

В СССР сформулированы принципы лазерного и электронно-пучкового термоядерного синтеза с инерционным удержанием, получены первые термоядерные нейтроны в лазерном и электронном термоядерном синтезе, наблюдалось сжатие мишеней, исследованы механизмы взаимодействия мощного лазерного излучения и РЭП с веществом. В докладе Л. И. Рудакова, представленном на заседании ТК и на конференции, рассмотрена транспортировка энергии и РЭП в термоядерных устройствах и проанализированы экспериментальные результаты ИАЭ им. И. В. Курчатова по программе «Ангара». Показано, что имеется возможность создания импульсного термоядерного реактора на основе подвода энергии по вакуумным линиям с магнитной самоизоляции непосредственно к поверхности мишени. В этой концепции реактора условия взаимодействия РЭП с веществом те же, что и достигнутые в опытах, проведенных группами В. П. Смирнова (установка «Тритон»), Э. З. Тарумова («Урал»), М. В. Бабыкина («Ангара-1»). На «Ангаре-1» была найдена геометрия высоковольтного диода, позволившая сфокусировать РЭП до 10^7 А/см² и 10^{13} Вт/см². Этот режим фокусировки был подтвержден и исследован на установке «Кальмар-1». На заседании ТК МАГАТЭ был заслушан доклад Н. Г. Ковальского, П. П. Пашина, М. Я. Пергамента о совместной работе ИАЭ им. И. В. Курчатова и ФИАНА по моделированию процессов, протекающих при сжатии оболочечных мишеней в экспериментах по взаимодействию лазерного излучения с тонкими фольгами.

В Японии на исследования инерционного удержания тратится 10% бюджета термоядерного синтеза. Головным институтом по лазерному и электронному синтезу является Институт лазерной техники университета в Осаке. В работах участвует Институт физики плазмы в Нагоя (расчеты на ЭВМ), электротехническая лаборатория (Токио) и несколько других университетов. В Осаке параллельно развиваются лазеры на неодимовом стекле серии «Гекко» («Гекко IV»: фосфатное стекло фирмы «Хоя», автоматическая система настройки, 6 ТВт, 10 нс, 4 пучка), СО₂-лазеры серии «Лекко» («Лекко II»: 1 кДж, 1 нс, 2 пучка) и РЭП серии «Рейден» («Рейден III»: 100 кА, 500 кэВ, 80 нс). В 1979 г. намечается пуск лазеров «Гекко XII» и «Лекко X» с энергией лазерного излучения 10 кДж. Строится силовой электронный ускоритель «Рейден IV» (1,7 МэВ, 1,7 МА, 30 нс). Согласно японской программе исследований, в 1980—1990 гг. предусмотрено создание лазера с энергией 100 кДж и РЭП с энергией 1 МДж.

Во Франции исследования лазерного термоядерного синтеза проводятся в научно-исследовательском центре Лимей (неодимовый лазер Р-102; СО₂-лазер М-3: 10 Дж, 1,7 нс; строится 8-пучковый неодимовый лазер «Октябрь»: 500 Дж, 2 ТВт, 300 нс) и в Политехническом институте в Палезо (СО₂-лазер: 4 Дж, 1,4 нс; в 1979 г. энергия будет доведена до 50 Дж). Исследования электронного термоядерного синтеза ведутся в научно-исследовательском центре Вальдюк (ускоритель «Шантеклер»: 500 кэВ, 250 кА, 50 нс).

В ФРГ работы по инерционному удержанию проводятся в Гархинге (годовой бюджет 5 млн. марок, 12 чел.) на подном лазере «Астерикс-3» (1 ТВт, 0,3—0,5 нс). В Канаде взаимодействие лазерного излучения с веществом изучают в лаборатории Отдела физики Национального научно-исследовательского Совета (Оттава, СО₂-лазер, $3 \cdot 10^{14}$ Вт/см²), в лаборатории «Хайдро-Квебек» и университетах Квебека, Британской Колумбии и Альберты. Во Фраскати (Италия) сооружаются СО₂-лазер (0,05 ТВт к 1979 г., 1 ТВт к концу 1980 г.) и 2-пучковый лазер на неодимовом стекле (0,2 ТВт, 1—10 нс). В Австралии взаимодействие лазерного излучения с веществом исследуется экспериментально в Австралийском национальном университете (Канберра) и теоретически в Университете Нового Южного Уэльса (Сидней). В Великобритании (Калэм) занимаются в основном разработкой методов диагностики. В Швейцарии взаимодействие лазерного излучения с плазмой изучается теоретически в Центре плазменно-физических исследований (Лозанна) и экспериментально с использованием неодимового лазера (1,5 Дж, 35 нс) — в Институте прикладной физики (Берн). Теоретические исследования в области статистической физики и кинетической теории проводятся в Бельгии (Брюссель).

На заключительном заседании ТК МАГАТЭ были заслушаны обзорные доклады К. Бракнера (состояние теории и эксперимента в лазерном термоядерном синтезе), С. Яманака (успехи лазерной техники) и Л. И. Рудакова (достижения в применении для управляемого термоядерного синтеза электронных пучков). По общему мнению, инерционное удержание — перспективное направление термоядерных исследований и ТК МАГАТЭ был интересным и полезным. Очередное совещание экспертов намечено провести в 1979 г. в Японии.

ФАНЧЕНКО С. Д.

III совещание по синхротронному излучению

Совещание состоялось в марте 1978 г. в Новосибирске. В нем участвовали представители более 20 исследовательских центров Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Еревана, Харькова, Свердловска, Тарту, Томска, а также зарубежные ученые из Станфорда (США), Гамбурга (ФРГ), Орсе (Франция).

Характерным для этого совещания является многообразие затронутых тем: источники синхротронного излучения (СИ), биология, атомная и молекулярная физика, физика твердого тела и физика поверхностных явлений, люминесценция, рентгеновская интерферометрия и топография, ядерная физика. Такое многообразие обусловлено большими возможностями, заложеными в источниках СИ: высокая интенсивность в широком интервале излучаемых длин волн (от субмиллиметровых до рентгеновских), высокая степень поляризации, острая направленность излучения в meridional плоскости источника, хорошо известная зависимость интенсивности СИ от точно измеряемых параметров источника (ускоренный ток, радиус орбиты и значение магнитного поля в точке излучения) и как следствие возможность использования источников СИ в качестве светометрического стандарта и т. д.

Обсуждению параметров и перспектив развития источников СИ было посвящено более 10 докладов, охвативших практически все источники Советского

Союза и некоторые зарубежные. В докладе Г. Н. Кулипанова описаны действующие электрон-позитронные накопители ВЭПП-2М и ВЭПП-3, а также накопитель ВЭПП-4, находящийся в стадии пуска. На трех каналах СИ ВЭПП-2М в диапазоне 6—1200 эВ работают четыре установки, на одном канале СИ ВЭПП-3 излучение в диапазоне 2,5—25 кэВ выводится на три установки. На этих источниках уже выполнено около 60 работ по физике, химии, биологии [1].

На накопителе SPEAR в Стэнфорде два канала СИ оснащены девятью установками (Г. Браун, США). Сооружается третий, еще два канала проектируются. Первый канал предназначен для работы с излучением в диапазоне 300—400 эВ, второй 20—600 эВ, третий канал рассчитан на 5—20 эВ. Сейчас на SPEAR две лаборатории СИ, обеспечено финансированием создание еще трех, первую из них планируется ввести в 1979 г. Предполагается, что к концу 1978 г. 50% времени SPEAR будет работать на программы по физике высоких энергий и еще 50% на программы по СИ [2]. Г. Маттерлик (ФРГ) ознакомил с работами, ведущимися на электронном синхротроне DESY и накопителе DORIS. На каждом из них имеется по две лаборатории с каналами, предназначенными для работы со многими установками. На DORIS предполагается создать каналы СИ с большой апертурой, использующие около 30% СИ, которое испускается электронным пучком в одном из квадрантов.

В. И. Квочка и Ю. М. Терешкин рассказали о Государственном эталоне единицы спектральной яркости излучения в диапазоне 5—25 эВ на базе импульсного безжелезного синхротрона на энергии 50 МэВ. Развиваются работы по использованию СИ на электронных ускорителях ФИАНа, Ереванского физического института (ЕрФИ), Томского политехнического института (ТПИ).

На совещании отмечалось, что для некоторых задач требуются интенсивности, на три-четыре порядка превышающие достигаемые в каналах СИ. В связи с этим практически на всех накопителях и синхротронах сооружаются ондуляторы (виглеры, змейки) и каналы ондуляционного излучения (ОИ). Группы, работающие на синхротронах «Пахра» ФИАНа и ТПИ, рассказали о первых исследованиях, выполненных с ондуляторами, расположенными в прямолинейных промежутках ускорителей; были измерены спектрально-угловые и поляризационные характеристики ОИ, которые оказались в хорошем согласии с теорией ОИ [3]. Интенсивность ОИ, приходящаяся на единичный интервал углов и энергий, в этих экспериментах была более чем на порядок выше интенсивности СИ. Специалисты ИЯФ СО АН СССР представили на совещание проект сверхпроводящей змейки с полем $\sim 3,5$ Т, которую планируется установить на накопителе ВЭПП-3. Канал ОИ оснащается девятью установками. Мощность излучения в канале будет достигать 3 кВт. Планируется также создать канал ОИ с семью установками на ВЭПП-4, где при энергии около 5 ГэВ можно будет получать фотоны энергией 0,1—1 МэВ. Г. Браун в докладе сообщил, что на SPEAR летом 1978 г. будет установлен ондулятор (1,8 Т, 7 полюсов). Систематическую эксплуатацию пучка ОИ планируется начать в сентябре 1979 г.

Специалисты ЕрФИ выступили с проектом специализированного источника СИ на основе накопителя электронов энергией 2,5 ГэВ. На накопителе предполагается иметь около 30 каналов СИ.

Несколько интересных докладов было посвящено излучению релятивистских частиц, каналируемых

в кристаллах. На одном из заседаний обсуждались спектроскопические исследования, выполненные в пучках СИ, в частности, были заслушаны доклады, дающие представление о тематике заседания: Т. М. Зимкиной, Б. Зонштата (ИГУ, DESY) «Ультрамягкие рентгеновские спектры поглощения редкоземельных элементов в конденсированном и атомарном состояниях»; С. И. Иванова и др. (МГУ, ИЯФ СО АН СССР) «Ультрафиолетовая люминесценция кристаллов при возбуждении рентгеновским синхротронным излучением накопителя ВЭПП-3».

Часть докладов была посвящена методике экспериментов с СИ. Интерес вызвали доклады об электронных методах регистрации рентгеновского излучения (А. А. Хабахпашев, Г. Д. Богомолов и др.). Нитяные пропорциональные счетчики на три порядка чувствительнее рентгеновских пленок. В настоящее время уже достигнуто разрешение $\sim 0,1$ мм и быстродействие ~ 1 МГц. Г. Д. Богомолов рассказал о применении методики пропорциональных счетчиков для низкоэнергетического излучения. Е. П. Степанов сообщил о первой попытке использования СИ для мессбауэровских экспериментов.

В докладе И. П. Еремеева сделаны оценки выхода нейтронов из бериллиевой мишени под действием излучения змейки с полем 6 Т на накопителе ВЭПП-4 при энергии 7 ГэВ. Такой импульсный источник нейтронов за время $\sim 10^{-10}$ с должен создавать плотность потока $\sim 10^{15}$ нейтр./ $(\text{с}\cdot\text{см}^2)$. Источник нейтронов представляет длинную тонкую нить — «нейтронный фокус». Оценки показывают, что в пучке СИ можно получать потоки нейтронов, в десятки раз превышающие потоки от проектируемых источников других типов.

Часть докладов совещания была посвящена исследованиям структуры кристаллических белков при использовании СИ. Высокая яркость источника позволяет применять для съемки образцы в 100—1000 раз меньше по сравнению с обычной рентгеновской техникой или уменьшать в аналогичное число раз время съемки дифракционных картин. При исследовании биологических структур, которые плохо растут, мало живут или слабо рассеивают, это является новой качественной ступенью в изучении. На нескольких примерах было проиллюстрировано (Г. Д. Мокульская, С. В. Кузев) успешное применение позиционно-чувствительного 128×128 -канального детектора рентгеновского излучения для получения дифракционных картин от кристаллических белков. Дифракцией синхротронного излучения было определено (И. Я. Скуратовский и др.) положение иона цезия в структуре кристаллической В-формы ДНК.

Обзорный доклад А. А. Вазинной и др. освещал современное состояние работ по применению СИ для исследования биополимеров и использованию метода «дифракционного кино» для наблюдения динамики одиночного мышечного сокращения. Процессы биологической подвижности длятся миллисекунды, однако использование обычных источников потребовало бы десятки или сотни часов на экспозицию. Используя синхротронное излучение накопителя электронов, можно получать информацию в течение миллисекунд и подойти к решению фундаментальной проблемы — связи структуры и функций биополимеров.

Теоретические соображения по дифракции СИ на мозаичных кристаллах были изложены в докладе В. А. Белякова и др. Рентгеновской топографии кристаллов с использованием СИ накопителя электронов был посвящен доклад О. П. Алешко-Ожевского и др. На примерах были продемонстрированы возможности нако-

пителя ВЭПП-3 для получения топограмм кристаллов при фазовых переходах, наблюдения электрических и магнитных доменов и изучения сильно нарушенных и сильно поглощающих кристаллов. Исследованиям с помощью СИ синхротрона на 6 ГэВ в областях рентгеновской интерференции и дифракционных поляризационных явлениях на совершенных кристаллах, а также биологическому действию синхротронного излучения на ДНК и хромосомный аппарат были посвящены доклады специалистов ЕРФИ.

В рамках совещания был проведен семинар по изучению тонкой структуры рентгеновских спектров.

АЛЕШКО-ОЖЕВСКИЙ О. П., БЕССОНОВ Е. Г., ЯКИМЕНКО М. Н.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулипанов Г. Н., Скринский А. Н. «Успехи физ. наук», 1977, т. 122, с. 369.
2. CERN Courier, 1977, v. 17, N 12, p. 411.
3. Алферов Д. Ф., Башмаков Ю. А., Бессонов Е. Г. В кн.: Труды ФИАНа, 1975, т. 80, с. 400.

Abstracts of Articles in This Issue

UDC 621.039.524.2.034.44

Baturov B. B., Ivanov A. A., Koryakin Yu. I., Naumov Yu. V., Popurin L. S., Smirnov V. G. Overall Optimization of a Water-Graphite Reactor APS.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 91.

There is considered a procedure for technological and economic optimization of APS parameters using individual models of APS reactor and thermal power units. The authors present brief descriptions of models of a reactor unit from a water-graphite channel reactor APS and a thermal power unit from a water-cooled reactor APS. Results of overall optimization of the reactor unit, thermal power and the APS as a whole are presented. The effect of initial steam parameters on the optimal parameters of the APS reactor unit and on the type of optimal circuit and parameters of the APS steam turbine installation is shown. An analysis of the rationality of increasing initial steam parameters of a water-graphite reactor APS is present. (7 figures, 5 references)

UDC 621.039.58

Proshkin A. A., Bagdasarov Yu. E., Likhachov Yu. I., Zabujsko L. M., Buksha Yu. K. An Analysis of the Effect of Emergency Regimes of Operation on Fuel Element Performance.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 98.

The paper presents a procedure for determining the kinetics of the stressed-strained state and criteria of fast power-reactor fuel-element performance under emergency conditions. Calculations of fuel-element performance under various emergency conditions were carried out and an analysis of the results obtained is presented. (4 figures, 1 table, 9 references).

UDC 621.039.534.63

Volchkov L. G., Kozlov F. A., Likhachov V. A., Nalimov Yu. P., Tonov B. I. Cold-Trap Regeneration of Liquid-Metal Coolant Impurities.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 104.

The main results of calculations and experimental work performed for complete substantiation of a new method of cold-trap regeneration are presented. It is shown that a Na—O—H system in the conditions of a trap at ~450°C produces a liquid hydroxide with other impurities dissolved in it. The liquid caustic phase can be easily removed from the trap. X18H9, H1810T and X20H40B steels can operate in the conditions of regeneration at a temperature of ~500°C. (3 figures, 2 table, 8 references).

UDC 539.125.5.173.162.3

Dufin V. A. Fine Structure of Importance Function Spectra in Heterogeneous Reactors and Reactivity Coefficient Calculations.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 107.

In this paper, it is shown that there is an equivalence theorem for importance function spectra. Ratios of central reactivity worth coefficients were calculated for a number of heterogeneous BFS critical assemblies. The change in the magnitude of reactivity worth coefficients with varying heterogeneous assembly structure is close to that predicted by calculation. Calculated fine structure

effects prove to be comparable with experimental errors and can not explain the discrepancies between measured and calculated central reactivity worth coefficients. (1 table, 17 references).

UDC 621.039.51.12

Khollov V. F., Sheino I. N. A Modified Method of Perturbation Theory for Functional Variation Calculation of Radiation Fields with Changing the Shielding Parameters within the Wide Limits.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 112.

The work offers to expand essentially the practical possibilities of perturbation theory by the estimation of the variational method of radiation flux spatial-power distribution in perturbative shielding system. The calculated results of meanings functional variations of the neutron doses and secondary gamma-radiation behind flat one-dimensional shielding received by means of the offered method in comparison with the direct calculations on ROZ code and by the calculated results on the theory of small perturbation are presented.

It is shown that the offered modification perturbation theory having the direct and adjoint solution of the transport equation for certain initial shielding version, allows to estimate quickly and reliably variation effects of its properties on the value of the necessary functional, avoiding the further calculations on a bulky codes of the transport equation solution (5 figures, 11 references).

UDC 541.128.621.039.7.13

Nakhutin I. E., Polyakov A. S., Ananyan O. S., Blinnikov S. A., Kulakov A. I., Takmazyan A. S. Catalytic Reduction of Ruthenium Tetroxide.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 116.

RuO₄ removal from the gaseous phase by reduction to solid RuO₂ with carbon oxide has been investigated. The reaction has been shown to be autocatalytic. A catalyst (RuO₂ on Al₂O₃) for the reduction has been developed. There have been determined the region of reaction RuO₄ + CO on the catalyst containing RuO₂, the temperature dependence of the decontamination factor and the reaction order in RuO₄.

The feasibility of RuO₄ thermal decomposition on the catalyst has been shown.

A number of other metal oxides that can catalyze the process is listed. (2 figures, 4 references).

UDC 543.53

Aripov G., Sirojed Kh., Mamurov A., Tajiev N. Neutron-Radiation Determination of Certain Elements.—«Atomnaya energiya», 1978, v. 45, p. 119.

A set up based on a ²⁵²Cf source for the determination of elemental composition of ores, rocks, and samples of technological products from studies of neutron capture γ -spectra is described. Fe, Ni and Cu spectra with distinct intense γ -ray lines are presented. It is shown that neutron capture γ -ray spectra make it possible to determine the iron content in samples of technological products and the cooper content in samples of cooper-molybdenum ores. (2 figures, 6 references).