

Учебно-методическая статья

УДК 621.384.6

DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-1-155-160

Кафедра физики ускорителей физического факультета Новосибирского государственного университета

Валерий Иванович Тельнов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

telnov@inp.nsk.su, <https://orcid.org/0000-0002-8312-8119>

Аннотация

В статье рассказывается о кафедре физики ускорителей физического факультета Новосибирского государственного университета, базирующейся в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН.

Ключевые слова

ускорители частиц

Для цитирования

Тельнов В. И. Кафедра физики ускорителей физического факультета Новосибирского государственного университета // Сибирский физический журнал. 2022. Т. 17, № 1. С. 155–160. DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-1-155-160

Accelerator Physics Chair of the Physics Department at Novosibirsk State University

Valery I. Telnov

Budker Institute of Nuclear Physics
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russian Federation

Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

telnov@inp.nsk.su, <https://orcid.org/0000-0002-8312-8119>

Abstract

The article tells about the Accelerator Physics Chair of the Physics Department of the Novosibirsk State University, based at the Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS.

Keywords

accelerator physics

For citation

Telnov V. I. Accelerator Physics Chair of the Physics Department at Novosibirsk State University. *Siberian Journal of Physics*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 155–160. (in Russ.) DOI 10.25205/2541-9447-2022-17-1-155-160

© Тельнов В. И., 2022

ISSN 2541-9447

Сибирский физический журнал. 2022. Том 17, № 1. С. 155–160
Siberian Journal of Physics, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 155–160

1. История становления кафедры

История создания кафедры неразрывно связана с историей создания Института ядерной физики – базового Института кафедры. Основой Института стала лаборатория новых методов ускорения Института атомной энергии (ныне Российский научный центр, Курчатовский институт), возглавляемая Г. И. Будкером. В мае 1957 г. по инициативе академиков М. А. Лаврентьева, С. Л. Соболева и С. А. Христиановича Совет министров СССР принял Постановление о создании научного центра около Новосибирска. Эта идея получила широкий отклик научной общественности, многие известные ученые, желающие осуществить свои научные идеи, заявили о желании поехать работать в Сибирь. Так в 1958 г. был образован Институт ядерной физики под руководством Г. И. Будкера.

У Г. И. Будкера было много идей по физике ускорителей и физике плазмы, основной из которых являлась идея создания ускорителя со встречными пучками. Метод встречных пучков намного более эффективен для изучения строения материи, чем метод столкновения частиц с неподвижной мишенью. Предложение Будкера о создании такого коллайдера было признано рецензентами нереалистичным, но И. В. Курчатов оценил дерзновенность идеи и дал добро на разработку проекта. Развитие метода встречных пучков, а также разработка ускорителей для промышленных применений явились одними из главных направлений деятельности Института.

В 1964 г. состоялся запуск первой в мире установки со встречными электрон-электронными пучками ВЭП-1. В 1968 г. в ИЯФ заработала первая в мире установка со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2 с энергиями частиц по 700 МэВ в каждом из пучков. Столкновение частиц материи и антиматерии, их аннигиляция и рождение новых частиц материи стало событием мирового масштаба. Побывать в ИЯФ стремились не только ученые, но и президенты, космонавты и астронавты, артисты, писатели и поэты. Подобные коллайдеры стали создаваться во многих ведущих мировых лабораториях на все большую энергию, что позволило совершить колоссальный прорыв в изучении строения материи. В 1974 г. к ВЭПП-2 был добавлен накопитель ВЭПП-2М, что существенно повысило светимость установки. В 1972 г. заработал e^+e^- -коллайдер ВЭПП-3 на энергию $2E = 4$ ГэВ, а в 1980 г. начались эксперименты на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-4 с энергией до $2E = 12$ ГэВ. На нем был проведен цикл экспериментов по изучению частиц, состоящих из «прелестных» b -кварков.

Если размер коллайдера ВЭП-1 был всего около 2 м, то периметр ВЭПП-4 составлял уже около 400 м. Основной проблемой повышения энергии частиц в кольцевых коллайдерах является синхротронное излучение. Потеря энергии частиц на излучение за оборот пропорциональна E^4/R . Для продвижения в область энергий выше 100 ГэВ в 1980-х гг. в ИЯФ был разработан первый проект e^+e^- линейного коллайдера и это направление было активно поддержано в мире. Однопролетный линейный e^+e^- (e^-e^-) коллайдер можно превратить в фотон-фотонный коллайдер с примерно такими же энергией и светимостью путем рассеяния лазерных фотонов на высокоэнергичных электронах. Эта идея, предложенная в 1981 г. В. И. Тельновым, получила широкую поддержку в мире, и ее реализация предусмотрена в проектах линейных коллайдеров.

В то же время в ИЯФ разрабатывался предложенный Г. И. Будкером метод электронного охлаждения, нашедший всё возрастающее применение в современных ускорителях пучков многозарядных ионов.

«Вредное» (для физики частиц) синхротронное излучение (СИ) оказалось чрезвычайно полезным для многих других областей науки. Длина волны этого излучения в десятки тысяч раз меньше длины волны видимого света, так что с его помощью можно прекрасно изучать атомное строение вещества. На ВЭПП-3, ВЭПП-4 были сделаны специальные каналы для выпуска этого излучения, организованы станции СИ, на которых проводят исследования физики, химии, биологии из институтов СО РАН и других научных центров страны. На этих станциях были выполнены многие пионерские работы в этом направлении, например эле-

ментный анализ лунных грунтов, доставленных на Землю советскими беспилотными станциями и американскими астронавтами. В 1990-х гг. ИЯФ построил специализированные источники СИ в Курчатовском институте и синхротрон в Зеленограде для микроэлектронной промышленности. Сейчас в мире созданы десятки специализированных источников синхротронного излучения, где работают тысячи исследователей. В 2021 г. началось строительство центра синхротронного излучения СКИФ в наукограде Кольцово рядом с Академгородком, где сильно востребованы выпускники НГУ многих специальностей (особенно ускорительщики).

Еще одно важное направление, возникшее в 1970–1980-х гг. в ИЯФ, – это лазеры на свободных электронах, генерирующие мощное когерентное излучение. В ИЯФ построены установки, работающие в оптическом и инфракрасном диапазонах, а предложенную нашими физиками идею рентгеновского лазера удалось реализовать в США и Германии.

Создание коллайдеров со встречными пучками и проведение экспериментов, а также развитие смежных ускорительных направлений является основным направлением деятельности ИЯФ. Кафедра физики ускорителей как самостоятельная структура была образована в 1989 г. До этого подготовка специалистов данного профиля велась на кафедре ядерной физики, преобразованной в 1985 г. в кафедру физики элементарных частиц. Ее руководителями в разное время были акад. Г. И. Будкер (с 1967 по 1977 г.), акад. А. Н. Скринский (с 1977 по 1985 г.) и акад. Л. М. Барков (с 1985 по 1999 г.). Организатором и первым зав. кафедрой физики ускорителей был акад. Н. С. Диканский (1989–2001, 2007–2016 гг.), с 2001 по 2007 г. ее возглавлял д-р физ.-мат. наук, проф. И. А. Кооп. С 2016 г. по настоящее время зав. кафедрой является д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Тельнов.

2. Мотивировка важности выбранного направления (раздела) физики

Трудно указать такой раздел современной физики, где ускорители не играли бы прямо или косвенно важной роли. Круг их применений очень широк: физика твердого тела, биология, медицина, дефектоскопия материалов, производство радиоизотопов, радиационная обработка материалов, стерилизация пищевых продуктов, радиационная диагностика, раковая терапия, введение радиационных дефектов в кристаллы (в частности в полупроводники), имитация радиационных эффектов в космосе и многое, многое другое. В России и мире имеется очень большой спрос на специалистов этого профиля.

Несмотря на возрастающее применение ускорителей для прикладных задач, магистральная линия развития ускорителей связана с физикой элементарных частиц, где они являются главным инструментом по добыче знаний. Они продолжают давнюю тенденцию, пронизывающую всю историю физики и связанных с ней наук, – проникновение в глубь материи, ко всё меньшим пространственным масштабам, ко всё более ранним временам жизни Вселенной. Те, кто хочет быть на переднем крае в познании природы, – вам сюда.

На ускорителях открыты все элементарные частицы (кварки, лептоны, бозоны – переносчики взаимодействия), как предсказанные на основании ранее полученных знаний, так и обнаруженные «неожиданно» (например, открытие J/ψ -частицы, состоящей из ранее не известных «очарованных» c -кварков, или t -лептон, который похож на электрон и мюон, но имеет большую массу, и многое другое). При их изучении обнаруживаются фундаментальные свойства материи, о которых невозможно узнать никаким другим способом. Открываются новые, не известные ранее закономерности, причем подчас нарушающие старые, привычные истины. Это стремление, шаг за шагом, к раскрытию тайн мироздания, удовлетворение любопытства (за государственный счет) является главным стимулом сообщества людей, работающих в области физики высоких энергий.

К настоящему времени открыты 6 кварков, 6 лептонов, бозоны (глюоны, W , Z , фотоны – переносчики сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия). В 2012 г. найдена уникальная частица, Хиггсовский бозон – квант поля, придающий массы всем элементарным

частицам. Эти данные, полученные с помощью ускорителей, позволили построить теорию, Стандартную модель, которая отлично описывает все известные взаимодействия и позволяет рассчитать любой процесс.

У студента может возникнуть вопрос, стоит ли идти в эту область исследований, если всё уже известно? Скажу следующее. Когда я оканчивал университет 50 лет назад, уже использовалась энергия атомного ядра, но было совершенно смутное представление о том, что такое сильное взаимодействие, как протон взаимодействует с нейтроном, из чего они состоят? С тех пор на наших глазах и при активном участии произошла настоящая революция, пелена спала, открылся мир в новых красках и деталях, многое стало понятно, и всё это благодаря тому, что использовали микроскоп (ускоритель) с более высоким пространственным разрешением. Однако возникло много новых вопросов.

- У элементарных частиц (кварков, лептонов, бозонов) имеются массы, но мы не понимаем, почему они именно такие, не можем объяснить даже отношение их масс. Также не имеют объяснения величины констант взаимодействия. Получается, что в Стандартной модели (СМ) имеется более трех десятков параметров, которые берутся из эксперимента. Это слишком много, наверняка между ними есть какая-то связь. По сути, СМ – это еще не теория, а временная модель.

- В природе есть частицы и античастицы, когда возникла Вселенная, их, вероятно, было поровну. По мере остывания Вселенной они аннигилировали в фотоны и нейтрино, но почему-то не все, остался избыток материи, из которой состоим мы и все окружающие предметы. Некоторое различие в свойствах частиц и античастиц было обнаружено и изучено на ускорителях в распадах К- и В-мезонов, но этого недостаточно для объяснения асимметрии во Вселенной.

- Но самое интересное то, что недавно удалось измерить среднюю плотность Вселенной, и оказалось, что все стабильные формы материи, которые мы знаем (протоны, электроны, ядра, фотоны, нейтрино) составляют только 5 %, остальное – непонятно что, пока их называют темной энергией и темной материей. Темная материя – это какие-то нерелятивистские частицы, суммарная масса которых в галактиках в пять раз превосходит всю видимую массу звезд и межзвездного газа. Все попытки зарегистрировать их пока безуспешны. Лучший способ разобраться в природе темной материи – это научиться рожать такие частицы (всё их семейство) на ускорителях. На Большом адронном коллайдере их следов не видно. Какой для этого нужен ускоритель, мы пока не знаем. Нужна какая-нибудь астрофизическая подсказка о массах и свойствах частицах. Есть шанс, что коллайдеры помогут решить загадку темной материи, но гарантии нет (если, например, это мини-черные дыры).

Как мы видим, успехи в познании тайн Вселенной в последние полвека связаны с достижениями в области создания коллайдеров, физики-ускорительщики идут в авангарде, всё зависит от их умения и изобретательности. Есть два основных пути развития физики высоких энергий: всё более высокие энергии и всё более высокие светимости. Все большие (и средние) проекты являются международными. ИЯФ принимает самое активное участие почти во всех основных ускорительных проектах в мире, разрабатывает, строит и затем участвует в экспериментах. Это p - p collider LHC (ЦЕРН), e^+e^- -фабрика Super-KEKB (Япония), ионный коллайдер NICA (Россия), ионный и антипротонный коллайдер FAIR (Германия), международный линейный e^+e^- -коллайдер ILC (Япония), линейный e^+e^- -коллайдер CLIC (ЦЕРН), кольцевой 100 км (e^+e^- , pp)-коллайдер FCC (ЦЕРН) и др. В ИЯФ сейчас идут эксперименты на коллайдерах ВЭПП-2000 и ВЭПП-4, планируется строительство новых коллайдеров на территории ИЯФ и в создаваемом центре физики под г. Саров.

Выше были перечислены только ускорители для физики частиц. Но потребности в ускорителях различных типов сейчас много шире, их нужно в десятки, сотни раз больше, чем для физики высоких энергий. ИЯФ ведет строительство синхротронного центра SKIF, делает ускорители для просвечивания толстых объектов гамма-квантами и различными ионами

(проверка надежности электроники), выпускает и совершенствует укорители электронов для промышленных целей, ведутся работы по лазерам на свободных электронах.

Как мы видим, физика ускорителей – это очень широкое поле деятельности. Нужны и теоретики, и экспериментаторы, и программисты, и организаторы. Здесь каждый может найти работу, соответствующую складу характера.

3. Специализация

Программа спецкурсов включает:

- Теория циклических ускорителей; лекции: доц. Е. А. Переведенцев, семинары: канд. физ.-мат. наук, ст. преп. Д. Б. Шварц;
- Магнитные системы ускорителей; д-р физ.-мат. наук, проф. И. А. Кооп;
- Электронная оптика и физика пучков; лекции и семинары: д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, проф. Н. А. Винокуров;
- Электрофизическая прочность электрофизических установок; канд. техн. наук, ст. преп. А. В. Акимов;
- Вакуумные системы ускорителей; канд. физ.-мат. наук, ст. преп. А. А. Краснов;
- Диагностика пучков и обратные связи; канд. физ.-мат. наук, ст. преп. А. А. Старостенко;
- Холодные пучки частиц; акад. РАН, проф. В. В. Пархомчук, канд. физ.-мат. наук, ст. преп. В. Б. Рева;
- Источники пучков заряженных частиц; ст. преп. Т. А. Девятайкина;
- Линейные ускорители, ст. преп. А. В. Андрианов;
- Физика атомного ядра и элементарных частиц; лекции: д-р физ.-мат. наук, проф. Б. А. Шварц; семинары: канд. физ.-мат. наук, ст. преп. А. Н. Винокурова;
- Нелинейная динамика пучков; ст. преп. В. А. Востриков;
- Поляризованные пучки; д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, проф. Ю. М. Шатунов;
- Синхротронное излучение; канд. физ.-мат. наук, доц. К. В. Золотарев;
- Лазеры на свободных электронах; д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, проф. Н. А. Винокуров;
- Основы ускорительной техники (для всех кафедр); канд. физ.-мат. наук, доцент А. Е. Левичев;
- Теория линейных электронных цепей; ст. преп. Д. П. Суханов;
- Электродинамика СВЧ, лекции: ст. преп. В. В. Тарнецкий, практикум: И. А. Запрягаев, К. Н. Чернов.

Секретари кафедры: ст. преп. Татьяна Александровна Девятайкина и аспирант Владислав Михайлович Борин.

На кафедре работают 6 профессоров, 3 доцента и 11 старших преподавателей и ассистентов. Однако реально подготовкой и научным руководством работами студентов, магистрантов и аспирантов занимаются все члены ускорительного сообщества Института, среди которых около 25 докторов наук, из них 5 академиков и 2 члена-корреспондента РАН.

За время существования кафедры на ней защитили дипломные работы более 200 студентов, из них около 60 защитили кандидатские, 15 – докторские диссертации по физике. Многие выпускники работают в зарубежных лабораториях и занимают там ведущие позиции.

В зарубежных странах (США, Европа) будущие ученые-ускорительщики заканчивают престижный вуз, как правило, по специальности *her* (high energy physics), а затем несколько лет посещают множество платных курсов, организуемых ускорительными сообществами России, Европы, Америки, Японии. В НГУ же преподавание ускорительных дисциплин и посещение ИЯФ начинается с третьего курса. В конце первого семестра 3 курса студенты выбирают научные лаборатории, где проходят учебную практику. К концу четвертого курса студенты уже знакомы с основами ускорительной физики и способны самостоятельно (под

руководством опытных научных сотрудников) выполнить квалификационную работу на степень бакалавра. Более углубленное специальное образование наши студенты получают в магистратуре, заканчивая обучение написанием магистерской диссертации. Далее желающие поступают в аспирантуру при ИЯФ или НГУ.

Наши выпускники работают на уникальных установках Европы, Америки и Японии; городов Новосибирска, Дубны, Серпухова, подтверждая высокий уровень подготовки на кафедре. Следует сказать, что в связи с возрастающим использованием ускорительных технологий имеется очень большая нехватка кадров в мире, в России и здесь, в Новосибирске. Институт ядерной физики является одним из признанных лидеров данного направления, подарил миру много идей, ускорительных технологий, внес большой вклад в сооружение ускорителей за рубежом и в России. Дальнейшее развитие этого направления, осуществление планов и идей, зависит от вас, молодого талантливого пополнения, мы ждем вас на кафедре физики ускорителей НГУ на базе ИЯФ.



Информация об авторе

Валерий Иванович Тельнов, доктор физико-математических наук, профессор

Information about the Author

Valery I. Telnov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor

*Статья поступила в редакцию 25.05.2021;
одобрена после рецензирования 01.09.2021; принята к публикации 01.09.2021
The article was submitted 25.05.2021;
approved after reviewing 01.09.2021; accepted for publication 01.09.2021*