

личина эффекта оказалась также малой. С этими результатами и были прекращены работы с  $^{67}\text{Zn}$ .

В 1962 году впервые был обнаружен группой Ф.Л.Шапиро эффект Мёссбауэра на ядре  $^{149}\text{Sm}$  для  $\gamma$ -квантов с энергией 22 кэВ и определены ширина резонансной линии и спин возбужденного состояния.

Преимущественно эффект Мёссбауэра использовался в исследованиях по физике конденсированного состояния. Наиболее часто такие исследования проводились с ядром  $^{57}\text{Fe}$ . В ЛНФ были созданы экспериментальная установка для работы с  $^{57}\text{Fe}$ , криостат и высокотемпературная печь, которые давали возможность проводить исследования от гелиевых температур до 1000 К. Спектры обрабатывались на современных ЭВМ. Это была, пожалуй, лучшая мёссбауэровская установка в странах-участницах ОИЯИ. На этой установке проведен Г.Н.Гончаровым, Ю.М.Останевичем и С.Б.Томиловым цикл исследований щелочных железосодержащих силикатных стекол. В системе  $\text{FeS}(1+x)$  подробно исследована зависимость магнитного поля на ядрах железа, находящихся в различных кристаллографических позициях, от количества избыточной серы, Л.Чером и Ю.М.Останевичем был исследован сплав  $\text{Fe}_3\text{Al}$  и предложена микроскопическая модель магнитной структуры. В проводимых работах постоянно принимали участие сотрудники из стран-участниц.

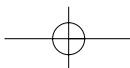
## **8. Исследования на электростатических генераторах и переходное излучение**

### *Ядерные реакции*

Исследования ядерных реакций на легких ядрах проводились еще в Гидротехнической лаборатории до организации ОИЯИ по программе создания ядерного оружия под руководством И.В.Курчатова. После организации ОИЯИ коллектив сотрудников, работавших по этой тематике, вошел в состав Лаборатории ядерных проблем, а после создания ЛНФ он был переведен в новую лабораторию в полном составе. Исследования проводились на двух ускорителях, находящихся в корпусе «У»: каскадном генераторе с энергией до 300 кэВ и ускорителе типа Ван-де-Граафа на энергию до 1,8 МэВ. Оба ускорителя были приспособлены для ускорения радиоактивного изотопа водорода – трития. Измерялись полные и дифференциальные сечения и угловые распределения реакций, вызываемых ускоренными ионами трития при бомбардировке различных мишеней  $\text{D}+\text{T}$ ,  $\text{T}+\text{T}$ ,  $^3\text{He}+\text{T}$ ,  $^{12}\text{C}+\text{T}$ ,  $^{16}\text{O}+\text{T}$ , а также сечения упругого рассеяния ионов трития на легких ядрах.

В 1965 году был введен в строй новый электростатический генератор ЭГ-5, на котором была достигнута максимальная энергия 4,7 МэВ. Ускоритель проектировал и его строительство выполнил НИИЭФА (Ленинград). Курировал эти работы от ЛНФ Г.М.Осетинский. Эксплуатацией нового ускорителя занималась специальная группа во главе с И.А.Чепурченко.

Были продолжены комплексные исследования ядерных реакций на легких ядрах  $^7\text{Li}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{28}\text{Si}$  на пучках ускоренных дейтронов и ионов с выходом протонов, дейтронов и  $\alpha$ -частиц. Измерялись угловые распределения, дифференциальные и полные сечения выхода продуктов ядерных реакций в широком диапазоне



энергий налетающих частиц с целью извлечения спектроскопической информации об уровнях составных ядер.

В 1969 году И.В.Сизов и С.С.Паржицкий совместно с группой Г.Отто из Лейпцигского университета начали исследования реакций  $^{55}\text{Mn}(p, n)^{55}\text{Fe}$ ,  $^{55}\text{Mn}(p, \gamma)^{56}\text{Fe}$  с целью получения информации об изобар-аналоговых состояниях ядра  $^{56}\text{Fe}$ . В дальнейшем эти исследования были продолжены в сотрудничестве с НИИФ ЛГУ. Были выполнены систематические исследования изобар-аналоговых резонансов в реакциях  $(p, \gamma)$  на ядрах  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{62}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ .

В последующие годы на ЭГ-5 активно проводились исследования совместно с сотрудниками из стран-участниц и неучастниц ОИЯИ поляризации протонов в реакции  $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ , угловой и энергетической зависимости спин-флипа при неупругом рассеянии протонов на ядрах  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{48}\text{Ti}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ . Был выполнен большой цикл исследований структуры ядер методом усредненной  $\gamma$ -спектроскопии на атомных ядрах с  $A = 70-90$ . На пучках ускорителя Г.М.Осетинский при участии корейского сотрудника Ли Зен Хо начал развивать различные аналитические методики. Был выполнен большой цикл исследований сечений ионизации K, L, M-оболочек различных атомов легкими ионами в широком энергетическом диапазоне. В работе, кроме А.П.Кобзева, принимала участие группа польских сотрудников (Э.Бразевич, Я.Бразевич, М.Пайек и др.), а также Т.Кауэр, Д.Траутман из Базельского университета (Швейцария) и В.Кретчмер, М.Халлер из Нюрнбергского университета (Германия).

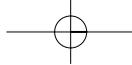
В последние годы электростатический генератор широко используется в качестве источника нейтронов различных энергий. По предложению Ю.П.Попова на первом канале был реализован новый метод спектрометрии нейтронов, генерируемых пучком протонов в реакции  $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ . Метод основан на измерении сдвига по энергии первичных  $\gamma$ -переходов при изменении энергии захваченных нейтронов. Были измерены парциальные сечения радиационного захвата нейтронов промежуточных энергий ядрами нескольких элементов. В работе участвовали также А.В.Войнов, Н.А.Гундорин, А.П.Кобзев и др.

#### *Переходное и черенковское излучения*

Исследования переходного излучения (ПИ) в ЛНФ начались по инициативе И.М.Франка в самом начале 1966 года. В это время в ОИЯИ из Лодзинского университета (Польша) приехал Станислав Михалек, который ранее, будучи аспирантом А.Е.Чудакова в МГУ, занимался переходным излучением. Первые исследования переходного излучения были выполнены на пучках заряженных частиц на только что введенном в эксплуатацию электростатическом генераторе ЭГ-5.

Сама идея излучения движущегося заряда, пересекающего границу раздела сред с различными диэлектрическими характеристиками, возникла давно. В.Л.Гинзбург и И.М.Франк в 1946 году опубликовали в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» статью, в которой рассчитали интенсивность излучения в видимой области спектра. Некоторое время она оставалась без внимания, а затем последовал целый ряд экспериментальных работ по исследованию различных свойств ПИ.

В ходе исследований, выполненных в ЛНФ, получены различные характеристики переходного излучения, возбуждаемого нерелятивистскими протонами и электрона-



ми на поверхности различных металлов (Al, Ag, Ni, W), отличающихся друг от друга оптическими характеристиками (показателем преломления и коэффициентом поглощения). Измерены энергетические зависимости выхода излучения в оптическом диапазоне, угловые распределения и степень поляризации излучения. Характер этих зависимостей неплохо совпадал с теоретическими оценками, и, таким образом, эти результаты наряду с исследованиями, выполненными в других лабораториях, полностью подтвердили не только существование переходного излучения, но и его основные свойства, следующие из классической теории.

В дальнейшем исследования ПИ получили бурное развитие во всем мире и, в частности, использовались для регистрации частиц высоких энергий. Уже в мае 1977 года в Ереване организован Международный симпозиум по переходному излучению частиц высоких энергий.

В ЛНФ под руководством И.М.Франка исследования также продолжались. Был перестроен для ускорения электронов существующий ускоритель на базе каскадного генератора, что позволило приблизиться к релятивистским скоростям частиц при энергии 300 кэВ. При этом интенсивность оптического излучения возросла настолько, что его можно разлагать в спектр. Создана довольно оригинальная установка, которая позволяла исследовать угловые распределения выделенного участка спектра без перемещения монохроматора. В качестве мишеней стали использовать плоскопараллельные слои слюды толщиной в несколько микрон. Скорость электронов оказалась достаточной, чтобы превысить порог излучения Вавилова–Черенкова в слюде, что дало возможность приступить к исследованию его свойств.

В слюде обнаружился довольно значительный вклад люминесценции, и поэтому для отделения ее от излучения Вавилова–Черенкова ускоритель электронов пришлось перевести в импульсный режим с частотой 10 МГц и длительностью импульсов 2–4 нс. В качестве детекторов использовались фотоумножители, работающие в режиме счета отдельных фотонов. Такая достаточно совершенная методика позволила выполнить детальное исследование излучения Вавилова–Черенкова в слюдяных радиаторах различной толщины.

Были измерены угловые распределения ИВЧ для различных длин волн и удалось экспериментально наблюдать дифракционный характер угловых распределений, несмотря на влияние многократного рассеяния электронов. Исследование зависимости положения максимума угловых распределений от энергии электронов показало, что она отличается от известного соотношения для преломленного угла ИВЧ  $\beta \sqrt{n^2 - \sin^2 \Theta} = 1$ .

Экспериментально было показано, что в районе порога не исчезает ни само излучение, не изменяются его характеристики (угловое распределение, поляризация). Подробный анализ этих результатов позволил сделать вывод, что порог ИВЧ в радиаторах конечной толщины при скорости частицы, равной фазовой скорости света, не существует. Пороговое значение скорости  $\beta = n^{-1}$  является результатом предельной теории для бесконечной траектории частицы. Таким образом, проведенные исследования дали более детальное представление о взаимодействии заряженных частиц с твердым телом.

