Ж 53/А92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная энергия

Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ТРИНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968 Том 24 ■ Апрель ■ Вып. 4

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

А. К. Красин, И. И. Саламатов, В. Б. Нестеренко, А. Н. Девойно. Развитие исследований в Институте ядерной энергетики АН БССР 307

С. Т. Конобеевский, Б. М. Левитский, Л. Д. Пантелеев. К вопросу о механизме радиационного роста урана при малых дозах облучения 312

В. И. Векслер, В. П. Саранцев, А. Г. Бонч-Осмоловский, Г. В. Долбилов, Г. А. Иванов, И. Н. Иванов, М. Л. Иовнович, И. В. Кожухов, А. Б. Кузнецов, В. Г. Маханьков, Э. А. Перельштейн, В. П. Рашевский, К. А. Решетникова, Н. Б. Рубин, С. Б. Рубин, П. И. Рыльцев, О. И. Ярковой. Коллективное линейное ускорение ионов 317

В. П. Джелепов, В. П. Дмитриевский, Б. И. Замолодчиков, В. В. Кольга. Кольцевой циклотрон с жесткой фокусировкой для многозарядных ионов 323

В. В. Арсенин, В. А. Чуянов. О возможности подавления дрейфовой неустойчивости неоднородной плазмы с помощью системы обратных связей . . 327

В. М. Бондаренко, Г. Г. Викторов, А. Г. Тархов. Об использовании космического излучения для оценки эффективности биологических защит 330

С. Н. Барков. Многогрупповой аналитический метод расчета гетерогенного ядерного реактора 335

П. Т. Потапенко. Предельная оценка качества внутриреакторного контроля нейтронного потока 340

Д. М. Каминкер, К. А. Коноплев, Ю. П. Семенов, В. Д. Тренин. Поведение продуктов радиолиза при работе реактора ВВР-М без системы дегазации 343

В. А. Жарков, В. П. Терентьев, Г. М. Фрадкин. Получение топлива изотопных электрогенераторов методами нейтронного облучения 348

Ю. В. Рябов, Со Дон Сик, Н. Чиков, Н. Янева. Измерение отношения сечений радиационного захвата и деления для U^{235} и Pu^{239} в резонансной области энергий нейтронов 351

В. А. Афанасьев, Б. В. Кебадзе, Г. А. Санковский, В. И. Грицков, И. Н. Соколов, Л. А. Адамовский, С. А. Маркин. Экспериментальное исследование устойчивости корпусного кипящего реактора ВК-50 363

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

Д. П. Осанов, В. П. Панова, Г. Б. Радзиевский. Измерение дозовых факторов накопления для точечных изотропных источников γ-излучения низкой энергии в воде 368

В. А. Жарков, Т. П. Зорина, Г. М. Фрадкин. Самоэкранирование тепловых нейтронов в конечных цилиндрах и телах других геометрий 369

И. Н. Бриккер, В. П. Астафьев, А. Р. Мирзоян. Обращенное решение тепловых уравнений двухкомпонентного ядерного реактора 370

С. Ф. Дегтярев, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственные, угловые и энергетические распределения быстрых нейтронов в гидриде лития, воде, вольфраме и карбиде бора 370

С. Ф. Дегтярев, В. Б. Староверов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Экспоненциальные угловые коэффициенты нейтронов для неводородсодержащих сред 372

В. К. Даруга, С. Ф. Дегтярев, В. И. Кухтевич, А. Н. Николаев, В. П. Поливанский, Б. И. Синицын, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственно-энергетические и угловые распределения нейтронов в литии 372

С. М. Рубанов, В. И. Титов, Л. С. Шкорбатова. Расчет защиты контура с циркулирующим горючим . . 373

В. Д. Горяченко. Акустическая неустойчивость ядерного реактора 374

В. Д. Горяченко, Е. Ф. Сабаев. Акустические колебания в реакторе с циркулирующим газообразным горючим 375

В. Д. Горяченко, В. А. Денисов, Ю. Ф. Трунин. Влияние изменения плотности делящегося вещества на устойчивость реактора с циркулирующим горючим 376

В. С. Шулепин. Применение асимптотического P_N-приближения для расчета ячейки 376

235607

2-25307/ин

ГОСУДАРСТВЕННАЯ БИБЛИОТЕКА БЕЛАРУСИ

ных документов, регламентирующих вопросы радиационной безопасности.

Во время пребывания в Мелекессе делегация посетила Научно-исследовательский институт атомных реакторов, где ознакомилась с атомными электростанциями ВК-50 и «Арбус», исследовательскими реакторами СМ-2 и «Мир», радиохимической лабораторией и другими экспериментальными установками и уникальным оборудованием института.

Л. ПЕТРЕНКО

VI Международная конференция по ускорителям

На VI Международной конференции по ускорителям, состоявшейся в конце 1967 г. в Кембридже (США), присутствовало около 300 делегатов из 15 стран. Было заслушано и обсуждено 90 докладов.

На конференции отчетливо выявилось начавшееся оснащение физики высоких энергий ускорителями, более мощными как по энергии, так и по току частиц. Так, например, в СССР запущен протонный ускоритель на 70 *Гэв* (Серпухов) и электронный на 6 *Гэв* (Ереван); в США — линейный ускоритель электронов на 20 *Гэв* со средним током до 40 *мка* и начато строительство ускорителя на 200—400 *Гэв*; в ЦЕРНе сооружаются накопительные кольца для встречных протонных пучков 2 × 25 *Гэв*, в СССР — накопительное кольцо для встречных электрон-позитронных пучков 2 × 3,5 *Гэв* и т. д. Началось строительство мезонных фабрик на 1 *Гэв* с током 1 *ма* (США) и на 450—500 *Мэв* с током 100 *мка* (Швейцария). Интенсивно разрабатываются проекты новых ускорителей на большие энергии: 1000 *Гэв* (СССР), 300 *Гэв* (ЦЕРН), 30—40 *Гэв* (Франция, ФРГ, Япония), накопительные кольца для протон-антипротонных пучков 2 × 25 *Гэв* (СССР) и др. В Канаде разрабатывается линейный ускоритель на 1 *Гэв* с током 65 *ма* для использования в качестве высокоинтенсивного генератора нейтронов. Большое внимание уделяется модернизации действующих ускорителей для повышения эффективности их использования. Совершенствуются системы быстрого и медленного вывода пучков частиц. Созданы высокочастотные сепараторы частиц для импульсов *К*-мезонов до 15—20 *Гэв/с*.

Проекты новых больших ускорителей

Р. Вильсон (США) доложил о значительных изменениях в проекте ускорителя на 200 *Гэв* по сравнению с ранее подготовленным проектом. Ускоритель, первоначально построенный на энергию 200 *Гэв* (по плану — в 1972 г.), будет затем модернизирован и его энергия доведена до 400 *Гэв*. В новом проекте принята схема электромагнита с «разделенными функциями»— частицы поворачиваются в электромагнитах с нулевым градиентом, а фокусируются квадрупольными линзами. Преимуществом такой структуры является гибкость отношения градиента магнитного поля в линзах к напряженности магнитного поля в поворачивающих магнитах, а также возможность использования на первом этапе меньшего числа поворачивающих магнитов и дальнейшего увеличения конечной энергии частиц за счет увеличения их числа.

В новом проекте предусмотрена также возможность увеличения энергии частиц за счет увеличения мощности питания электромагнита и соответствующего увеличения напряженности поворачивающего магнитного поля с 9 *кгс* (200 *Гэв*) до 18 *кгс* (400 *Гэв*), а возможно, и до 22 *кгс*. До энергии 200 *Мэв* протоны будут ускоряться в линейном ускорителе, затем до энергии 10 *Гэв*— в бустерном синхротроне радиусом 100 *м* и, наконец, до энергии 200—400 *Гэв* — в основном кольце радиусом 1 *км*.

Для работы в туннеле при большой наведенной активности предполагается использовать автоматизированную тележку, которая будет осуществлять основные операции по замене блоков электромагнита.

Характерной особенностью нового проекта является малая апертура вакуумной камеры (5 × 10 *см*) и соответственно небольшой магнит (сечение по железу 68 × 36 *см*, вес 12 тыс. *т*), малая мощность питания электромагнита (средняя мощность 13 *Мвт* и пиковая — 57 *Мвт*) и небольшое поперечное сечение туннеля (2,5 × 3,3 *м*). При такой апертуре нельзя быть уверенным, что искаженная орбита будет лежать внутри нее. Дж. Ламбертсон разрабатывает в настоящее время методы коррекции замкнутой орбиты по данным о смещении пучка ускоряемых частиц. Нет сомнения, что в ускорителе будут применены различные способы выравнивания магнитного поля по данным о пучке.

В этой связи следует отметить доклад О. Барбела (ЦЕРН) о цифровой системе измерения положения орбиты. Эта электронная система может измерять положение одного сгустка из 20 на одном обороте и преобразовывать полученные данные в цифровую форму для ввода в ЭВМ типа ИБМ-1800. Система имеет достаточное быстродействие для коррекции поля в течение цикла ускорения.

Проект ускорителя на энергию 300 *Гэв* был создан в ЦЕРНе в 1963 г. Как сообщил Е. Амальди, в 1967 г. этот проект был рассмотрен вновь, в результате чего все основные пункты были оставлены без изменения. Одним из новых предложений была более сложная схема инжекции: линейный ускоритель на 60 *Мэв*, двухкольцевой бустер на 600 *Мэв*, основной бустер на 8 *Гэв*. Эта схема дает некоторый выигрыш в характеристиках инжектируемого в основной синхротрон пучка, но более сложная. Окончательный выбор схемы инжекции будет сделан позже.

В настоящее время основные препятствия в сооружении ускорителя связаны не с техническими или научными проблемами, а с политическими и организационными трудностями. Для начала строительства ускорителя нужно, чтобы достаточное число стран приняло решение об участии, была выбрана площадка и подписана конвенция о статусе новой лаборатории.

Есть все основания ожидать, как отметил Е. Амальди, что в 1968 г. начнется строительство ускорителя, а в 1977 г.— выполнение программы экспериментальных работ.

На конференции было доложено о трех проектах протонных ускорителей на практически одинаковую энергию порядка 40 *Гэв*.

Протонный синхротрон на энергию 42 *Гэв* с интенсивностью $1 \cdot 10^{12}$ *протон/имп* предполагается построить около Токио к 1973 г. Ускоритель (включая аппаратуру для физических экспериментов) будет стоить 83,2 млн. долл.

Для вывода пучка в экспериментальный зал предусмотрено использовать байпас. В ускоритель инжектируются протоны с энергией 125 *Мэв*, ускоренные в линейном ускорителе.

Следует отметить, что на предыдущей конференции представители Японии доложили о расчетах, в которых было показано, что использование промежуточного бустера существенно снижает стоимость всего ускорительного комплекса. Приведенный в докладе вариант ускорителя на энергию 42 *Гэв* без бустера объясняется желанием ускорить сооружение ускорителя (даже за счет его удорожания).

В проекте протонного синхротрона на энергию 40 *Гэв* (ФРГ) принята схема с промежуточным бустером на энергию 2 *Гэв*, что позволило применить малоапертурный магнит основного синхротона весом 1600 *т* и существенно снизить мощность системы питания. Для коррекции возмущений магнитного поля предполагается использовать систему автоматического регулирования по пучку. Ускоритель планируется ввести в эксплуатацию в 1972 г.

Вблизи существующего ускорителя на энергию 3 *Гэв* в Сакле (Франция) предполагается к 1974 г. построить протонный синхротрон на энергию 23—45 *Гэв*. При использовании части имеющегося оборудования и затрате 288 млн. франков можно соорудить ускоритель первой очереди на 23 *Гэв*. Для увеличения энергии до 45 *Гэв* потребуется еще 214 млн. франков.

Ускоритель имеет следующие основные параметры: средний радиус 193 *м*, энергия инжекции 100 *Мэв*, вес стали 6000 *т*.

В отдельных выступлениях (В. Джелепов, Грин) было высказано сомнение относительно целесообразности сооружения трех новых ускорителей на энергию ~40 *Гэв* с интенсивностью ~ 10^{12} *протон/имп* при наличии уже действующих с такой интенсивностью ускорителей на энергию 28 *Гэв* (ЦЕРН) и 33 *Гэв* (Брукхейвен) и подготовленного к работе с пучком ускорителя на энергию 70 *Гэв* в СССР (под Серпуховым). Необходимо также учитывать, что проектами реконструкции ускорителей в ЦЕРНе и Брукхейвене предусмотрено повышение их интенсивности до 10^{13} протонов за цикл ускорения.

Модернизация действующих ускорителей

Реконструкция Брукхейвенского протонного синхротрона на 33 *Гэв*, планируемая на 1969—1970 гг., имеет целью доведение его интенсивности до 10^{13} *протон/сек* за счет увеличения интенсивности в каждом импульсе и частоты повторения. Применение линейного ускорителя на 200 *Мэв* с током 100 *ма/имп* и эмиттансом 0,5 π *см·мрад* позволит увеличить интенсивность в импульсе в несколько раз. Для увеличения частоты повторения импульсов предполагается заменить всю систему питания электромагнита.

Будет усилена защита в районе мишеней (стальной козырек стоимостью ~1 млн. долл.) и по всему кольцу (бетонный козырек).

На ускорителе ЦЕРНа на 28 *Гэв* налажены три внешних пучка быстрого вывода и два медленного. Эффективность медленного вывода доведена до 80%, а наведенная активность снижена в 6 раз за счет использования двухступенчатого септум-магнита. В дальнейшем предполагается построить бустер, осуществить быстрый и медленный выводы для накопительных колец и экспериментов и установить еще одну внутреннюю мишень

Уже в течение двух лет ведется строительство протонных накопительных колец ЦЕРНа, которые позволят получить энергию в центре масс 50—60 *Гэв*, что соответствует ускорению протонов до 1600 *Гэв* при неподвижных мишенях. Проделано 60% земляных работ и начато бетонирование. Заключены контракты на 30% оборудования, которое начнет поступать в конце 1968 г. По сравнению с первоначальным проектом для удобства размещения магнитов угол пересечения пучков изменен с 9 до 15°.

Вывод и сепарация пучков

Со времени последней конференции (Фраскати, Италия, 1965 г.) дальнейшее развитие получила методика выведения ускоренного пучка. В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ успешно реализован быстрый ($t \approx 60$ *мксек*) вывод протонного пучка из синхрофазотрона на 10 *Гэв*. Вывод осуществляется за счет создания радиального резонанса $\nu_r = 1/2$ и последующего отклонения протонного пучка септум-магнитом. Полученную эффективность вывода, равную ~ 50%, предполагается к концу 1967 г. довести до 80%.

На Беватроне будет осуществлен относительно медленный (50—100 *мсек*) вывод пучка протонов с использованием резонанса $\nu_r = 2/3$ с эффективностью 50%. Система вывода начнет работать в 1968 г.

В системах транспортировки пучка начинают внедряться линзы и магниты, использующие явление сверхпроводимости. В Брукхейвене заканчивается создание двух квадрупольных линз с апертурой 10 *см*, длиной 60 *см* и градиентом 10 *кгс/см*. В этих линзах применяется сверхпроводящий материал Nb_3Sn толщиной 0,006 *мм*, который наносится на подложку из сплава Ni(70%)+ +Mo(30%) толщиной 0,05 *мм*. Сверху Nb_3Sn покрывается слоем серебра толщиной 25 *мк*. Полная толщина такой ленточки составляет ~ 110 *мк*, ширина 10 *см*. При токе ~ 1200 *а* можно получить магнитное поле, равное ~ 100 *кгс*. Расход гелия для охлаждения двух линз — 5 *л* He/*ч*.

В этой же лаборатории изготовлен и использован в экспериментах по определению магнитного момента Ξ^--гиперона сверхпроводящий соленоид с полем 128 *кгс*.

О сепарации пучков вторичных частиц сообщалось в докладах о проекте ВЧ-сепаратора (МИФИ) для ускорителя на 1000 *Гэв*, сепараторе ЛВЭ ОИЯИ и ВЧ-сепараторе ЦЕРН. В ВЧ-сепараторе МИФИ для разделения частиц используются два дефлектора, работающих на длине волны 3,2 *см*. Установка позволит выделять K-мезоны с импульсом до 300 *Гэв/с* и пучок $\bar{p}$—с импульсом до 420 *Гэв/с*. В сообщении ЛВЭ ОИЯИ приведены параметры электродинамического сепаратора частиц высоких энергий, основанного на принципе сепарации частиц Векслера — Петухова. Полученные экспериментальные результаты (коэффициент очистки $\bar{p}$ с импульсом 5 *Гэв/с* $\gtrsim$ 1000 и т. д.) находятся в хорошем согласии с проектными данными. ЦЕРН представил сообщение о запуске трехдефлекторного ВЧ-сепаратора, позволившего получить очищенный пучок $\bar{p}$ с импульсом 12 *Гэв/с*. Сепаратор рассчитан на получение пучков k, $\bar{p}$ с импульсом до 16 *Гэв/с* и пионов с импульсами вплоть до максимально возможных на ускорителе ЦЕРНа. Получен практически чистый от π-мезонов пучок $\bar{p}$ (загрязнение пионами равно ~5%). Отношение $\bar{p}/\mu = 3$.

Мезонные фабрики

Лаборатория в Лос-Аламосе (США) приступила к сооружению мезонной фабрики — линейного ускорителя на энергию протонов 800 *Мэв*, средний ток 1 *ма* в пучке диаметром 2,8 *см* при энергетическом разбросе $\Delta E/E = 0{,}75\%$.

Ускоритель предназначен для получения вторичных пучков π- и μ-мезонов (табл. 1).

Типичные потоки и энергия вторичных частиц Таблица 1

Частица	Поток, *част/сек*	Сечение пучка, *см*²	Энергия, *Мэв*	$\Delta E/E$, %
π^+	$2\cdot10^{10}$	12	300	7,0
π^-	$4\cdot10^{9}$	12	300	7,0
μ^+	$4\cdot10^{9}$	200	250	25,0
μ^-	$8\cdot10^{8}$	200	250	25,0
ν_μ	10^7 *см*²·*сек*⁻¹	—	200—300	—

Строительство этого ускорителя предполагается закончить в 1971 г. Полная стоимость проекта 55 млн. долл.

Лабораторией ядерных проблем ОИЯИ (СССР) был представлен проект реконструкции действующего фазотрона в сильноточный с энергией протонов 700 *Мэв* и средним током пучка до 50 *мка*. Увеличение интенсивности пучка с ~2 до 50 *мка* достигается введением спиральной вариации магнитного поля, что существенно снизит диапазон изменения частоты обращения, повысит эффективность захвата и позволит увеличить частоту модуляции.

Для уменьшения нейтронного фона усиливается защита экспериментальных залов, а для выполнения профилактических работ будут использованы передвижные защитные кабины с манипуляторами.

Пучки частиц, которые будут получены на ускорителе, приведены в табл. 2.

Пучки частиц, которые планируется получить на ускорителе ЛЯП ОИЯИ Таблица 2

Частицы	Энергия, *Мэв*	Интенсивность на данную площадь, *сек*⁻¹	Площадь детектирования, *см*²
Протоны (выведенный пучок) . . .	680 ± 3	$2\cdot10^{13}$	12
Поперечно-поляризованные протоны	620 ± 10	$6\cdot10^{9}$	10
Продольно-поляризованные протоны	620 ± 10	$6\cdot10^{9}$	10
Нейтроны	500—660	$6\cdot10^{7}$	20
Электроны конверсии от π^0-мезонов	150	$3\cdot10^{6}$	75
γ-кванты от мезонов	10—600	$5\cdot10^{6}$	20
π^+-мезоны	70 ± 3	$1{,}5\cdot10^{6}$	75
π^--мезоны	70 ± 3	$1{,}5\cdot10^{6}$	75

Предполагается, что ускоритель начнет действовать в 1972 г. Стоимость проекта 8 млн. руб.

Лаборатория ядерных исследований в Чок-Ривере (Канада) продолжает разработку интенсивного генератора нейтронов. Проект предусматривает генерацию тепловых нейтронов высокой интенсивности для использования в ядерной химии, получения новых элементов, а также радиоактивных изотопов в коммерческих целях. Кроме того, намечается большая программа научно-исследовательских работ.

Поток нейтронов ~ 10^{19} *сек*⁻¹ предполагается получить бомбардировкой свинцово-висмутовой мишени протонным пучком 65 *ма* с энергией 1 *Гэв*. Максимальные потоки нейтронов будут достигать величины 10^{16} *см*⁻²× ×*сек*⁻¹. Такая схема получения нейтронов позволяет снизить энерговыделение на каждый нейтрон по сравнению с реактором в четыре раза.

Для получения протонов с энергией 1 *Гэв* вместо планировавшегося ранее циклотрона с разделенными орбитами предполагается использовать линейный ускоритель непрерывного действия. В случае одобрения проекта сооружение ускорителя стоимостью 130 млн. долл. будет закончено в 1974 г.

Крупнейшие электронные ускорители

В мае 1967 г. на Корнеллском синхротроне (США) на 10—20 *Гэв* осуществлено первое ускорение электронов до 1 *Гэв*. С того времени энергия электронов доведена до 4,5 *Гэв* при интенсивности 10^9 *частиц/имп*. Ускорение проведено одним временным макетом резонатора. Постоянные четыре резонатора отлаживаются.

Базовые поверхности магнита и профиль полюсов выполнены с допуском 0,013 *мм* (неровность), основные размеры — с точностью 0,025 *мм*.

Магнит синхротрона вместе с обмоткой помещен в вакуумный кожух, так что вакуумная камера отсутствует. В среднем по кольцу вакуум в объеме между полюсами составляет $6\cdot10^{-6}$ *мм рт. ст.*, в местах подключения насосов — $2\cdot10^{-6}$ *мм рт. ст.* Линейный ускоритель обеспечивает ток в импульсе 150 *ма* при энергии 150 *Мэв*±0,5%.

В настоящее время Станфордский линейный ускоритель (США) на 20 *Гэв* работает с расчетными значениями параметров, кроме величины импульсного тока (проектное значение 50 *ма*), ограничиваемого развитием поперечной неустойчивости. Порог неустойчивости определяется усилением системы и шумами, появляющимися в результате случайных толчков, поперечной или продольной модуляции пучка либо возникающими в клистроне.

За счет улучшения фокусировки пучка вдоль ускорителя предельный ток увеличен с 19 до 43 *ма/имп* (при длительности импульса 1,6 *мксек*). Вместо триплетов через каждые 100 *м* в начале ускорителя и 12 *м* в конце установлены синглеты и дублеты. Бетатронная длина волны составляет соответственно 150 и 100 *м*.

Новые типы ускорителей

На конференции было доложено о двух новых типах ускорителей, разрабатываемых в нашей стране.

Линотрон, предложенный А. А. Коломенским, представляет собой комбинацию линейного и циклического ускорителей. Частицы проходят линейный ускоритель попеременно то в одном, то в другом направлении, совершая повороты в отражателях с постоянным во времени магнитным полем. Таким образом, частицы получают в линейном ускорителе энергию, в несколько раз большую той, на которую он номинально рассчитан.

При этом длина ускорителя и мощность системы его питания могут быть существенно уменьшены. Это особенно важно при использовании сверхпроводящего криогенного линейного ускорителя непрерывного действия, который в некотором отношении особенно подходит для линотронного принципа. Потери на синхротронное излучение в линотроне не играют определяющей роли, так как число прохождений в магнитном поле ограниченно, а прирост энергии в линейном ускорителе велик. По этой же причине можно применить сильное магнитное поле (например, при помощи сверхпроводящих материалов) и резко уменьшить размеры отражателей. Применение системы линотрона открывает новую перспективу создания сильноточных ускорителей на большие энергии.

Доклад о коллективном линейном ускорении ионов был представлен группой авторов, которая возглавлялась В. И. Векслером, затем В. П. Саранцевым (ОИЯИ). Идея, предложенная несколько лет назад В. И. Векслером, состоит в ускорении ионов полями, создаваемыми сгустком электронов. Для уменьшения кулоновского расталкивания и получения достаточной плотности в сгустке последний должен представлять собой кольцо релятивистских электронов, движущихся в аксиальном магнитном поле. Кольцо с ионами, находящимися в его потенциальной яме, должно двигаться в направлении магнитного поля под действием внешнего ускоряющего поля. При ускорении электронного кольца скорость ионов будет равняться аксиальной скорости электронов. Конечная энергия ионов с массой M будет больше энергии электронов в $M/m_{\perp}$ раз, где $m_{\perp}$ — поперечная масса электронов.

В настоящее время в ОИЯИ сооружается модельная установка, основанная на этом принципе и рассчитанная на получение до 10^{11} *протон/сек* с энергией 1 *Гэв*. Сооружен и запущен линейный бетатрон, способный давать 200 *а/имп* электронного тока при энергии 3 *Мэв*. Отработан впуск электронов в магнитное поле и формирование кольца с малым радиусом и большой плотностью. Разрабатываются методы выталкивания кольца и его ускорения. После успешного запуска модели можно будет рассчитывать на использование этого принципа для получения протонов с очень большой энергией.

Оба доклада: по линотрону и коллективному ускорению — были встречены участниками конференции с большим интересом и вызвали оживленную дискуссию.

Применение сверхпроводящих ВЧ-систем в ускорителях

Основные работы по применению сверхпроводящих ВЧ-систем в ускорительной технике ведутся в Станфордском университете (США) на базе линейного ускорителя «Марк III» ($E \simeq 900$ *Мэв*).

В настоящее время исследуются резонаторы и короткая секция ускорителя. После отработки конструкции и технологии предполагается соорудить линейный сверхпроводящий ускоритель электронов на энергию ~ 2 *Гэв*. Обсуждаются также вопросы применения сверхпроводящих секций в линейном ускорителе на 20 *Гэв* и даже его полная переделка на сверхпроводящий вариант.

Рабочая температура выбирается из компромисса между стремлением уменьшить потери и трудностями охлаждения при очень низких температурах. Во всяком случае температура должна быть ниже λ-точки (2,2° К), что позволяет использовать сверхтекучесть Не для эффективного отвода тепла при малых градиентах температуры. Оптимальной считается $T = 1{,}8°$ К.

Ускорительная секция, собранная для экспериментов с пучком, имеет длину $\sim 1{,}5$ *м*. Внешнее охлаждение производится азотом, внутреннее — гелием с откачкой до 10 *мм рт. ст.* Объем гелиевой ванны ~ 500 *л*. Максимальная величина поля в волноводе составляла ~ 150 *кв/см*, а энергия электронов на выходе секции 7 *Мэв* при среднем токе пучка примерно 0,1 *мка*. В качестве ВЧ-источника использовался клистрон мощностью 10 *квт*, стабилизированный кварцем. Стабильность частоты (952 *Мгц*) за время порядка 1 *сек* составляла 10^{-11}. Мощность, вводимая в волновод, равнялась ~ 500 *вт*.

Э. Ю.

Новый радиоизотопный метод измерения малых толщин пленочных материалов

В Рижском научно-исследовательском институте радиоизотопного приборостроения разработан новый непрерывный метод измерения толщин самых тонких материалов в процессе их изготовления. Принцип действия прибора основан на рассеянии β-излучения от газовой среды. При этом энергетический спектр рассеянного β-излучения значительно смягчается по сравнению с первоначальным спектром используемого изотопа, вследствие чего значительно увеличивается массовый коэффициент поглощения. Так, например, если в качестве источника излучения взят Pm^{147}, то при выбранной геометрии измерения можно считать, что детектор регистрирует излучение источника, эквивалентное излучению источника с граничной энергией около 110 *кэв*.

Важным преимуществом метода является расположение датчика по одну сторону измеряемого материала (что позволяет устранить трудности при заправке материала, выявить определенные удобства при профилактических ремонтах и осмотрах).

В результате проведенных исследований разработан радиоизотопный толщиномер тонких пленок для эксплуатации в промышленных условиях.

Общий вид толщиномера на бумагоделательной машине, выпускающей папиросную бумагу, приведен на рисунке.

Датчик толщиномера состоит из источников Pm^{147} и детекторов излучения с предварительной электронной схемой. Конструктивно датчик оформлен в виде блока, расположенного на сканирующем устройстве.