

Отчет о работе лаборатории №5 Института ядерной физики в 2004 г.

В институте ядерной физики СО РАН продолжаются работы по созданию комплекса электрон-позитронных фабрик. Для обеспечения эффективной работы этих установок сооружается инжекционный комплекс, в состав которого входят форинжектор и накопитель-охладитель. Основные усилия лаб. 5 ИЯФ были направлены на продолжение работ по проектированию и изготовлению основных элементов инжекционного комплекса ВЭПП-5 и монтажу, настройке и испытаниям его элементов. Кроме работ по инжекционному комплексу в лаборатории в 2004 активно велись работы по развитию методов электронного охлаждения и созданию установок электронного охлаждения для различных целей. Как и всегда, в этом году продолжались различные работы по контрактам с зарубежными ускорительными центрами.

1.1 Форинжектор и накопитель-охладитель комплекса ВЭПП-5

В 2004 году был проведен монтаж и начаты испытания штатной позитронной системы Инжекционного комплекса. Проектная производительность позитронной системы ($2 \cdot 10^{10}$ позитронов в секунду) была достигнута в ходе проведенных испытаний. Нужно отметить, что созданная система имеет рекордную эффективность сбора позитронов. Данный результат был получен благодаря использованию нового технического решения для импульсного магнита с большим полем, который позволяет эффективно собирать выходящие из конверсионной мишени позитроны. Этот магнит имеет рекордное значение максимального магнитного поля (10 Т) при требуемом высоком качестве последнего. На Рис. 1 представлен общий вид позитронной системы Инжекционного комплекса.



Рис. 1. Позитронная система Инжекционного комплекса ВЭПП-5

В 2004 году были завершены монтажные работы на ВЧ системе накопителя-охладителя, закончено сооружение высоковольтного выпрямителя, питающего мощный непрерывный клистрон (рабочая частота — 700 МГц). В декабре 2004 года завершается

наладка высоковольтного питания клистрона накопителя-охладителя, а так же системы блокировок и защит. Фотографии элементов ВЧ системы накопителя-охладителя представлены на Рис. 2.



Рис. 2. Элементы ВЧ системы накопителя-охладителя: (слева-направо, сверху-вниз) стойка управления ВЧ станции, высоковольтное питание клистрона, клистрон 700 МГц и волноводная система, резонатор накопителя-охладителя

В 2004 году продолжились работы по изготовлению ускоряющих структур и нагрузок третьего ускоряющего модуля. На конец 2004 года изготовлены две ускоряющие структуры (см. Рис. 3) (из четырёх, образующих ускоряющий модуль), развёрнуто производство нагрузок. В ускорительном зале ведётся монтаж и наладка системы умножения мощности третьего ускоряющего модуля. Клистронная станция третьего ускоряющего модуля испытана и готова к работе.



Рис. 3. Половины ускоряющей структуры перед сваркой

В работе принимали участие: *А. А. Акимов, О. Ю. Баженов, П. А. Бак, Ю. М. Боймелштейн, Д. Ю. Болховитянов, А. И. Бутаков, Р. Х. Галимов, Б. И. Гришанов, Р. М. Громов, Е. А. Гусев, Н. С. Диканский, И. В. Казарезов, С. Н. Ключев, А. Н. Косарев, А. А. Корепанов, Н. Х. Кот, Д. Е. Куклин, В. И. Кокоулин, Р. М. Лапик, Н. Н. Лебедев, П. В. Логачев, А. И. Михайлов, П. В. Мартышкин, Л. А. Мироненко, В. М. Павлов, И. Л. Пивоваров, О. В. Пирогов, В. В. Подлевских, Ф. В. Подгорный, С. Л. Самойлов, В. С. Северило, Ю. И. Семенов, Б. А. Скарбо, А. Р. Фролов, В. Д. Хамбиков, А. С. Цыганов, А. Г. Чупыра, С. В. Шиянков.* Результаты работы отражены в публикации [1].

1.2 Исследования электронного охлаждения

Основная направленность исследований по электронному охлаждению определялась выполнением контрактов на изготовление двух установок электронного охлаждения ЕС-300 для IMP (Китай, Ланчжоу) и ЕС-40 для LEIR (CERN, Женева). Был произведен успешный запуск установки ЕС-300 с энергией электронного пучка до 300 кВ в Китае (IMP, Ланчжоу), изготовленной в ИЯФ и поставленной в конце 2003 года в Ланчжоу. Общий вид установки ЕС-300 на проектом месте кольца CSRe показан на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид установки ЕС-300 в IMP, Ланчжоу после испытаний

Велось изготовление электронного охладителя для накопительного кольца LEIR (CERN, Женева). Особенностью этой установки является высокое требование на вакуум (10^{-12} Торр). Материалы и некоторые комплектующие на вакуумную систему поставлялись из CERN. В связи с задержками поставок и проблемами изготовления произошла задержка, примерно, на 3 месяца. Запуск и наладка установки проходили в сильно авральном режиме, но в результате, она все же была доставлена в ЦЕРН (в середине декабря 2004 года). В 2005 года нужно будет собрать и запустить установку уже в накопительном кольце LEIR. Общий вид установки ЕС-40 после завершения испытаний в ИЯФ показан на рис. 5.



Рис. 5. Установка электронного охлаждения ЕС-40 для LEIR (CERN)

Много усилий было потрачено на разработку новых вариантов электронных охладителей для различных лабораторий (но по конкретным контрактам с этими лабораториями). Для GSI (Германия) была завершена физическая разработка 8 МэВ-ного охладителя для антипротонного комплекса NESR. Продолжением этой работы является разрабатываемый нами в 2005 г. проект охладителя на 2 МэВ для COSY (Германия). Предполагается, что он может послужить промежуточной ступенью на пути к 8 МэВ-ному охладителю. Была проведена довольно большая работа по физическому проекту охладителя на 500 кэВ для накопительного кольца NESR (GSI, Германия). Хотя базой для этих разработок явился 300 кэВ-ный охладитель, но новые требования к будущим манипуляциям пучками потребовали существенной модернизации проекта. Когда нужно будет приступать к реальному проектированию и изготовлению охладителя неясно и зависит от развития проекта FAIR (GSI).

Новым (возможно, перспективным) направлением является разработанный комплекс для терапии ионными пучками высоких энергий с использованием электронного охлаждения. Электронное охлаждение позволяет сформировать очень тонкие и легкоуправляемые ионные пучки, удобные для радиационной терапии. Заказчики концептуального проекта надеются получить в 2005 г. средства для реального строительства такого комплекса. Хотя нам этот проект нравится, объем работ при переходе к реальному созданию установок очень большой и скорее пугает нас, чем радует.

По гранту - контракту СО РАН в лаборатории создается ускорительный масс-спектрометр для датировки углеродных археологических образцов. Для этого образец помещается в ионный источник и ускоряется до высокой энергии 1-2 МэВ. Изотопы C^{14} с одной стороны распадаются со временем около 5000 лет, а с другой — непрерывно генерируются в атмосфере космическими лучами и составляют около 10^{-12} от основного изотопа C^{12} . Как только растение или животное прекращает потреблять углерод из атмосферы, начинается уменьшение со временем доли C^{14} и, измеряя эту долю с хорошей точностью, можно определить возраст образца. Такие данные нужны не только в археологии, они актуальны и при исследовании изменений климата и в прикладных исследованиях миграции лекарств с изотопными метками в организмах. Начаты работы в 2003 г. и предполагалось в 2004 приступить к работе с ионным пучком на установке. В 2004 году удалось создать газовый и распылительный ионный источник и поработать с 15 кВ-ными ионными пучками в инжекционной системе. Создание высоковольтной колонны с двухметровыми ускорительными трубками сильно задержалось из-за перегрузки мастерских.

В работе принимали участие: *Н. И. Алиновский, В. В. Анашин, В. Н. Бочаров, А. В. Бублей, В. Ф. Веремеенко, Р. В. Воскобойников, В. А. Востриков, А. Д. Гончаров, И. В. Горнаков, Ю. А. Евтушенко, Н. П. Запяткин, М. Н. Захваткин, А. В. Иванов, И. В. Казарезов, А. В. Кожмякин, В. И. Кокоулин, В. В. Колмогоров, Е. С. Константинов, С. Г. Константинов, А. М. Крючков, А. С. Медведко, Л. А. Мироненко, В. М. Павлов, В. М. Панасюк, В. В. Пархомчук, С. П. Петров, Д. В. Пестриков, С. А. Растигеев, В. Б. Рева, Б. А. Скарбо, Б. М. Смирнов, Б. Н. Сухина, М. А. Тиунов, В. Г. Шамовский, К. К. Шрайнер, С. Янг, Х. Жао* (Институт Современной Физики, Ланчжоу, КНР). Результаты работы отражены в публикациях: [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. [9], [10], [11], [12], [13].

Список литературы

- [1] Инжекционный комплекс ВЭПП-5, состояние работ. М. С. Авилов, А. В. Акимов, А. В. Антошин, П. А. Бак, Ю. М. Боймельштейн, Д. Ю. Болховитянов, А. Р. Фролов, Р. Х. Галимов, Р. Г. Громов, К. В. Губин, С. М. Гуров, Е. А. Гусев, Н. С. Диканский, И. В. Казарезов, В. Д. Хамбиков, С. Н. Ключев, Е. С. Константинов, Н. Х. Кот, В. И. Кокоулин, А. А. Корепанов, Р. М. Лапик, Н. Н. Лебедев, П. В. Логачёв, А. И. Лобас, П. В. Мартышкин, Л. А. Мироненко, В. М. Павлов, И. Л. Пивоваров, О. В. Пирогов, В. В. Подлевских, С. Л. Самойлов, Ю. И. Семёнов, Б. А. Скарбо, А. Н. Скринский, А. А. Старостенко, С. В. Шиянков, А. С. Цыганов, О. Ю. Токарев, А. Г. Чупыра, Труды XX российской ускорительной конференции RuPAC 2004, Октябрь 4-9, 2004, Дубна, Россия.
- [2] В. Н. Бочаров, А. В. Бублей, М. Веденев, Р. В. Воскобойников, А. Д. Гончаров, Ю. А. Евтушенко, Н. П. Запяткин, М. Н. Захваткин, А. В. Иванов, В. И. Кокоулин, В. В. Колмогоров, М. Н. Кондауров, С. Г. Константинов, Г. С. Крайнов, В. Р. Козак, А. М. Крючков, Э. А. Купер, А. С. Медведко, Л. А. Мироненко, В. М. Панасюк, В. В., Пархомчук, В. Б. Рева, А. Н. Скринский, Б. М. Смирнов, Б. А. Скарбо, Б. Н. Сухина, К. К. Шрайнер, X. D. Yang, H. W. Zhao, IMP, Lanzhou, China. Запуск установки электронного охлаждения ЭХ-300. Препринт, ИЯФ СО РАН 2004-4, Новосибирск, 2004.
- [3] A. V. Bublei, V. M. Panasyuk, V. V. Parkhomchuk, V. B. Reva. Measuring a hollow electron beam profile. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 532 (2004) p.413-417.
- [4] V. Bocharov, A. Bublei, Yu. Boimelstein, V. Veremeenko, V. Voskoboinikov, A. Goncharov, V. Grishanov, A. Dranichnikov, Yu. Evtushenko, N. Zapiatkin, M. Zakhvatkin, A. Ivanov, V. Kokoulin, V. Kolmogorov, M. Kondaurov, E. Konstantinov, S. Konstantinov, G. Krainov, A. Kriuchkov, E. Kuper, A. Medvedko, L. Mironenko, V. Panasiuk, V. Parkhomchuk, S. Petrov, V. Reva, P. Svishev, B. Skarbo, B. Smirnov, B. Sukhina, M. Tiunov, V. Shirokov, K. Shrainer Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, Yang X D, Zhao H W, Wang Z X, Li J, Zhang J H, Zhang W, Yan H B, Yan H H, Xia G X Institute of Modern Physics, Lanzhou, China. HIRFL-CSR Electron Cooler Commissioning. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 532 (2004) p.144-149.
- [5] A. V. Bublei, V. V. Parkhomchuk, V. B. Reva. Advantages of electron cooling with radially varying electron beam density. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 532 (2004) p.303-306.

- [6] E. Behtenev, V. Bocharov, V. Bublej, M. Vedenev, R. Voskoboinikov, A. Goncharov, Yu. Evtushenko, N. Zapiatkin, M. Zakhvatkin, A. Ivanov, V. Kokoulin, V. Kolmogorov, M. Kondaurov, S. Konstantinov, G. Krainov, V. Kozak, A. Kruchkov, E. Kuper, A. Medvedko, L. Mironenko, V. Panasiuk, V. Parkhomchuk, V. Reva, A. Skrinsky, B. Smirnov, B. Skarbo, B. Sukhina, K. Shrainer, BINP, Novosibirsk, Russia Yang X.D, Zhao H.W, Li J, Lu W, Mao L.J, Wang Z X, Yan H B, Zhang W, Zhang J H, IMP, Lanzhou, China, Commission of electron cooler EC-300 for HIRFL-CSR. RUPAC - 2004, XIX Russian Accelerator Conference RuPAC2004, Dubna (Russia), October 4 - 9, 2004.
- [7] A. Bublej, V. Reva, V. Parkhomchuk, New generation of the electron cooling systems, BINP, Novosibirsk, Russia, Proceeding APAC-04. 2004 (Корея).
- [8] А. В. Бублей, В. М. Панасюк, В. В. Пархомчук, В. Б. Рева «Измерение профиля интенсивного электронного пучка». ИЯФ СО РАН 2004-77, Новосибирск, 2004.
- [9] E. Bekhtenev, V. Bocharov, A. Bublej, Y. Evtushenko, A. Goncharov, A. Ivanov, V. Kokoulin, V. Kolmogorov, M. Kondaurov, S. Konstantinov, V. Kozak, G. Krainov, Y. Kruchkov, E. Kuper, A. Medvedko, L. Mironenko, V. Panasyuk, V. Parkhomchuk, V. Reva, K. Schreiner, B. Skarbo, A. Skrinsky, B. Smirnov, M. Vedenev, R. Voskoboinikov, M. Zakhvatkin, N. Zapiatkin (BINP SB RAS, Novosibirsk), J. Li, W. Lu, L. Mao, Z. Wang, X. Yan, Xiaodong Yang, J Zhang, Wei Zhang, Hongwei Zhao (IMP, Lanzhou). Commissioning of Electron Cooler EC-300. EPAC — 2004, 9th European Particle Accelerator Conference, EPAC'04, 5 — 9 July, 2004, Lucerne, Switzerland.
- [10] M. Steck, K. Beckert, P. Beller, A. Dolinskii, B. Franzke, F. Nolden (GSI, Darmstadt), V. Parkhomchuk, V. Reva, A. Skrinsky, V. Vostrikov (BINP SB RAS, Novosibirsk). An Electron Cooling System for the Proposed HESR Antiproton Storage Ring. EPAC - 2004, 9th European Particle Accelerator Conference, EPAC'04, 5 — 9 July, 2004, Lucerne, Switzerland.
- [11] A. Ivanov, V. Panasyuk, V. Parkhomchuk, V. Reva. Beam Dynamics Simulation in High Energy Electron Cooler. EPAC — 2004, 9th European Particle Accelerator Conference.
- [12] M. Petrichenkov, N. Alinovsky, V. Klyuev, E. Konstantinov, S. Konstantinov, A. Kozhemyakin, A. Kryuchkov, V. Parkhomchuk, A. Popov, S. Rastigeev, V. Reva, B. Sukhina The project of Accelerator Mass-Spectrometer at BINP. EPAC 2004, July, 5-9, Lucerne, Switzerland.
- [13] M. Petrichenkov, N. Alinovsky, V. Klyuev, E. Konstantinov, S. Konstantinov, A. Kozhemyakin, A. Kryuchkov, V. Parkhomchuk, A. Popov, S. Rastigeev, V. Reva, B. Sukhina, "Accelerator Mass-Spectrometer for Siberian Division of RAS", RuPAC 2004, October, 4-9, Dubna, Russia.
- [14] MULTY-BEAM ELECTRON GUN FOR ELIT-3A. Kuznetsov G. I., Batazova M. A., Kokin E. N., Neyfeld V. V., Petrov V. V., Radchenko V. M., Saputin N. I., Sandyrev V. K., RUPAC 2004, Dubna.
- [15] IrCe cathodes for EBIS. Kuznetsov G. I., JoP:Conference Series, v.2, pp.35-41, EBIS/T 2004, Tokyo Metropolitan University, 15-17 April 2004.
- [16] Test measurements on the RF charge Breeder device BRIC. V. Variale, A. Boggia, T. Clauser, A. Raino, V. Valentino, G. Verrone, P. Bak, G. Kuznetsov, B. Skarbo, and M. Tiunov. JoP:Conference Series, v.2, pp.117-126, EBIS/T 2004, Tokyo Metropolitan University, 15-17 April 2004.
- [17] Source of Negative Hydrogen Ions with Hot Cathode. Kuznetsov G. I. and Batazova M. A., 10th International Symposium on the Production and Neutralization of Negative Ions and Beams, Institute of Physics of NASU, Ukraine, 13-17 September 2004.
- [18] D. V. Pestrikov. Comment on "Centroid theory of transverse electron-proton two-stream instability in a long proton bunch", Phys. Rev. Spec. Top. — AB, v. 7, 119201 (2004).