

В.А.Москалев

# Ускорение – со студенческой скамьи

*От первого отечественного  
бетатрона до крупнейшего  
синхротрона в стране*

**З**а прошедшие пять с половиной десятилетий в Томском политехническом создан такой набор ускорителей заряженных частиц, какого не имеет ни одно высшее учебное заведение не только в России, но и в любой другой стране мира. Здесь представлены образцы практически всех существующих типов ускорителей с широким диапазоном энергий ускоренных частиц. Среди них сильноточные ускорители прямого действия на энергию до 1 млн. электронвольт (Мэв), электростатический генератор Ван де Граафа на 2,5 Мэв (по электронам); линейный ускоритель на 5 Мэв; циклотрон с диаметром полюсов 1,2 м; микротрон («электронный циклотрон») на энергию 5 Мэв; электронный синхротрон (установка «Сириус») на энергию 1500 Мэв,

а также большое семейство индукционных ускорителей электронов-бетатронов на энергию от 2 до 35 Мэв и линейные индукционные ускорители (ЛИУ), обеспечивающие энергию ускоренных электронов -0,4 Мэв на один модуль.

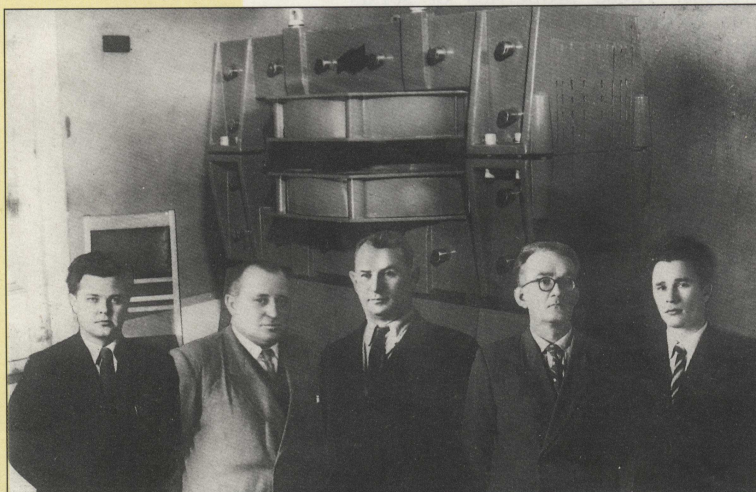
Разработка проблем теории и практики ускорения заряженных частиц в Томском политехническом институте была начата в 1946 г. по инициативе ректора института проф. Воробьева А.А. В те годы все работы, касавшиеся

ускорителей, как в СССР, так и в других странах, были строго засекречены и взаимный обмен научной информацией между учеными практически исключался. Поэтому созданный в ТПУ небольшой коллектив ученых и инженеров был поставлен перед необходимостью начинать исследования с нуля - изучение основ теории индукционного ускорения электронов, проектирование отдельных узлов ускорителя и установки в целом, разработка технологии производства, а затем - изготовление, монтаж, наладка и запуск готового ускорителя. В качестве первого ускорителя ТПИ, подлежащего разработке, Воробьевым А.А. был предложен индукционный ускоритель электронов - бетатрон. Постановка такой задачи была очень смелым шагом, т.к. требовала для своего решения наличия специалистов высокой квалификации в различных областях

*Создатели первого  
бетатрона:*

*И.П.Чучалин, М.Ф.Филиппов,  
А.А.Воробьев, В.Н.Титов,  
Ю.М.Акимов.  
1947 г.*

*Creators of the first betatron:  
Chuchalin I.P., Phillipov M.F.,  
Vorobyov A.A., Titov V.N.,  
Akimov Y.M., 1974.*



## Ускорение — со студенческой скамьи

науки и техники - в теории электромагнитного поля, электротехнике, высокочастотной импульсной технике, вакуумной технике, дозиметрии и др.

Последующий ход событий показал, что выбранное научное направление является чрезвычайно плодотворным, и принятые методы решения научных и практических проблем вполне себя оправдали. Бетатронной тематикой были впоследствии заняты сотни научных сотрудников, инженеров и студентов института, организованы многие научные лаборатории и опытные производства, открыта подготовка инженерных кадров по ряду новых специальностей (ускорители заряженных частиц; дозиметрия ионизирующих излучений; неразрушающие методы контроля и др.). В результате изготовлены и поставлены заказчикам многие десятки бетатронов. Бетатроны ТПИ работают во многих странах мира (Китай, Индия, Англия, Франция, Финляндия, Германия, Италия, Польша, Чехия и др.).

Созданные оригинальные конструкции бетатронов предназначены для исследования и обеспечения технологических процессов контроля материалов и изделий, радиоактивного анализа и применения в медицине и биологии, а в последнее время для постановки тонких экспериментов по исследованию характеристического и переходного излучений, возникающих при взаимодействии ускоренных электронов со средой.

В пятидесятых годах начались работы по сооружению крупнейшего в стране и одного из крупнейших электронных ускорителей в мире — синхротрона на 1500 Мэв. К 1964 г. сооружение синхротрона было завершено, и в январе 1965 г. синхротрон был запущен на излучение, а с 1967 г., сдан в постоянную эксплуатацию.

Синхротрон имеет два канала для получения тормозного и рентгеновского излучений, два канала синхротронного излучения, автоматизированную систему исследований. На базе синхротрона создан излучательно-измерительный комплекс, на котором ведутся физические исследования.

Попутно при сооружении синхротрона был разработан и изготовлен резонансный электронный ускоритель типа «микротрон» на 5 Мэв, который используется в качестве источника электронов (инжектора) в синхротроне «Сириус».

Параллельно с разработкой и сооружением ускорителей собственными силами, в ТПУ монтировались ускорители, изготовленные и поставляемые ТПИ другими научными учреждениями СССР. Так институтом электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (Ленинград) были поставлены циклотрон и электростатический генератор ЭСГ-2,5. Циклотронная лаборатория была создана в ТПИ в 1957 г. Циклотрон с диаметром полюсов 120 см. может ускорять протоны до 33 Мэв. Позже циклотрон был модернизирован, что позволило ускорять на нем, кроме протонов, также дейтроны, ядра гелия, ионы тяжелых газов - углерода, азота, кислорода. Наряду с физическими исследованиями, получением короткоживущих радионуклидов, на базе циклотрона создан (совместно с НИИ онкологии) медико-биологический комплекс для нейтронной терапии злокачественных опухолей.

Электростатический генератор на 2,5 Мэв может ускорять или электроны, или ионы; с его помощью проводятся исследования по радиационной физике. Генератор дает пучки электронов, ионов гелия, ионов водорода с энергией 2,3 Мэв. На базе электростатического ускорителя получен «ионный микронзонд». Фокусирующая система позволяет получать пучок диаметром до 10 микрометров, что значительно расширяет экспериментальные возможности установки.

Линейный ускоритель электронов «Электроника» ЭЛУ-4 предназначен для радиационной обработки электронным пучком изделий электронной техники. Ускоритель разработан в НПО «Торий» (г. Москва) и введен в эксплуатацию в 1986 г. Диапазон регулировки средней энергии ускоренных электронов составляет 2,3-4,1 Мэв. Максимальная энергия ускоренных электронов достигает 6 Мэв. Максимальный средний ток ускоренных электронов ра-

# From the first domestic betatron

*to the largest synchrotron of the country*

вен 1000 мкА. Ускоритель снабжен устройством для развертки электронного пучка.

Ускоритель используется для радиационных испытаний элементов бортовой аппаратуры космических аппаратов, радиационной стерилизации радиационного сырья и изделий, медицинской техники, а также для отработки радиационных технологий.

На основе комплекса ускорителей в составе линейного ускорителя ЭЛУ-4, бетатрона МИБ-6э и бетатрона Б-10э в НИИ интроскопии создана учебно-научная лаборатория «Прикладная физика» для выполнения лабораторных работ студентами физико-технического, электрофизического, а также факультета автоматизации и электромеханики.

60-70-е годы ознаменовались развитием сильноточных электронных и ионных ускорителей. За короткий срок была создана серия ускорителей с энергией частиц до 1 Мэв и мощностью пучка до 100 МВт. Первым таким ускорителем явился сильноточный ускоритель «Тонус». Затем появились сильноточный ускоритель микросекундной длительности с запасаемой энергией мегаджоульного диапазона «Тонус-2М», сильноточный ускоритель с промежуточным емкостным накоплением энергии «Вера», многоцелевой сильноточный ускоритель «Луч», сильноточный ускоритель «Дубль», линейные индукционные ускорители.

На ускорителях проводились исследования по транспортировке сильноточных релятивистских электронных пучков в газе и вакууме, их взаимодействию с границей раздела двух сред, влияний на свойства различных материалов, по генерации мощного СВЧ-излучения.

Одновременно с работами по электронным пучкам были начаты исследования по генерации сильноточных ионных пучков. Предложены и реализованы принципиально новые методы и системы для эффективного формирования мощных ионных пучков наносекундной и микросекундной длительности («Темп», «Вера», «Мук»). Созданы

сильноточные источники ускоренных ионов и плазмы, основанные на генерации плазмы вакуумной дугой, работающие в режиме импульсно-периодического извлечения и ускорения ионов и в импульсно-периодическом или непрерывном режимах формирования плазменных потоков («Радуга1»-«Радуга5»).

Ионные пучки находят широкое применение в исследованиях по модификации поверхности материалов и реализации технологических режимов -высококонцентрированной имплантации и плазменного осаждения покрытий и динамических режимов ионного перемешивания.

Решающий вклад в развитие ускорительной тематики в ТПУ, выполнявшейся под общим руководством А.А. Воробьева, внесли коллективы, руководимые профессорами Чучалиным И.П., Диденко А.Н., Москалевым В.А., Ананьевым Л.И., Горбуновым В.И., Усовым Ю.П., Ремневым Г.Е., Рябчиковым А.И., Чахловым В.А. и др.

Студенты Томского политехнического университета имеют уникальную возможность за время учебы ознакомиться с «живыми» ускорителями заряженных частиц, современной электрофизической аппаратурой, с помощью которой человек изучает глубинные законы природы, структуру и строение материи. Можно с уверенностью утверждать, что куда бы ни уехали на работу выпускники университета, они нигде и никогда больше не получат такой возможности увидеть ускорители, какую имеют в Томске, в ТПУ. В последние годы студенты ряда групп АВТФ и АЭЭФ знакомятся с ускорительными установками НИИ ядерной физики и интроскопии при ТПУ во время специально организуемых преподавателями физики экскурсий. Университет реально может организовать дело так, чтобы каждый студент ТПУ, независимо от специальности, за пятилетний срок обучения посетил с экскурсией научные лаборатории наших НИИ и ознакомился с ускорительной техникой.