, Jülich Research Centre, DESY) и Америки (ANL, ORNL, FNAL, TRIUMF).

ИЯИ РАН занимает передовые позиции по целому ряду направлений, среди которых следует отметить ускоряющие структуры, источники поляризованных частиц, диагностику пучка.

Накопленный в процессе сооружения ускоряющей системы основной части ускорителя ИЯИ РАН опыт, развит и обобщен на все семейство компенсированных ускоряющих структур. Имеется в виду совокупность методов, подходов, рекомендаций и ограничений в разработке, исследовании, сооружении и запуске ускоряющих структур для интенсивных линейных ускорителей ионов водорода на высокие энергии. Сформированная совокупность с успехом применена при разработке ускоряющей системы основной части линейного ускорителя комплекса J-PARC, а также при сооружении и запуске ускоряющей системы нормально проводящей части ускорителя SNS. Область исследований и разработок расширена на все электродинамические устройства, применяемые в линейных ускорителях, периодические ускоряющие и отклоняющие структуры, а также одиночные уникальные резонаторы, по своим параметрам превосходящие аналоги.

Разработанные и сооруженные в ИЯИ РАН, или разработанные под руководством и с определяющим участием сотрудников Института, электродинамические системы успешно используются или сооружаются в ускорительных центрах Японии, Германии, Англии и Канады.

Для примера на рис. 15 показан резонатор, действующий в установке PITZ, DESY, предназначенной для исследования формирования пучков электронов сверхвысокой яркости для лазеров на свободных электронах. Резонатор разработан в ИЯИ РАН на основе предложенной



► Рис.15. Разработанный в ИЯИ РАН резонатор на основе структуры CDS на линии формирования пучка установки PITZ, DESY (вверху)

► Рис.16. Стенд источника поляризованных ионов водорода (внизу)



▲ Рис.17. Внешний вид прибора для измерения формы сгустков ускоряемых частиц

компенсированной ускоряющей структуры с разрезными диафрагмами CDS – Cut Disk Structure. Структура по комплексу параметров превосходит все известные аналоги. Обладая в два раза меньшими поперечными размерами, эта структура позволяет существенно снизить стоимость изготовления и в настоящее время дорабатывается для замены первого резонатора основной части ускорителя ИЯИ РАН.

Разработан источник поляризованных ионов H^+ , H^- , D^+ и D^- , в котором реализован новый метод их генерации, впервые предложенный и изученный в ИЯИ РАН. В данном методе используется реакция почти резонансной перезарядки между поляризованными атомами и неполяризованными ионами в плазме.

Для получения отрицательных поляризованных ионов H^- и D^- был впервые предложен и реализован метод обогащения плазменной струи, инжектируемой в область перезарядки, отрицательными неполяризованными ионами. Данный источник отрицательных ионов является универсальным, так как в нём могут генерироваться импульсные пучки отрицательных поляризованных и неполяризованных ионов H^- и D^- .

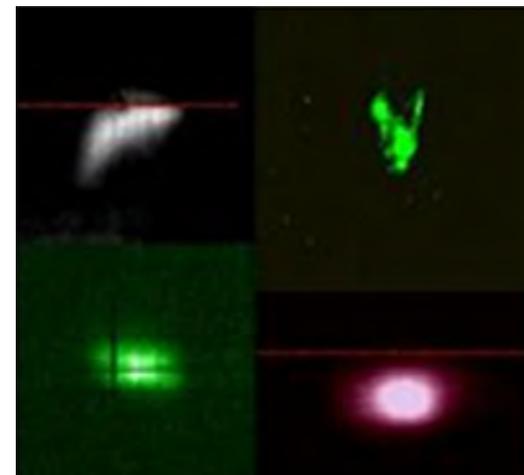
На рис. 16 представлена фотография стенда для исследования источника поляризованных ионов водорода.

Также впервые проведено исследование накопления поляризованных атомов в области перезарядки.

В импульсном источнике поляризованных ионов водорода ИЯИ РАН был получен импульсный ток поляризованных протонов 11 мА с поляризацией 80%, а также пучок отрицательных поляризованных ионов водорода с импульсным током 4 мА и поляризацией 90%. Достигнутые интенсивности на два порядка выше полученных ранее из классических источников поляризованных ионов с атомарным пучком.

В 1998 г. источник отрицательных ионов такого типа был создан при участии ИЯИ РАН в лаборатории IUCF, USA. В настоящее время ведется совместная с ОИЯИ работа по созданию такого источника для сооружаемого в Дубне ускорительного комплекса НИКА.

В ИЯИ РАН разработан оригинальный прибор — измеритель микроструктуры пучка, предназначенный для измерения продольного рас-



▲ Рис.18. Поперечные сечения пучка линейного ускорителя в разных режимах

пределения заряда в сгустках пучка, ускоряемого в линейном резонансном ускорителе ионов. Принцип действия прибора основан на когерентном преобразовании временной микроструктуры исследуемого пучка в пространственную структуру вторичных низкоэнергетических электронов, выбиваемых из мишени — тонкой проволоочки, вводимой в пучок на время измерений, посредством поперечной модуляции электронов по импульсу с помощью высокочастотного

отклоняющего поля синфазного с полем в ускорителе. Поскольку свойства вторичных низкоэнергетических электронов слабо зависят как от типа, так и энергии первичных частиц, прибор применим практически для любых типов ионов во всем диапазоне энергий линейных ускорителей.

Основной характеристикой прибора является высокое фазовое разрешение, величина которого составляет около 1° на частотах сотни мегагерц. Уникальные функциональные характеристики прибора обуславливают целесообразность его применения практически во всех многосекционных ускорителях ионов. В ИЯИ РАН создано около тридцати приборов для ведущих ускорительных центров России, США, Японии, Германии и Швейцарии (ИЯИ РАН, SSC, SNSORNL, KEK, J-PARC, DESY, CERN и др.). В настоящее время ведутся работы по созданию приборов для комплекса FRIB (США), а также для лаборатории GSI и проекта FAIR (Германия). Один из таких приборов представлен на рис. 17.

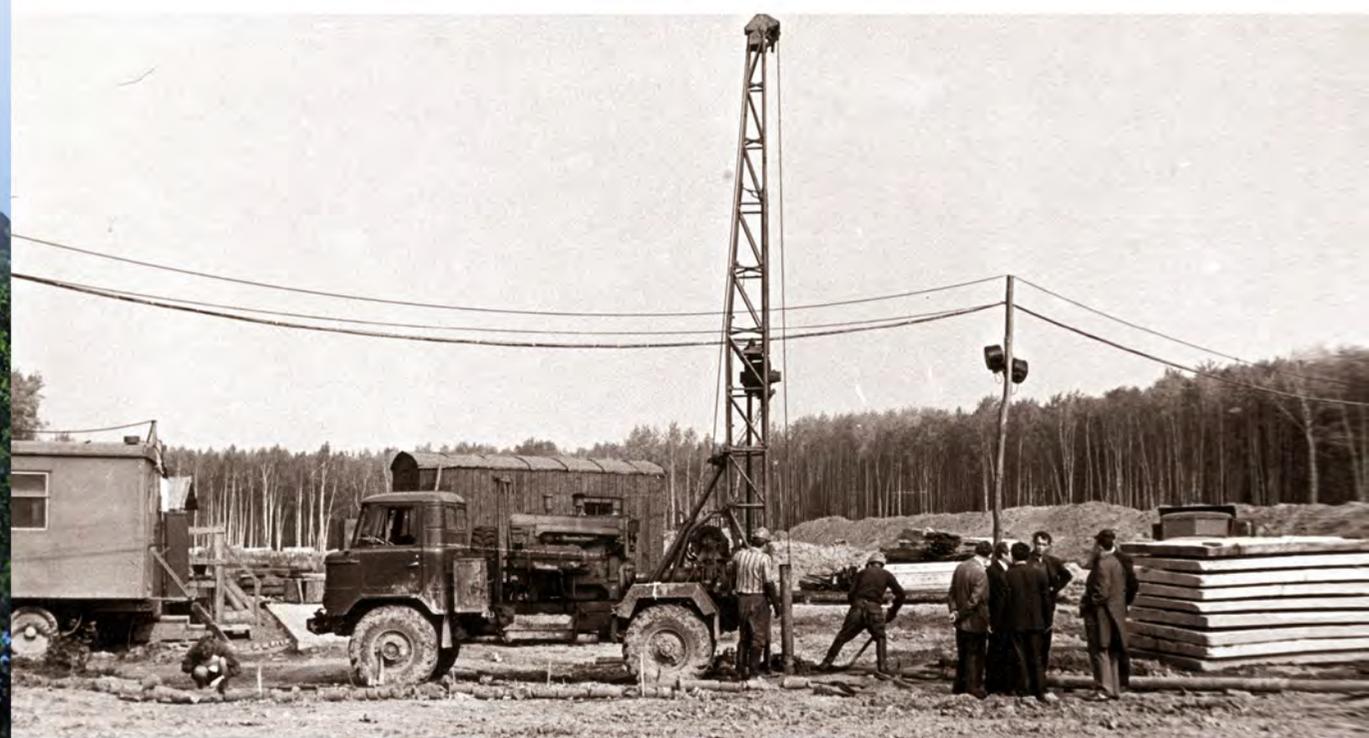
Другим развиваемым в ИЯИ РАН и представляющим значительный интерес диагностическим устройством является ионизационный монитор, обеспечивающий неразрушающую двумерную диагностику поперечных параметров пучка. Прибор необходим для оперативного получения информации о поперечном распределении частиц в пучке как в процессе эксплуатации, так и, особенно, при наладке режима ускорителя. Рисунок 18 демонстрирует эволюцию поперечного сечения пучка, наблюдаемого с помощью этого монитора, в процессе наладки ускорителя.

Публикации коллектива ускорителя

За 10 лет с 2005 по 2014 годы коллективом, работающим на ускорителе, опубликовано более 300 печатных работ. Список всех публикаций с 1999 представлен на сайте <http://www.inr.ru/~ouk/Biblio.htm>.

Составители: к.ф.-м.н. Л.П. Нечаева, д.ф.-м.н. В.В. Парамонов, д.ф.-м.н. А.В. Фещенко
Дизайн Н.Л. Нольде
Фото Е.Ю. Еремина, сотрудников ОУК

Подл. в печать 29.05.2016. Заказ № 22389
Печать цифровая. Издательский отдел ИЯИ РАН
117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а





Сильноточный линейный ускоритель протонов и отрицательных ионов водорода ИЯИ РАН является единственным в России ускорителем данного класса. В настоящее время это самый мощный линейный ускоритель ионов водорода во всем Евразийском регионе. Описана история создания сильноточного линейного ускорителя, его устройство, информация о проводимых на нем работах и достижениях.

