

$|\delta| \gg 1$ она осуществляет граничные условия, эквивалентные присутствию идеально проводящего кожуха вблизи поверхности плазмы.

Благодарим В. Д. Шафранова за обсуждение.

Поступило в редакцию 11/III 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Арцимович. Управляемые термоядерные реакции. М., Физматгиз, 1961.

2. В. Д. Шафранов. «Атомная энергия», 5, 38 (1956).
 3. А. И. Морозов, Л. С. Соловьев. ЖТФ, 34, 1566 (1964).
 4. Т. Ф. Волков. В сб. «Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций». Т. 2. М., Атомиздат, 1958, стр. 144.
 5. R. Taylor. Proc. Phys. Soc., B70, 1049 (1957).
 6. В. Д. Шафранов. В сб. «Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций». Т. 4. М., Атомиздат, 1958, стр. 61.

Электростатический ускоритель Физико-технического института АН УССР на 4,5 Мэв и его использование в ядерных экспериментах

А. А. Цыгикало, С. П. Цытро

УДК 621.384.653:539.17:53.087.4

Работы по конструированию и созданию электростатических ускорителей (ЭСУ) для ядерных исследований были начаты в Физико-техническом институте АН УССР (ФТИ АН УССР) еще в начале 30-х годов, когда под руководством К. Д. Синельникова и А. К. Вальтера был сооружен первый в Советском Союзе гигантский ЭСУ в воздушной среде на 4 Мэв. В середине 40-х годов в Институте были начаты работы по созданию новых, более совершенных ЭСУ, работающих в атмосфере сжатого газа. Было изготовлено несколько малых серий ЭСУ горизонтального типа, предназначенных как для инъекции частиц в более мощные линейные и циклические ускорители, так и для обычных ядерных исследований. В 1953—1954 гг. закончилось сооружение двух ЭСУ вертикального типа на энергию 4,0—4,5 Мэв [1], предназначенных для прецизионных ядерных исследований. Техническая документация была передана в Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры (Ленинград) для серийного промышленного изготовления [2].

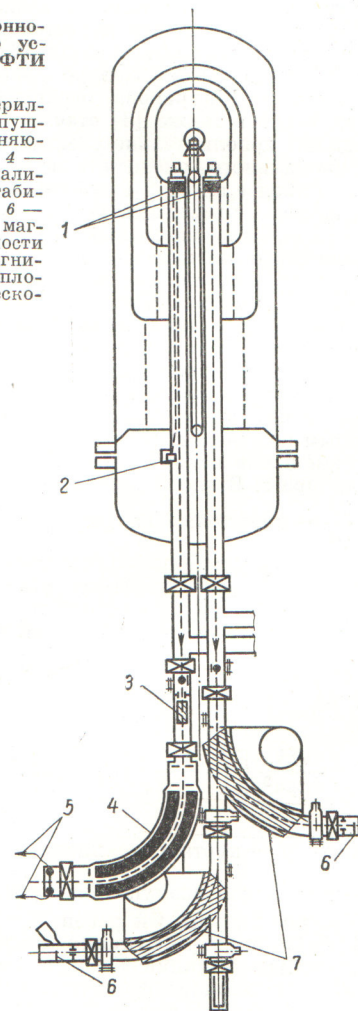
Почти все изготовленные в институте ЭСУ были переданы другим институтам и учреждениям Советского Союза.

Цель данного сообщения — дать краткую информацию о вертикальном ЭСУ на 4,5 Мэв и об экспериментальных ядерных исследованиях, выполненных на нем за последние годы.

Вертикальный электростатический ускоритель ФТИ АН УССР рассчитан на энергию 4,5 Мэв, работает в сжатом газе и предназначен для прецизионных работ. Он отличается от всех других конструкций ЭСУ наличием специальной системы обратной связи для стабилизации энергии частиц с несколько необычным использованием двух ускорительных трубок, работающих одновременно. В одной из трубок (измерительной) ускоряется протонный пучок малой интенсивности (3—5 мкА), служащий для измерения и стабилизации энергии частиц. В другой — ускоряется «рабочий» пучок ионов, направляемый на мишень (рис. 1). На выходе измерительной трубки установлен электростатический анализатор с радиусом отклоняющих пластин $R = 1500 \pm 0,01$ мм и с зазором между ними $d = 5 \pm 0,002$ мм, служащий для измерения энергии частиц и стабилизации. Моноэнергетичность пучка ускоренных частиц $\Delta E/E = \pm 0,05\%$. Интенсивность пучка

Рис. 1. Схема прецизионного электростатического ускорителя на 4,5 Мэв ФТИ АН УССР:

1 — прокладка из бериллия; 2 — электронная пушка; 3 — магнит, отклоняющий пучок ($2-3^\circ$); 4 — электростатический анализатор; 5 — к схеме стабилизации напряжения; 6 — мишень; 7 — полюса магнита (в действительности плоскость полюсов магнита составляет 90° с плоскостью электростатического анализатора).



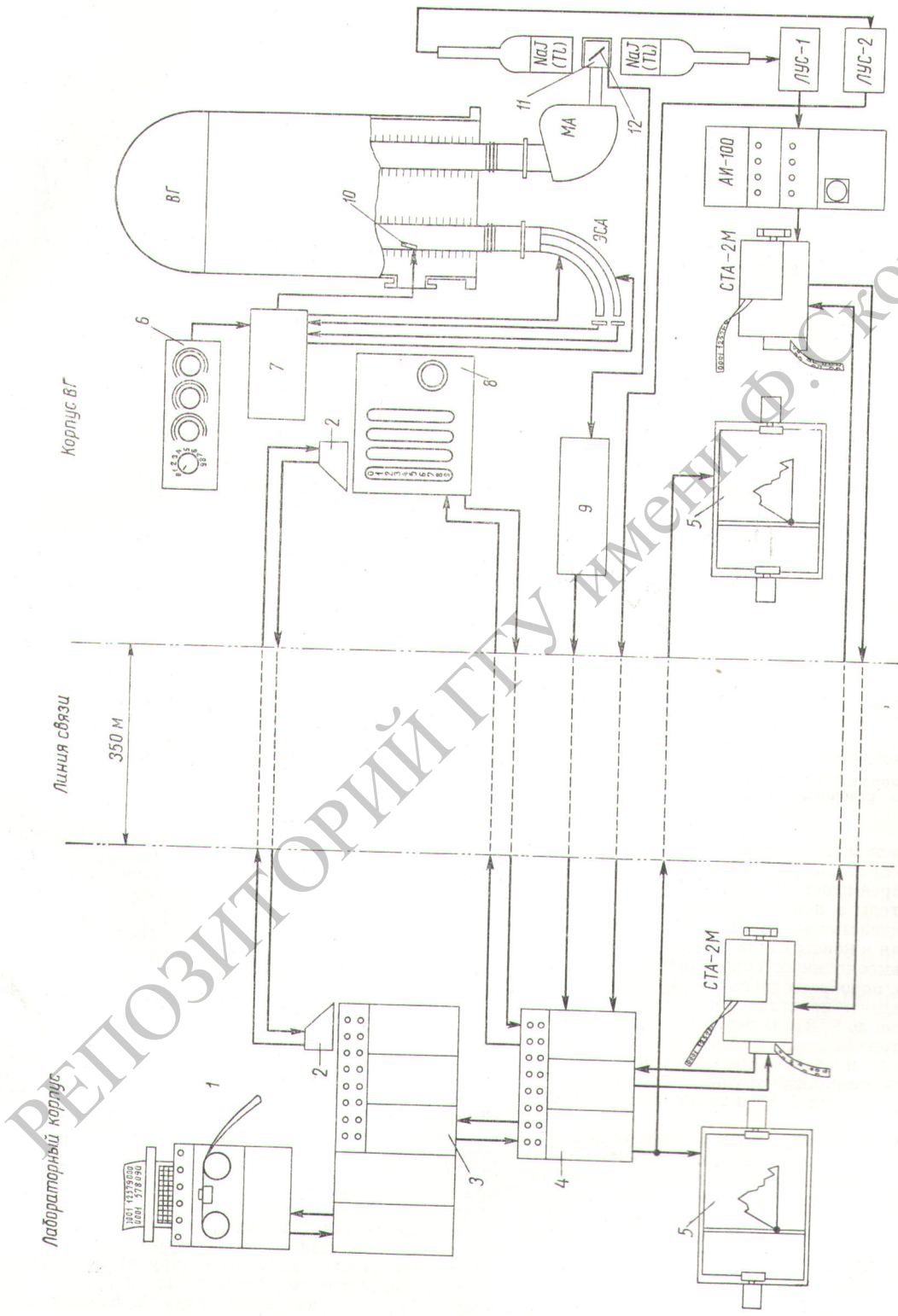


Рис. 2. Блок-схема совместного эксперимента электростатического генератора и управляющей машины «Днепр»: 1 — устройство ввода — вывода машины «Днепр»; 2 — селектор; 3 — управляющая машина «Днепр»; 4 — устройство связи с объектом машины «Днепр»; 5 — графикопостроитель; 6 — задающий потенциометр; 7 — блок стабилизации; 8 — индикатор энергии; 9 — интегратор тока; 10 — электронная пушка; 11 — цилиндр Фардея; 12 — мишень; ВГ — высокочастотный генератор, ЭСА — электростатический анализатор; МА — магнитный анализатор, ЛУС-1, ЛУС-2 — линейные усилители, СТА-2М — телеграф.

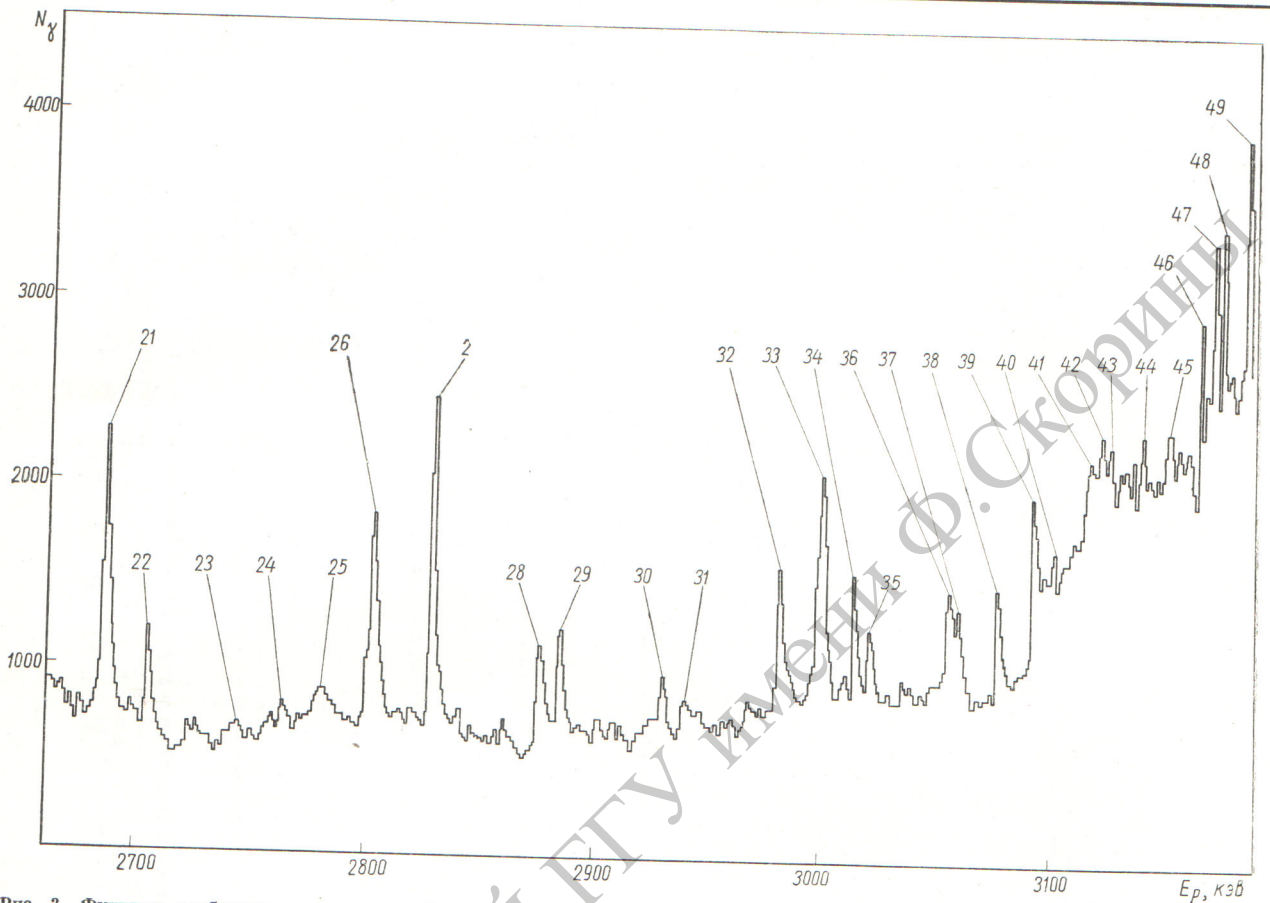


Рис. 3. Функция возбуждения реакции $Al^{27}(p, \gamma) Si^{28}$ в интервале энергий протонов $E_p = 2650-3200$ кэв. По оси абсцисс отложена энергия протонов (кэв), по оси ординат — число счетов монитора на 88 мкс. Цифры на кривой — порядковые номера резонансов.

в «рабочей» трубке может варьироваться в широких пределах независимо от его моноэнергетичности. На мишени она обычно не превышает 30–40 мкв.

В последние годы в конструкции ускорителя были сделаны усовершенствования. В частности, были внесены изменения в конструкции изолирующей колонны, крепления высокоомных сопротивлений и шаровых разрядников, подбирается смесь изолирующих газов, что позволило поднять предельное напряжение на изолирующей колонне до 7 Мв. В результате систематического изучения причин возникновения пробоев в ускорительных трубках и разработки новых конструкций были созданы ускорительные трубки, устойчиво работающие при напряжениях 5 Мв и токах ионного пучка до 10–15 мкв.

Техника ядерного эксперимента на этом ускорителе также постоянно совершенствовалась. В 1964 г. на базе управляющей электронно-вычислительной машины (ЭВМ) типа УМШН «Днепр» была разработана первая в Советском Союзе система автоматизации ядерного эксперимента (on line), которая успешно используется с 1965 г.; она во много раз увеличила эффективность ядерных исследований на ЭСУ. С помощью этой системы по заранее разработанным программам проводятся прецизионные измерения выхода резонансных ядерных

реакций, математическая обработка и анализ результатов измерений сложных γ -спектров (p, γ)-реакций, угловых распределений и угловых корреляций γ -квантов, с помощью статистического критерия χ^2 проводится отбор наиболее достоверных теоретических гипотез. На рис. 2 показана блок-схема системы автоматизации. На рис. 3 и 4 приведены результаты измерений резонансной ядерной реакции и разложения сложного γ -спектра на его компоненты. Графики построены с помощью графикопостроителя, непосредственно управляемого машиной «Днепр».

Ядерные исследования на ускорителе проводились по следующим направлениям:

выход резонансных ядерных реакций радиационного захвата, упругого и неупругого рассеяния протонов; поляризация протонов при двойном рассеянии; поляризация γ -квантов в (p, γ)-реакциях; изучение ($p, n\gamma$) и ($d, n\gamma$)-реакций, γ -спектров, возникающих при возбуждениях ядер в резонансных ядерных реакциях; исследование двойных (p, γ) и тройных ($p, \gamma\gamma$) угловых корреляций и определение квантовых характеристик, коэффициентов квадрупольно-дипольной смеси радиационных переходов и других данных о переходах и возбужденных уровнях ядер; изучение фото-ядерных реакций на легких ядрах в области гигант-

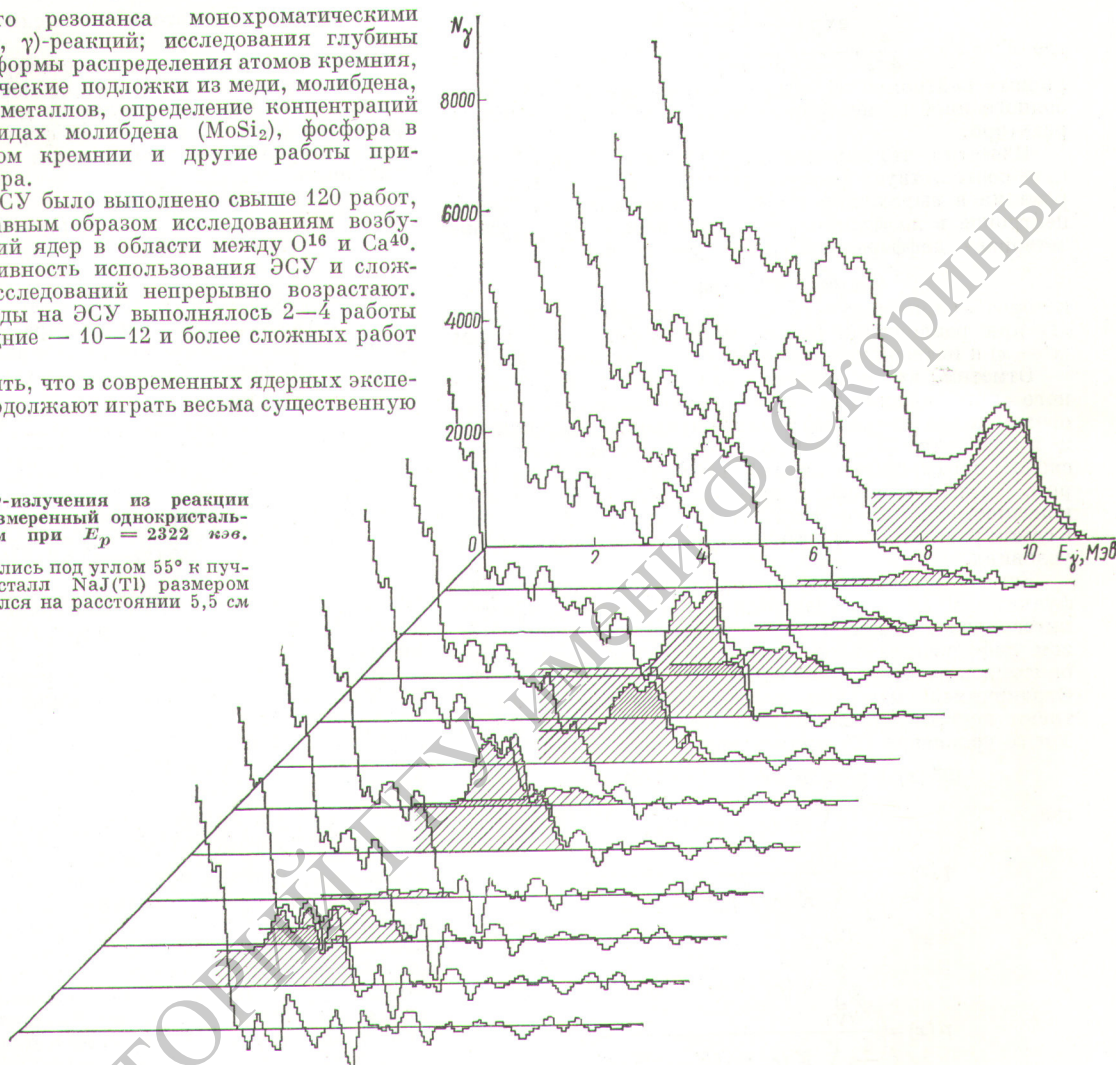
ского дипольного резонанса монохроматическими γ -квантами из (p, γ)-реакций; исследования глубины проникновения и формы распределения атомов кремния, вбитых в металлические подложки из меди, молибдена, тантала и других металлов, определение концентраций кремния в силицидах молибдена ($MoSi_2$), фосфора в полупроводниковом кремнии и другие работы прикладного характера.

За 12 лет на ЭСУ было выполнено свыше 120 работ, посвященных главным образом исследованиям возбужденных состояний ядер в области между O^{16} и Ca^{40} . При этом эффективность использования ЭСУ и сложность ядерных исследований непрерывно возрастают. Если в первые годы на ЭСУ выполнялось 2—4 работы в год, то в последние — 10—12 и более сложных работ в год.

Следует отметить, что в современных ядерных экспериментах ЭСУ продолжают играть весьма существенную

Рис. 4. Спектр γ -излучения из реакции $Mg^{26}(p, \gamma)Al^{27}$, измеренный однокристалльным спектрометром при $E_p = 2322$ кэВ.

Измерения проводились под углом 55° к пучку протонов. Кристалл $NaJ(Tl)$ размером 70×60 мм находился на расстоянии 5,5 см от мишени.



роль и почти во всех развитых странах ядерные лаборатории оснащаются новыми ЭСУ прямого и перезарядного действия. Фирмы США в 1965 г. поставили в различные страны около 30 ЭСУ и получили заказы на строительство 23 новых ЭСУ, а всего, начиная с 1947 г., построено около 300 ЭСУ.

Поступило в Редакцию 6/X 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. К. Вальтер, А. А. Цыгикало. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 3 (1957).
2. Электростатические ускорители заряженных частиц. Под ред. А. К. Вальтера. М., Госатомиздат, 1963.

Решение уравнения переноса нейтронов методом материально-геометрического параметра

В. Л. БЛИНКИН, В. М. НОВИКОВ

УДК 621.039.51.12

Предлагаемый метод решения уравнения переноса можно рассматривать как обобщение диффузионного приближения. Рассмотрим одностороннее стационарное уравнение переноса нейтронов в интегральной форме для реактора без отражателя. Примем, что поток

нейтронов Φ зависит от одной переменной

$$\Phi(x) = \int_{(V)} K(r, r') \Phi(x') dr', \quad (1)$$