

X Национальная конференция США по линейным ускорителям

Конференция была организована Брукхейвской национальной лабораторией и проходила 10—14 сентября 1979 г. в Монтоке (США). Подобные конференции проводятся в США с 1961 г., предыдущая состоялась в 1976 г. в Чок-Ривере (Канада)*. Конференция в Монтоке собрала 170 специалистов, в том числе 37 из других стран мира. Организаторы сумели избежать параллельных сессий, распределив 90 докладов примерно поровну между пленарными и стендовыми (Poster Session) заседаниями.

В докладах конференции представлены материалы о современном состоянии, усовершенствованиях и расширении возможностей использования ряда крупнейших линейных ускорителей (ЛУ), о разработке новых систем и узлов. Как и на конференции в Сан-Франциско**, большое внимание было уделено проектам сильноточных ЛУ ионов для прикладных целей. Значительный интерес вызвали обзоры по ВЧ-ускоряющим структурам, мощным источникам ВЧ-колебаний, ионным источникам и ЛУ тяжелых ионов.

Во вступительном докладе одного из основателей современной техники ЛУ проф. Дж. Блюэтта отмечается, что линейные ускорители электронов (ЛУЭ) особенно широко используются в медицине и дефектоскопии. В настоящее время около тысячи ЛУЭ работает в онкологических клиниках. Из одного миллиона человек, ежегодно болеющих раком в США, около половины проходят курс лечения на этих установках. На крупных ЛУ ионов успешно развиваются протонная, нейтронная и π -мезонная терапия, каждая из которых имеет свои преимущества. В области дефектоскопии помимо контроля сварочных процессов подчеркнута важность получения стереоскопических снимков в поле тормозного излучения для точной локализации дефектов. Среди возможных будущих применений ЛУЭ Блюэтт выделяет проблему создания лазера на свободных электронах: использование мощного легко перестраиваемого лазера может привести к технической революции в таких областях, как фотохимия, технология очистки отходов и разделение изотопов. Значение, которое придается созданию лазера на свободных электронах, подтверждается также решением выделить для этой цели специальный канал на сооружаемой в настоящее время в Брукхейвде фотонной фабрике.

Разработка конструкций сильноточных ЛУ ионов явилась одной из наиболее интересных проблем, рассматривавшихся на конференции. Ряд докладов непосредственно связан с разработкой в Лос-Аламосе сильноточного дейтронного ЛУ на 35 МэВ с непрерывным током пучка 100 мА для создания интенсивного генератора нейтронов энергией 14 МэВ по проекту FMIT («Fusion Material Irradiation Test Facility»). Увеличение среднего тока дейтронного пучка на три порядка по сравнению с лучшими протонными инжекторами ставит перед специалистами из LASL весьма трудные проблемы, главная из которых — обеспечение возможно более низких потерь пучка вдоль всего тракта. Поскольку ведущаяся более 5 лет в Чок-Ривере (США) работа по созданию высоковольтного (750 кВ) инжектора для ускорения пучков со средним током 100 мА, судя по докладу Дж. Хелперна и др., наталкивается при увеличении тока на непреодолимые трудности — пробой по изоляторам ускоряющей трубки, особую актуальность приобретает выбор эффективной структуры для ускорения ионов со сверхнизкими скоростями ($\beta < 0,04$). В этом диапазоне скоростей обычная структура Альвареса неэффективна, предварительная группировка трудноосуществима, угловой разброс частиц

максимален, эффекты объемного заряда наиболее существенны.

В обзорном докладе Д. Свенсона (LASL) проведен сравнительный анализ различных структур для ускорения частиц с низким β . Утверждается, что наиболее эффективной является предложенная И. М. Капчинским и В. А. Тепляковым структура с пространственно-однородной фокусировкой (ПОФ). Отмечаются ее преимущества: наиболее сильная фокусировка в области низких скоростей и соответственно наименьшие размеры пучка; нормализованный акцептанс канала не зависит от β ; размеры структуры при заданной частоте значительно меньше, чем в системе Альвареса, хотя и несколько больше, чем в системе Видероз; система обеспечивает наиболее оптимальный коэффициент захвата пучка (более 90%), т. е. является наилучшим группирователем; система конструктивно проста, допускает наиболее низкое напряжение инжекции и наиболее высокие частоты по сравнению с другими системами.

В LASL интенсивно ведется разработка секции ЛУ с ПОФ, подолгаются ВЧ-измерения на моделях при частоте 425 МГц, за последнее время в их конструкцию введен ряд важных усовершенствований. Подготавливается полномасштабный прототип секции с ПОФ на 80 МГц для ускорения от 0,1 до 2,0 МэВ и последующая часть секции Альвареса на энергию до 5,0 МэВ. Совместные испытания при работе с пучком намечены на начало 1982 г. Хотя разработка предназначена для ЛУ установки FMIT, в LASL предполагается использовать структуры с ПОФ еще в трех направлениях: в сильноточном протонном ЛУ для радиационной терапии, в ЛУ тяжелых ионов для инерционного термоядерного синтеза и ЛУ на высокую энергию для ионов типа ядер неона. В Дармштадте (ФРГ) также начато создание экспериментальной установки, использующей один из возможных вариантов структуры с ПОФ для ускорения одно- или двухзарядных ионов ^{238}U .

В докладах LASL освещены основные проектные решения по технологическим системам ЛУ, разработка которых идет весьма интенсивно. Указано, что нейтронный генератор с плотностью потока 10^{14} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ по проекту FMIT, создаваемый для HEDL (Ричлэнд, США), должен вступить в строй в сентябре 1984 г. Полная стоимость проекта 105 млн. долл., около половины этой суммы приходится на проточную литевую мишень, разрабатываемую в HEDL.

В пяти докладах, представленных сотрудниками фирмы NEN («New England Nuclear Corporation»), сообщается о протонном ЛУ на 45 МэВ со средним током 5 мА. Эта установка, создаваемая к северу от Бостона (США), предназначена для наработки применяемых в медицине изотопов, которые невозможно получить в реакторах. Основная особенность проекта — выполнение всего фокусирующего канала ЛУ на квадрупольях с постоянными магнитами. Эта новая технология, представленная на конференции, а также и в докладе ИТЭФ (СССР), кроме очевидных преимуществ благодаря отказу от систем стабильного электропитания и водоохлаждения линз позволяет вдвое уменьшить диаметр трубок дрейфа и снизить на 15—20% потребляемую ВЧ-мощность. Предлагаемые в докладах NEN и ИТЭФ способы плавной регулировки градиента магнитного поля снимают основное ограничение на использование постоянных магнитов. Все остальные решения в конструкции ЛУ фирмы NEN синтезируют лучший опыт, полученный при разработке протонных инжекторов. ВЧ-каскады на 201 МГц имеют пиковую мощность 5 МВт ($P_{\text{ср}} = 600$ кВт), длительность импульсов 1,7 мкс, частота их повторения 60 Гц. Все оборудование заказано, здание ЛУ почти готово, установку должны пустить к середине 1981 г., после чего NEN собирается выпустить такие ускорители для продажи.

* «Приборы и техника экспериментов», 1977, № 1, с. 64.

** «Атомная энергия», 1979, т. 47, вып. 3, с. 212.

На мезонной фабрике в LASL выходной ток H^+ составляет 500 мкА, т. е. средняя мощность ускоренного пучка достигла 400 кВт. Второй полуцикл ВЧ-напряжения используется для ускорения ионов H^- (6 мкА) или поляризованных ионов H^- (10 нА). Увеличению тока предшествовала большая работа по снижению потерь пучка на участке 70—800 МэВ до 1 части на 1000.

Улучшена работа ЛУ тяжелых ионов UNILAS. Время пучка на мишени доведено до 54 %, освоена быстрая смена источника и режимов для ускорения ионов от Аг до U. В нескольких докладах из Дармштадта обсуждались как уже проведенные модернизации, так и планы установки в существующем зале вместо однозачерных резонаторов двух новых секций Альвареса, что повысит энергию ионов в 1,6 раза. Для резкого увеличения пиковой интенсивности пучка, имеющего особую важность в связи с планами постройки на выходе UNILAS синхротрона, работан новый источник, дающий до 40 мА ионов Аг, Кг, Хе и Нг с яркостью до $140 \text{ А}/(\text{см}^2 \cdot \text{мрад}^2)$. Значительный интерес представляют доклады из Аргона и Сакле о сверхпроводящих ЛУ для увеличения энергии тяжелых ионов после их начального ускорения на тандемах.

Структура из 10 спиральных «теплых» резонаторов на выходе 12 МВ-тандема была испытана в институте Макса Планка (Гейдельберг, ФРГ) при ускорении ионов от ^{12}C до ^{79}Br . Успешные результаты, полученные как в импульсном, так и в непрерывном режиме, привели к решению установить дополнительно 20 таких резона-

торов, что повысит полное ускоряющее напряжение до 22 МВ.

Несомненный интерес для энергетических программ представляет результат, полученный в Чок-Ривере, где на ЛУЭ с непрерывным режимом при токе пучка 22 мА и энергии 4 МэВ был достигнут КПД преобразования ВЧ-мощности в ускоренный пучок $\sim 80\%$. Большое внимание привлек проект прецизионного ЛУЭ на 5 МэВ для создания электронного микроскопа, представленный НИИЭФА (СССР). В BNL в 1980 г. предполагается запустить Национальный источник синхротронного излучения. Комплекс этой фотонной фабрики состоит из ЛУЭ на 100 МэВ, бустера на 750 МэВ и двух накопительных колец на 750 МэВ и 2,5 ГэВ, позволяющих генерировать ультрафиолетовое и рентгеновское излучения в диапазоне $10^{-6} - 2 \cdot 10^{-11}$ м.

В лаборатории КЕК (Япония) ведется сооружение фотонной фабрики, состоящей из трех накопительных колец на 400 МэВ, 1,0 ГэВ и 2,5 ГэВ и ЛУЭ-инжектора на 2,5 ГэВ. Разработан оригинальный процесс массового изготовления секций ЛУЭ. Весь проект должен быть завершен к 1981 г.

Конференция прошла в дружеской и деловой обстановке, в докладах отражено улучшение выходных параметров ЛУ и расширение сферы прикладного использования этого типа ускорителей. Труды конференции будут изданы BNL.

ЛАЗАРЕВ Н. Е.

Всесоюзный симпозиум по изучению гидрофизических полей океана

В сентябре 1979 г. во Владивостоке Тихоокеанский океанологический институт (ТОИ) Дальневосточного центра АН СССР провел Всесоюзный симпозиум по изучению гидрофизических полей океана с использованием изотопных методов. В его работе приняли участие ведущие специалисты ТОИ, ЦНИИ им. А. Н. Крылова, ИАЭ им. И. В. Курчатова, Радиового института им. В. Г. Хлопина, СНИИП, МИФИ и других крупных научно-исследовательских институтов нашей страны.

Первая группа заслушанных сообщений была посвящена анализу информации об источниках различных гидрофизических полей океана. В докладе Э. И. Альтермана и Ю. В. Кузнецова (Радиовый институт) обобщены новые подробные данные об абсолютных концентрациях радионуклидов и геохронологии глубоководных металлоносных отложений. Содержание ^{40}K , ^{232}Th , ^{230}Th и ^{238}U в пробах отобранных из юго-восточной части Тихого океана, были определены трековым методом и полуавтоматическим низкофоновым гамма-спектрометром, размещенным в подземной (120 м водн. экв.) лаборатории метрополитена Ленинграда. Для снижения влияния радона в этой лаборатории применена очистка приточного воздуха с помощью адсорберов на основе активированного угля; для уменьшения фона сцинтилляционных NaI(Tl)-детекторов диаметром 100×100 мм (с колодцем диаметром 70×70 мм) — пассивная защита из слоев свинца, стали, меди и кадмия, а также кварцевый световод между кристаллом и ФЭУ-94/100. Достигнутому значению фона $1,4$ имп./с в диапазоне $0,1 - 3,0$ МэВ (при объеме пробы 35 см^3) соответствуют минимально детектируемые концентрации ^{232}Th , ^{40}K и ^{230}Th , равные $0,27 \cdot 10^{-6}$; $0,005 \cdot 10^{-6}$ и $0,08 \cdot 10^{-10}$ г/г.

В результате развернутого анализа 30 колонок грунта показано, что экспоненциальный спад содержания α - и γ -излучателей в осадках дает возможность их надежного датирования методом нормализованных иониевых кривых; отсутствие изотопных сдвигов в составе калия свидетель-

ствует, по-видимому, о его терригенном происхождении, как и всех других природных радионуклидов. Положительная корреляционная связь содержания железа, тория и урана в илах подтверждает гидротермальное происхождение первого элемента.

С. М. Вакуловский и др. (ИЭМ) представили результаты измерений содержания глобальных ^3H , ^{90}Sr и ^{137}Cs в поверхностных и глубинных водах в донных отложениях некоторых районов Атлантики за 1971—1975 гг. При среднем содержании от 2 до 14 т. е. и ^{90}Sr от 0,2 до 1,1 пКи/л морской воды обнаружены аномалии содержания ^{90}Sr в Ирландском море (до 30 пКи/л). Еще более высокие различия выявлены при измерениях ^{137}Cs в пробах донных отложений: до $360 - 2400$ мКи/км² в Ирландском море при среднем содержании $10 - 40$ мКи/км²; в этих же пробах обнаружен ^{106}Ru ($30 - 170$ мКи/км²). Повышенное содержание нуклидов приписано сбросу жидких радиоактивных отходов с радиохимического завода в Виндскейле.

По данным этой же группы о пространственном распределении и балансе ^3H и ^{137}Cs в Черном море в 1977 г. запасы составляли 12,3 мКи и 42,4 кКи соответственно (из них 14% в донных отложениях). Распределение ^3H в основном эквивалентно полю осадков. Интересно отметить, что в пробах поверхностных вод вблизи устья Дуная содержание ^3H оказалось ниже среднего для Черного моря (35 ± 3 и 48 ± 5 т. е. соответственно). В глубинных водах снижение концентрации измеренных радионуклидов вдвое происходит через каждые 82 м до глубины 2 км.

Д. Б. Стыро охарактеризовал содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в водах Балтийского и Северного морей за 1973—1978 гг. В дополнение к ранее опубликованным данным в Северном море выявлен рост средней концентрации ^{137}Cs с 0,8 до $4,0$ пКи/л в 1973—1977 гг., а также увеличение его содержания до 20 пКи/л по мере приближения к побережью Великобритании в районе г. Абердин.

Е. Д. Стукин (Институт прикладной геофизики) указал на преимущества использования ^7Be с периодом полурас-