

СИБИРСКИЙ ЦЕНТР СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А.И.Анчаров, В.М.Аульченко, В.Б.Барышев, Н.А.Винокуров, П.Д.Воблый, Е.Л.Гольдберг, К.В.Золотарев, Н.В.Коваленко, В.И.Кондратьев, В.Н.Корчуганов, Д.И.Кочубей, Г.Н.Кулипанов, Н.А.Мезенцев, С.В.Мигинский, С.И.Мишнев, С.В.Мытниченко, А.Д.Николенко, А.Д.Орешков, В.Е.Панченко, В.Ф.Пиндюрин, А.Н.Скринский, Б.П.Толочко, М.Г.Федотов, А.В.Филипченко, В.М.Цуканов, В.А.Чернов, М.А.Шеромов, В.А.Шкаруба.

Сибирский центр синхротронного излучения, 630090 Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева 11, Россия

Сибирский центр синхротронного излучения, организованный на базе лабораторий Института ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, как и в прежние годы, является основным местом проведения исследований с синхротронным излучением (СИ) и лазерами на свободных электронах (ЛСЭ) в России. Сибирский центр является открытым для Российских и зарубежных исследователей. На время проведения работ пучки СИ, экспериментальные станции и другая необходимая аппаратура предоставляются исследовательским группам безвозмездно.

Основными направлениями деятельности Сибирского центра синхротронного излучения являются:

- проведение исследований и разработка новых технологий с использованием синхротронного излучения накопителей ВЭПП-2М, ВЭПП-3 и ВЭПП-4,
- создание экспериментального оборудования для работы с СИ (каналы, оптика, монохроматоры, детекторы);
- разработка и создание накопителей – специализированных источников СИ,
- разработка и создание вигглеров и ондуляторов;
- создание лазеров на свободных электронах и Сибирского центра фотохимии.
- обучение и профессиональная подготовка студентов и аспирантов.

Экспериментальная база. Исследования в области вакуумного ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения проводятся на накопителе ВЭПП-2М (0.7 ГэВ), для работы в рентгеновской области используется синхротронное излучение накопителя ВЭПП-3 (2 ГэВ); начинают осваиваться новые каналы жесткого рентгена на ВЭПП-4М (6 ГэВ). Для работы с синхротронным излучением в 1998 – 1999 г.г. выделялось на накопителе ВЭПП-2М ~ 1200 часов/год и на ВЭПП-3 ~ 3000 часов/год. В настоящее время Центр располагает следующими станциями для экспериментов с синхротронным излучением.

ВЭПП-2М

3P1	Метрология в мягком рентгеновском излучении (работает)
4P, 6P, 2P	Стимулированная газовая фотодесорбция (SSC-1, SSC-2, SSC-3) - (работают)

ВЭПП-3

Канал СИ	Станция
0	LIGA-технология-2 (новая станция на канале 11-полюсного вигглера, создается, тестируется)
2	Дифрактометрия с высоким разрешением и аномальное рассеяние (работает)
3	Рентгенофлуоресцентный элементный анализ-1 (модернизирована, работает).
4	Разностная ангиография (переносится на ВЭПП-4)
4	Дифрактометрия в области 30 – 34 кэВ (новая станция, работает).
5a	Рентгеновская микроскопия и микротомография (временно не используется).
5e	Рентгенофлуоресцентный элементный анализ-2 (создается, тестируется) Изучение процессов взрыва и синтеза алмазов взрывом (работает).
5b	Дифрактометрия с временным разрешением (работает).
5c	Макромолекулярная кристаллография (работает).
5d	Неупругое рассеяние, малоугловое рассеяние (работает).
6	Люминесценция с временным разрешением (временно не используется).
7	LIGA-технология и стабилизация положения пучка СИ (работает).
8	EXAFS-спектроскопия (работает)
10	Рентгеновская литография (работает).

ВЭПП-4М

3	Дифрактометрия с временным разрешением (создается, тестируется)
7	Энергодисперсионная и Лауэ-дифрактометрия (создается, тестируется)

Персонал. Основой научно-технического коллектива Центра являются сотрудники Лаборатории синхротронного излучения и ряда других лабораторий ИЯФ вместе с постоянно работающими в Центре СИ и строящемся Центре фотохимии сотрудниками из нескольких других институтов СО РАН (ИХТТИМ, ИХКиГ, ИК, ИНХ). Именно этот персонал численностью около 100 человек обеспечивает работу по основным проектам Центра и функционирование экспериментальных станций. Значительно больший круг исследователей проводят свои эксперименты на станциях Центра СИ периодически, в пределах выделяемого им времени, 1-3 смены в неделю для сотрудников СО РАН или заездами длительностью от одной до нескольких недель для иногородних. В 1998 – 2000 г.г. в работах участвовало 80 исследовательских групп из 74 организаций России, ближнего и дальнего зарубежья.

Основные результаты работ на станциях в 1998-2000 г.г. В докладе приводится анализ направлений и основных результатов работ на экспериментальных станциях в период между двумя конференциями. Среди них можно назвать следующие.

Начаты исследования изменений структуры взрывчатого вещества непосредственно во время взрыва. Метод позволяет во время взрыва получать следующую информацию: 1) о динамике изменения плотности ВВ; 2) о динамике обжатия взрывом исследуемого вещества, 3) о развитии флуктуаций электронной плотности при прохождении детонационного фронта; 4) об изменении кристаллической структуры ВВ.

Реализован метод "Малоугловое рассеяние высокого разрешения" с использованием схемы Бонзе-Харта. Метод может работать вплоть до $s \sim 0.05 \text{ нм}^{-1}$, что эквивалентно рассеянию на периодических структурах размером до 130 нм.

Методом "grazing diffraction" на рентгеновском пучке СИ из ВЭПП-3 исследована структура границы между металлами, возникающей при холодном газодинамическом напылении микрочастиц алюминия на никелевую подложку.

Исследовались процессы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Получена информация о начальной стадии и промежуточных фазах СВС реакции.

Изучены фазообразование и структура синтезированных поликристаллических образцов массивной сверхпроводящей керамики $YBa_2Cu_3O_x$ (при $x = 6.5$ и 6.7) in situ.

Начаты эксперименты на новой станции по исследованию структуры вещества при высоких давлениях. Впервые исследованы структурные фазовые превращения при высоких давлениях в тройных халькогенидах $HgSe_{1-x}S_x$ и $HgTe_{1-x}S_x$. Начаты работы и получены первые результаты по изучению структуры клатратов – газовых гидратов при высоких давлениях.

Методом РФА-СИ на ВЭПП-3 исследованы сигналы палеоклимата в кернах донных осадков оз. Байкал на отрезке 780 тысяч лет. В полученных Фурье–спектрах геохимических палеоиндикаторов выделены периоды Миланковича от 19 до 413 тыс. лет. Анализом состава керна донных осадков Телецкого озера методом на станции РФА-СИ на ВЭПП-3 получены палеозаписи концентрации 27 трассерных элементов, содержащие данные о среднегодовой температуре и периодах циклов солнечной активности за последние 600 лет с разрешением 1.8 года.

Методом полихроматической рентгеновской топографии на ВЭПП-3 в диапазоне длин волн от 0,3 до 5А были проведены съемки несовершенных природных кристаллов алмазов. Экспериментальные данные по пластически деформированным алмазам способны дать уникальную информацию о параметрах (температура и давление) глубинных процессов в мантии Земли, происходивших в далеком прошлом, около 1.5 миллиарда лет назад.

Из анализа SXAFS спектров, полученных методом полного выхода электронов, определены параметры микроструктуры (межатомные расстояния, координационные числа и их анизотропия), установлена связь изменений этих параметров с морфологией германиевых квантовых точек (КТ) на Si (001) и предложены адекватные структурные модели. Методом EXAFS установлены структуры коллоидов нового типа рутения, родия и палладия. Коллоиды отличаются повышенной сорбционной емкостью по водороду и перспективны в качестве водородоаккумулирующих элементов.

Исследованы процессы формирования фильтрующих микропористых регулярных структур во фторсодержащих пленках методом прямого удаления полимера под действием пучка СИ (процесс абляции). Проведены исследования радиационной полимеризации пленок Ленгмюр-Блоджетт кислот 23-тетраказиновой и 2-доказиновой и их палладиевых солей с целью создания полимерных материалов, обладающих высокой электропроводностью, сравнимой или превышающей электропроводность металлов. Разработан метод и проведена аттестация рентгеновских фильтров по изменению контраста на К или L- краях поглощения элементов в области мягкого рентгеновского излучения.

Разработка рентгеновских детекторов и рентгеновской оптики. Активно ведется разработка детектора высокого углового разрешения для порошковой дифрактометрии 1Д-160. Начато испытание прототипа детектора высокого временного разрешения ОД-4-120 с угловой апертурой 120 градусов. Проведены успешные испытания однокоординатной ионизационной камеры, предназначенной для медицинской диагностики. Начато серийное производство детекторов ОД-3-350. Сдан в эксплуатацию и установлен на канале 5 ВЭПП-3 двухкоординатный детектор ДЕД-5.

Начаты работы по созданию и применению рентгеновских планарных волноводов с боковой накачкой. Изготовлены Мо/Ве/Мо волноводы с толщиной Ве слоя 80 нм и 120 нм. Измерения на ESRF показали рекордное усиление плотности выходного пучка (по сравнению с падающим) более чем в 100 раз на энергии 13 кэВ. Для одномерного случая это значение на порядок больше, чем значения, достигнутые другими методами. Успешно проведены испытания на ВЭПП-3 другой модификации волновода со структурой С/Ве/С. Было получено усиление на TE_0 моде в 300 раз на энергии 8 кэВ. Отличительной особенностью волновода является его одномодовость. С целью получения циркулярно-поляризованного рентгеновского излучения для экспериментов по магнитному

циркулярному дихроизму (MCD), проведены эксперименты по преобразованию линейно-поляризованного излучения в циркулярно поляризованное. В качестве четвертьволновой пластинки был использован монокристалл алмаза.

Разработка и создание ускорителей - источников СИ. Завершен важный этап в создании Курчатовского Источника Синхротронного Излучения (КИСИ, г. Москва) – первого в России специализированного ускорительного комплекса, предназначенный для генерации пучков синхротронного излучения (СИ). Он был полностью разработан и изготовлен в ИЯФ СО РАН и размещен на территории РНЦ “Курчатовский институт”. Комплекс включает в себя два накопителя электронов: Сибирь-1 на 450 МэВ и Сибирь-2 на 2.5 ГэВ. Сейчас максимальный ток в накопителе Сибирь-2 на энергии инжекции в многосгустковом режиме составляет 140 Ма, а в односгустковом – 60 Ма. Максимальный ток, ускоренный до 2.5 ГэВ, достиг 78 Ма. 1 ноября 1999 года состоялась официальная процедура открытия КИСИ. В 2000 году планируется работа по увеличению тока и времени жизни пучка в накопителе Сибирь-2 на энергии 2.5 ГэВ.

В ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН разработана и спроектирована магнитная система для источника СИ Swiss Light Source (SLS). Заказчик – Paul Scherer Institute, гop. Villigen, Швейцария.. Изготовлены и переданы заказчику 306 квадрупольных и секступольных магнитов.

Сотрудниками ИЯФ была впервые предложена новая концепция источника СИ на основе не накопителя заряженных частиц, а микротрона–рекуператора. Разработан эскизный проект источника синхротронного излучения четвертого поколения MARS с параметрами: максимальная энергия электронов – 5 ГэВ, средний ток до 10 мА, горизонтальный эмиттанс меньше 0.01 нм·рад., относительный разброс энергий в пучке – 0.001%. Излучение из ондуляторов длиной 100 – 150 метров, установленных на таком ускорителе, будет превосходить по яркости источника СИ третьего поколения в диапазоне длин волн 0.1–4 нм на несколько порядков.

ИЯФ СО РАН совместно с компанией Kawasaki Heavy Industries, Ltd. продолжает разработку проекта источника синхротронного излучения NANO-HANA для Японии. Этот проект является примером «промышленного» малобюджетного источника СИ с энергией 2.0 ГэВ, периметром 107.5 м и восемью прямолинейными промежутками длиной 4.5 м, где будут размещаться змейки и ондуляторы. Окончательное решение по реализации проекта NANO-HANA намечено принять в середине 2001 г.

Разработка и создание вигглеров и ондуляторов. В ИЯФ СО РАН в последние годы активно развивается производство сверхпроводящих вигглеров с высокой индукцией магнитного поля (от 7 до 10.3 Т). В 1998 году первый 7.5 Т сверхпроводящий вигглер был установлен в ускорительном центре LSU-CAMD (США), В 1999 была завершена работа над созданием одновременно двух сверхпроводящих вигглеров для ускорительных центров: 7.5 Т для BESSY-II (Germany) и 10.3 Т для SPring-8 (JAPAN). Все вигглеры в настоящее время работают в указанных центрах. Использование сильнополевых вигглеров дает возможность сместить спектр излучения уже построенных источников СИ в более коротковолновую область и значительно увеличить мощность излучения.

Кроме того, изготовлен, установлен и запущен в работу эллиптический вигглер для генерации излучения с произвольной поляризацией на накопителе APS (Argonne National Laboratory, США). Изготовлен и протестирован ондулятор для получения циркулярно поляризованного СИ с быстрым изменением знака поляризации для накопителя APS (Argonne National Laboratory, США). Время переключения знака поляризации составляет 5 мс. В 1999 г. ондулятор установлен на APS. Спроектированы и изготовлены по заказу Duke University 4 электромагнитных ондулятора, каждый с длиной 4 метра, периодом 12 см и полем 0.4 Т. Благодаря разделению питания катушек, создающих горизонтальные и вертикальные поля, имеется возможность использовать эти ондуляторы, как планарные, эллиптические или спиральные.

Создание лазеров на свободных электронах и Сибирского центра фотохимии. Работы по созданию ЛСЭ в России ведутся, в основном, в ИЯФ СО РАН, где получено много важных экспериментальных и теоретических результатов в этой области. Концепция создания

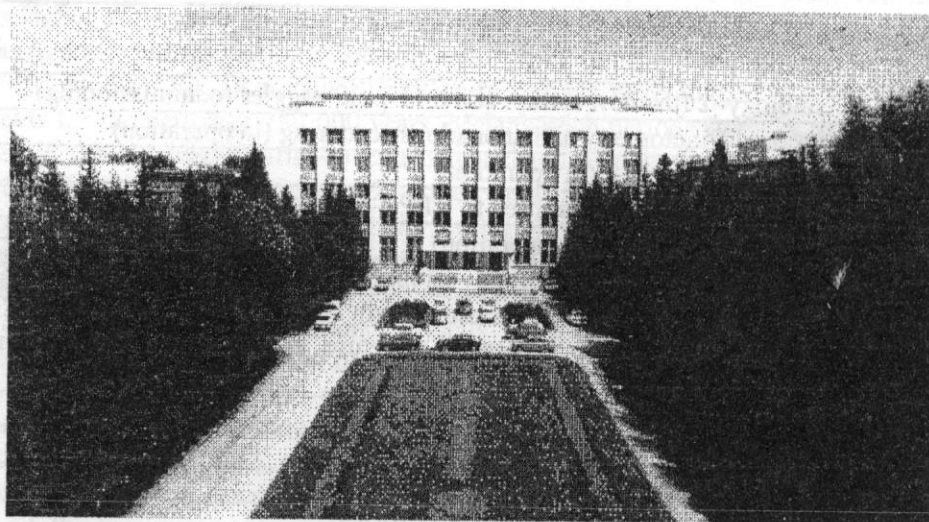
мощного ЛСЭ (100 кВт) ИК диапазона на базе микротрона-рекуператора, разработанная в ИЯФ, признана наиболее перспективной большинством специалистов. На базе этого ЛСЭ в Новосибирске создается Центр фотохимических исследований, который будет предоставлять излучение и экспериментальные станции для проектов на конкурсной основе. Первая очередь ускорителя-рекуператора, планируемая к запуску уже в 2001 г., включает полномасштабную ВЧ-систему и лишь один оборот пучка. В этом варианте она позволит получить излучение с длиной волны 100 – 200 мкм и мощностью до 5 кВт.

В октябре 1999 г. в Duke's Free Elektron Laser Laboratory (США) на магнитной системе ОК-4, изготовленной в ИЯФ и работавшей ранее на накопителе ВЭПП-3, а по окончании работ перевезенной в Университет Duke, получена ЛСЭ-генерация в ультрафиолетовой области с рекордно короткой длиной волны (1.937 Σ).

В декабре 1999 г. получена генерация на ЛСЭ дальнего ИК диапазона (100 мкм) на базе 8-МэВ микротрона в Корейском институте атомной энергии (KAERI), Тэджон, Корея. ЛСЭ создан в результате сотрудничества ИЯФ СО РАН и KAERI.

Работы Сибирского центра СИ проводятся при финансовой поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ, Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Сибирского отделения РАН (интеграционные проекты), Международного научно-технического центра (МНТЦ) и INTAS.

Геннадий Николаевич Кулипанов kulipanov@inp.nsk.su



THE SIBERIAN SYNCHROTRON RADIATION CENTER: ACTIVITY AND RESULTS

A.I.Ancharov, V.M.Aulchenko, V.B.Baryshev, V.A.Chernov, M.G.Fedotov, E.L.Goldberg,
D.I.Kochubey, V.I.Kondratyev, V.N.Korchuganov, N.V.Kovalenko, G.N.Kulipanov,
N.A.Mezentsev, S.V.Miginsky, S.I.Mishnev, S.V.Mytnichenko, A.D.Oreshkov, V.E.Panchenko,
A.V.Philipchenko, V.F.Pindyurin, A.D.Nikolenko, A.N.Skrinsky, M.A.Sheromov, V.A.Shkaruba,
B.P.Tolochko, V.M.Tsukanov, N.A.Vinokurov, P.D.Vobly and K.V.Zolotarev.

Siberian Synchrotron Radiation Center, Lavrentyev Av. 11, 630090 Novosibirsk, Russia.

Siberian Synchrotron Radiation Center (SSRC) organized on the base of laboratories of Budker Institute of Nuclear physics SB RAS (Novosibirsk) remains the main site of synchrotron radiation (SR) and free electron laser investigations in Russia. SSRC is the research center, which is open and free of tax for the research teams from Russia and from abroad.

The plan for activity of the Siberian Synchrotron Radiation Center included the following lines:

- performance of investigations and development of new technologies using synchrotron radiation of the VEPP-2M, VEPP-3 and VEPP-4M storage rings,
- creation of experimental equipment for work with SR (beamlines, optics, monochromators and detectors);
- designing and creation of the storage rings -- specialized SR sources, wigglers and undulators;
- creation of free electron lasers and the Siberian center of photochemistry,
- education and professional training of the students and post-graduates.

The basic equipment. The VUV and soft X-ray studies are carried out at a 0.7 GeV storage ring VEPP-2M; SR from VEPP-3 (2 GeV) is used for the works in the X-ray range. In 1998 there are started the works at the new X-ray and hard X-ray beamlines from VEPP-4M (6 GeV). In 1998-1999, 1200 hours per year were allocated for experiments with synchrotron radiation at VEPP-2M and 2820 hours at VEPP-3. Today's list of the SSRC experimental stations includes:

VEPP-2M

3P1	Soft X-ray metrology (in operation)
4P, 6P, 2P	SR stimulated gas photodesorption (SSC-1, SSC-2, SSC-3) - (in operation)

VEPP-3

Beamline	Experimental station
0	LIGA-technology-2 (the new station at the 11-pole wiggler (commissioning))
2	High resolution diffractometry and anomalous scattering (in operation)
3	X-ray fluorescent analysis-1 (in operation)
4	Subtraction angiography (to be shifted to VEPP-4M)
4	30 to 34 KeV diffractometry (in operation)
5a	X-ray microscopy and microtomography (stopped temporarily).
5e	X-ray fluorescent analysis-2 (under construction) The change of the explosive substance structure in the course of explosion. (in operation)
5b	Time resolved diffractometry (in operation)
5c	Macromolecular crystallography (in operation)
5d	Small angular scattering (in operation).
6	Time resolved luminescence (stopped temporarily).
7	LIGA-technology and stabilisation of the SR beam position (in operation)
8	EXAFS-spectroscopy (in operation)
10	X-ray lithography (in operation)

VEPP-4M

3	Time resolved diffractometry (under construction and testing)
7	Energy dispersive and Laue diffractometry (under construction and testing)

Personnel. The team of the Center is mainly composed of the staff of the Synchrotron Radiation Laboratory and some other Laboratories of Budker INP with some people from other Institutes of the Siberian Branch (ISSC&M, Boreskov IC, ICK&C, IIC) working permanently at the SR Center and Center of Photochemistry. Just this team of about 100 people provides the operation according to the basic projects of the Center and the maintenance of all the experimental stations. Quite a large number of researchers carry out experiments at SR Center stations periodically within the limit of the allocated time: 1-3 shifts per week for organizations of Siberian Branch and from one

to several weeks for researchers from other cities. In 1998-2000, 80 research teams from 74 Institutions of Russia and from close and far abroad worked at the beamlines of SSRC.

Basic results of the works at the experimental stations in 1998-2000. In the report there an analysis of trends and basic results of works at experimental stations in the period between two Conferences. Among them we can indicate the following:

Investigations commenced on the change of the explosive substance structure in the course of explosion. The technique developed enables one to obtain the following information in the course of explosion: 1) dynamics of ES density variation; 2) dynamics of explosive compression of the substance studied; 3) development of electron structure fluctuations when passing the detonation front; 4) variation of the ES crystal structure.

The method «Small-angle scattering with high resolution» was realized with the use of the Bonze-Hart technique. The method is operational up to $\sim 0.05 \text{ nm}^{-1}$, which is equivalent to scattering on periodical structures of up to 130 nm.

The structure of metal interface occurred at cold gasdynamic spraying of aluminum microparticles onto the nickel substrate was studied on the SR X-ray beam from VEPP-3 with the «grazing diffraction» technique.

Processes of the self-propagating high-temperature synthesis (SPHTS) were studied. Information on the initial stage and intermediate phases of the SHS reaction is obtained. The phase formation and structure of synthesized polycrystalline specimens of the massive superconducting ceramics $\text{Yba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ are studied at $x=6.5$ and 6.7 in situ.

Experiments started at a new station designed for studies of the structure of matter at high pressures. The structural phase transitions were first studied at high pressures in triple chalcogenides $\text{HgSe}_{1-x}\text{S}_x$ and $\text{HgTe}_{1-x}\text{S}_x$. The work commenced and first results on the structure of clathrates - gas hydrates at high pressures are obtained.

At VEPP-3 by the XFA-SR method the paleo-recordings were studied in cores of the Lake Baikal sediments for the period of 780 000 years. Melankovich periods from 19 to 413 000 years were separated in the obtained Fourier-spectra of geochemical paleo-indicators. For the Teletsky Lake, paleo-recordings of concentrations of 27 tracer elements containing the data on the average annual temperature and periods of solar activity cycles for the last 600 years with the 1.8 year resolution were obtained at VEPP-3 by the analysis of the core composition of sediments with the XFA-SR method.

Shots of imperfect natural diamond crystals were performed at VEPP-3 within the wavelength range 0.3-0.5 by the method of polychromic X-ray topography. Experimental data on the elastically-deformed diamonds can provide the unique data on parameters (temperature and pressure) of profound processes occurred about 1.5 billion years ago in the Earth Mantle.

From the analysis of SXAFS spectra obtained by the method of the total yield of electrons the microstructure parameters (interatomic distances, coordination numbers and their anisotropy) were determined, the correlation between the variation of these parameters and the morphology of germanium quantum points (QP) at Si (001) was established, and adequate structural models were suggested. New type structures of ruthenium, rhodium and palladium colloids were found. Colloids are characteristic by their higher hydrogen sorption capability and could be promising hydrogen-accumulating elements.

The processes of formation of filtering regular micro-porous structures in fluorine-containing films by the method of polymer removal with the direct action of SR-beam (the process of ablation) were studied. Studies of the radiation polymerization of Langmuir-Blodgett films of 23-tetracaine and 2-docaine acids and their palladium salts were performed with the aim of producing polymer materials of high electrical conduction comparable or exceeding that of metals. The method was developed and certification of X-ray filters was performed by the contrast change at the L- and L-absorption edges of elements in the soft X-ray range.

Development of X-ray detectors and optics. The development of the high angular resolution detector 1D-160 for the powder diffractometry is in good progress. The detector prototype OD-4-120 with an angular aperture of 120 degrees is under test. The one-coordinate ionization chamber designed for medical diagnostics has passed tests successfully. The serial production of OD-3-350

detectors started. The two-coordinate detector DED-5 was installed at VEPP-3 (beamline-5) and put into operation.

Works on the development and application of X-ray planar waveguides with a side pumping started. INP manufactured Mo/Be/Mo waveguides with the thickness of Be-layer of 80 nm and 120 nm. ESRF measurements have shown the record exit beam density gain (compared to the incident beam), more than 100 times higher at an energy of 13 keV. For one-dimensional case, this value exceeds by an order of magnitude the values attained by other methods. Another version of the waveguide with the C/Be/C structure was successfully tested at VEPP-3. The gain by a factor 300 was achieved at TE₀ mode at energy 8 keV. The characteristic feature of the waveguide is its single mode.

Aiming at obtaining the circularly-polarized X-ray radiation for experiments on the magnetic circular dichroism (MCD) the experiments were carried out on the transformation of the linearly-polarized radiation into the circularly-polarized radiation. The diamond monocrystal was used as 1/4 -wave plate.

Development and construction of the accelerators - SR sources. An important stage in the development of the Kurchatov SR Source (KSRS, Moscow) is completed. This is the first in Russia accelerator complex especially designed for the generation of synchrotron radiation beams. The project was completely developed and constructed at the Budker INP SB RAS and located at the site of the Russian Research Center «Kurchatov Institute». The Complex comprises two electron accelerators: Siberia-1 at 450 MeV and Siberia-2 at 2.5 GeV. At present, the maximum current in Siberia-2 at the injection energy in the multi-bunch mode is 140 mA and in the single-bunch mode 60 mA. Maximum current accelerated up to 2.5 GeV was attained to be 78 mA. The official procedure of the KSSR implementation was held on 1st November, 1999. In 2000, it is planned to increase the current and lifetime of the beam at the Siberia-2 storage ring at energy 2.5 GeV.

The magnetic system for the Swiss Light Source (SLS, Paul Scherer Institute, Willigen) was developed and designed at the Budker INP SB RAS. 306 quadrupole and sextupoles magnets were manufactured and delivered to the customer.

A new concept of SR-source based on the microtron-recuperator (not accelerator-based) was first suggested at the Budker INP. The sketch project of the SR source of the 4th generation (MARS) was developed with the following parameters: maximum electron energy - 5 GeV, mean current is up to 10 mA, horizontal emittance is 0.01 nm rad, and relative energy spread in a beam is 0.001%. Radiation from 100-150 m long undulators installed at such an accelerator will exceed by several orders of magnitude the brightness of SR-sources of the third generation within the wavelength range 0.1-4 nm.

INP SB RAS jointly with the Kawasaki Heavy Industries, Ltd continues the development of the NANO-HANA SR Source. This project is an example of the «industrial» low-budget SR Source with an energy of 2.0 GeV, circumference of 107.5 m, and 8 straight sections of 4.5 m long each, where wigglers and undulators will be located. The final decision on the realization of the NANO-HANA Project is expected in the middle of 2001.

Development and construction of the wigglers and undulators. In recent years at INP, the production of superconducting wigglers with highly inductive magnetic field (from 7 to 10.3 T) is being developed quite actively. In 1998, the first 7.5 T wiggler was installed at the Accelerator Center LSU-CAMD (USA). In 1999, the construction of simultaneously two superconducting wigglers for accelerator center was completed: a 7.5 T wiggler for BESSY-II (Germany) and 10.3 T wiggler for SPring-8 (Japan). At present, all the wigglers are being operated in these centers. The use of strong-field wigglers enables one to shift the radiation spectrum of available SR Sources to the shorter-wave region and increase substantially the radiation power.

In addition, the helical wiggler for generation of synchrotron radiation with an arbitrary polarization was constructed, installed and put into operation at the APS storage ring (Argonne National Laboratory, USA). The undulator designed for APS to obtain the elliptically polarized SR with the fast change of the polarization sign was manufactured and tested. The time of reswitching the polarization sign is 5 ms. In 1999, the undulator is installed at APS. By the order of the Duke University, four electromagnetic undulators with a period of 12 cm and field of 0.4 T are designed

and constructed. Because of the individual power supply of coils producing horizontal and vertical fields these undulators can be used as the planar, elliptical, or helical ones.

Development and construction of the free electron lasers and the Siberian Center of Photochemistry. In Russia, the works on the development of FELs is mainly performed at the Budker INP SB RAS where many important experimental and theoretical results in this field are obtained. The concept of a powerful FEL (100 kW) on the base of the microtron-recuperator developed at INP was recognized by majority of specialists as the most promising concept. The FEL based Center of Photochemical Research is being created in Novosibirsk to provide radiation and experimental stations for projects on the base of competition. The first stage of the accelerator-recuperator including the full-scale RF-system and only one revolution of a beam is planned to be commissioned already in 2001. The first stage make it possible to produce 5 kW beam of 100 – 200 μm IR region.

In October, 1999, at Duke's Free Electron Laser Laboratory (USA) the FEL-generation in the ultraviolet range was obtained with a record short wavelength (1.937 A) on the magnetic system OK-4 constructed and operated earlier at INP (VEPP-3) and transferred to the Duke University upon the completion of work at INP.

In December, 1999, lasing was achieved in the far IR range FEL (100 μm) based on a 8 MeV microtron at the Korean Institute of Atomic Energy (KAERI), Taejon, R.Korea. The FEL was constructed jointly by INP and KAERI.

R&D supported by Ministry of Industry, Science and Technology of Russian Federation, Russian Fund of Basic Research (RFBR), Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, International Science & Technology Center (ISTC) and INTAS.

Gennady Kulipanov kulipanov@inp.nsk.su

1-83

КУРЧАТОВСКИЙ ИСТОЧНИК СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Г.Станкевич

РНИЦ "Курчатовский Институт"

Курчатовский Источник Синхротронного Излучения (КИСИ) предназначен для проведения экспериментов с СИ в диапазоне длин волн 0,1-2000 ангстрем. Установка включает в себя накопитель - специализированный источник синхротронного излучения "Сибирь-2" с энергией электронов 2.5 ГэВ и бустерный синхротрон-инжектор "Сибирь-1" с энергией электронов 450 МэВ в качестве независимого источника СИ в диапазоне вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена.

Основные экспериментальные параметры накопителей в настоящее время:

	"Сибирь-1"	"Сибирь-2"
Энергия, МэВ	450	2500
Окружность, м	8,6832	124,13
Количество ячеек	2	6
Количество секций под вставные устройства		9
Ток в одnobанчевом режиме, мА	59	20
Ток в многобанчевом режиме, мА	142	72
Горизонтальный эммитанс, м·рад	$8,6 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-8}$
Частота ВЧ, МГц	35,4	181,14
Время жизни, ч	4	1