

История Лаборатории фотоядерных исследований ИЯИ РАН

История развития фотоядерных исследований в СССР была связана, прежде всего, с открытием в 1944 году академиком В.И.Векслером принципа автофазировки. Систематические исследования фотоядерных реакций начались в 1960 году, когда из эталонной лаборатории ФИАН образовались лаборатории фотоядерных реакций (зав. лаб. - Л.Е.Лазарева) и фотомезонных процессов (академик П.А.Черенков). В начале 70-х годов академиком А.М. Балдиным, который долгие годы возглавлял Научный Совет РАН по физике электромагнитных взаимодействий, были определены долгосрочные цели исследований по релятивистской ядерной физике. Экспериментальной базой ЛФЯР стал электронный синхротрон "С-3" на энергию 35 МэВ, созданный под руководством В.И. Векслера на основе открытого им принципа автофазировки.

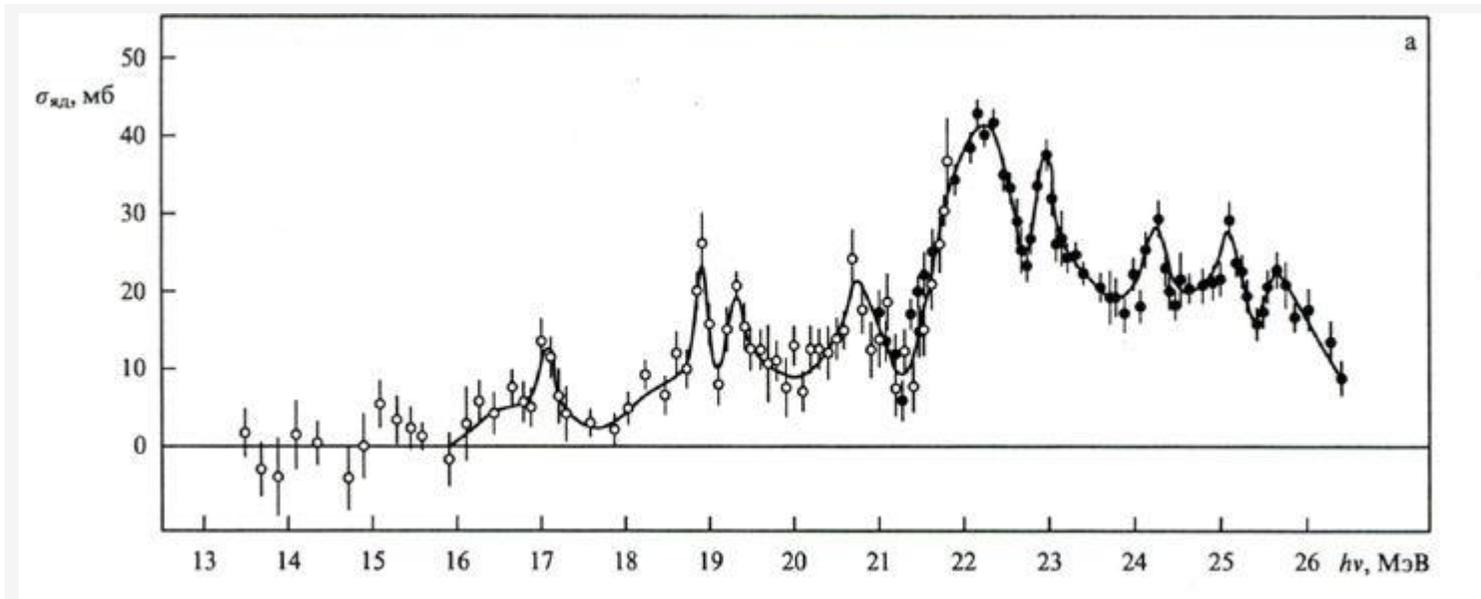


Л. Е. Лазарева - организатор и бессменный (до 1986 года) руководитель лаборатории фотоядерных реакций ФИАН им. П. Н. Лебедева (затем ИЯИ АН СССР, ИЯИ РАН), ведущей в СССР и России в этой области исследований.

Имя Л. Е. Лазаревой неразрывно связано с развитием мировой фотоядерной науки. Она - автор основополагающих работ по фотоядерным реакциям, ставших ныне классическими.

Среди общепризнанных результатов мирового уровня, полученных в ЛФЯР, можно отметить следующие:

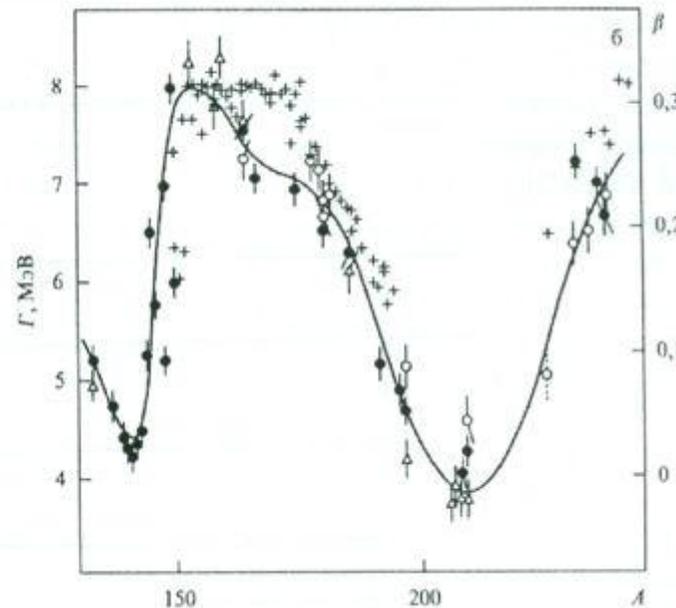
- изучены форма и структура сечений фотопоглощения легких ядер в области гигантского дипольного резонанса (ГДР), послужившие развитию оболочечной модели.



Кривая полного сечения фотопоглощения для ядра ^{16}O , показанная на этом рисунке, стала классической и приводится во многих учебниках и монографиях.

- изучены эффекты оптической анизотропии в тяжелых ядрах в области ГДР (термин "оптическая анизотропия" введен А.М. Балдиным для описания механизмов взаимодействия фотонов с ядрами). Обнаружено увеличение ширины резонанса в деформированных ядрах, изучена эволюция ширины ГДР для этой группы ядер. Измерения, выполненные на ядрах актиноидов ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , позволили обнаружить наличие перехода от сферической к сильно деформированной форме ядер при $Z \sim 90$, аналогичного фазовому переходу при $N \sim 90$. Аналогия наблюдаемых эффектов в ядрах этих двух областей служит подтверждением принципа зарядовой независимости ядерных сил. Полученные результаты являются уникальными до сих пор.

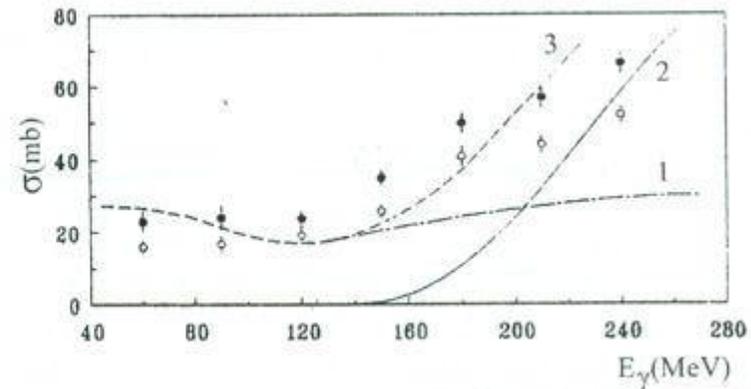
Эволюция ширины ГР для этой группы ядер в зависимости от атомного веса – и параметры деформации.



- впервые в мире (в сотрудничестве с ХФТИ) выполнен цикл работ по мгновенному и запаздывающему делению ядер электронами и фотонами с энергией от 10 до 2000 МэВ. Данные по возбуждению спонтанно - делящихся изомеров под действием электронов остаются единственными в мире до сих пор. Показана доминирующая роль E1 фотопоглощения в этих процессах и подтверждено согласие с теорией Вайцзекера - Вильямса в рамках однофотонного возбуждения ядер реальными и виртуальными фотонами.

- разработан и экспериментально реализован метод обратного комптоновского рассеяния на электронных накопителях (совместно с ИЯФ СО РАН, Новосибирск). На основе этого метода сформировалось новое научное направление, получившее название "Ядерная фотоника". У истоков этого направления стояли академики А.М. Балдин, председатель научного совета РАН по электромагнитным взаимодействиям и М.А. Марков, академик секретарь ОЯФ РАН. Работы выполнены при поддержке Ученого совета ИЯФ СО РАН и его руководителя, директора ИЯФ СО РАН академика А.Н. Скринского. В результате экспериментов в Новосибирске обнаружен нелинейный квантово - электродинамический эффект - несоблюдение принципа зарядовой инвариантности в полных сечениях фотопоглощения ядер - актиноидов (отклонение на 20% от универсальной кривой). Этот эффект позднее был подтвержден в лаборатории Джефферсона (США).

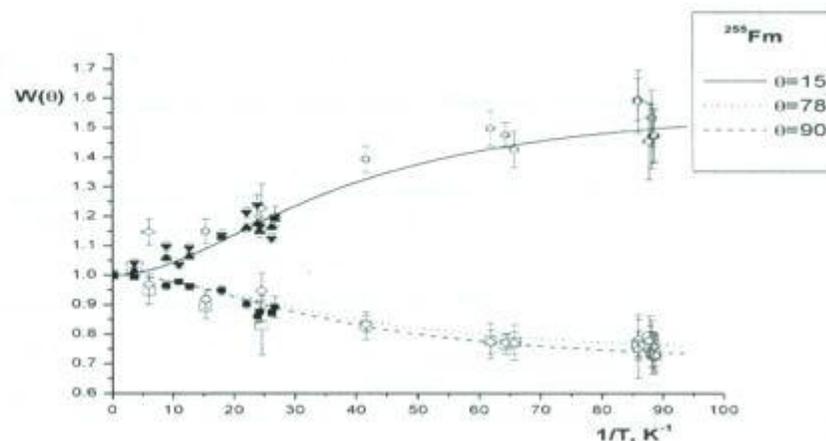
Сечения фотоделения ядер ^{238}U (открытые точки) и ^{237}Np (сплошные точки) в сравнении с модельными кривыми по данным эксперимента на установке РОКК-2 (Новосибирск)



- выполнен цикл теоретических исследований механизмов фотоядерных реакций под руководством профессора Р.А.Эрамжяна, который в 1986 году возглавил лабораторию фотоядерных реакций ИЯИ РАН. При его участии был предсказано и исследовано явление конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса. Р. А. Эрамжян одним из первых осознал универсальный характер этого явления. Совместно с теоретиками НИИЯФ МГУ была разработана мультикластерная динамическая модель с антисимметризацией для легких ядер. В рамках этой модели исследовались корреляционные и обменные эффекты электромагнитных формфакторов легких ядер. В содружестве с МИФИ Б.А.Тулуповым был создан метод для исследования одноквазичастичных силовых функций в ядрах, имеющих сильные коллективные колебательные состояния - обобщенный метод связанных каналов (ОМСК).

- выполнен цикл исследований на поляризованных ядрах - актинидах на установках НОРД ЛФЯР с уникальными рабочими характеристиками (базовая температура ниже 10 мК, магнитное поле 7 Т). Изучены соотношения между угловой анизотропией альфа-распада и ядерной деформацией. Измерены угловые распределения альфа-частиц, испускаемых ориентированными ядрами ^{241}Am , ^{243}Am , ^{253}Es , ^{254}Es , ^{255}Fm в диапазоне температур 10-1000 мК (в качестве примера на рисунке приведены результаты для ^{255}Fm). Путем анализа экспериментальных данных получены значения параметров углового распределения альфа-частиц, характеризующие амплитуды и фазы альфа-частичных волн с разными орбитальными моментами ($L=0, 2, 4$). Определена величина сверхтонкого магнитного поля на ядрах Es в матрице железа. Впервые в мире получено значение ядерного магнитного момента ^{254}Es .

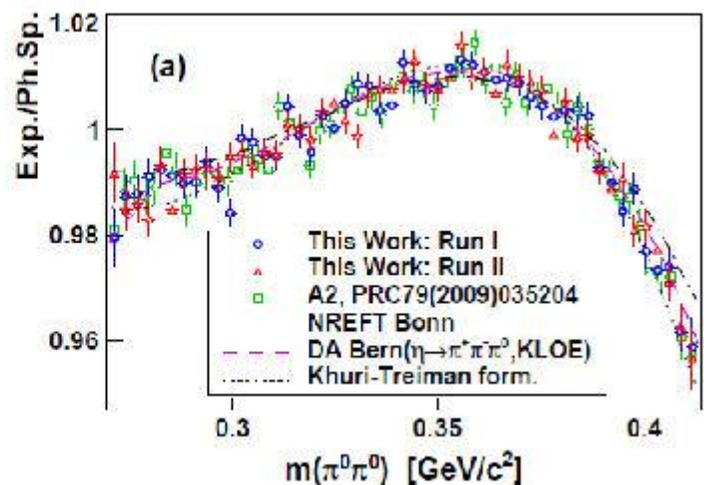
Угловая анизотропия
альфа-частиц, испускаемых
ориентированными ядрами
 $^{241,243}\text{Am}$, $^{253,254}\text{Es}$, ^{255}Fm



- на накопителе электронов ESRF (проект GRAAL в Гренобле (Франция)) проведены исследования фоторождения тяжелых мезонов на пучке поляризованных меченых фотонов. Исследованы сечения и спиновые асимметрии фоторождения пионов и тяжелых мезонов на нуклонах и ядрах в области нуклонных резонансов (500 - 1500 МэВ). Эксперимент выполнен на пучке монохроматических поляризованных фотонов, полученных методом обратного комптоновского рассеяния. В результате этих экспериментов было установлено, что нуклоны, как и ядра обладают формой и деформацией и к ним также можно применить термин "оптическая анизотропия". Детально изучена спиновая структура нуклонов, в частности P-33 резонанса, обусловленного переворотом спина одного из кварков в нуклоне. Показана идентичность полных сечений фотопоглощения на протоне и нейтроне в области нуклонных резонансов, что приводит к фундаментальным следствиям по проблеме электромагнитных взаимодействий ядер.

- в рамках международной коллаборации A2, работающей на пучке меченых фотонов на микротроне непрерывного действия MAMI университета им. Гутенберга (Майнц, ФРГ), выполнен цикл поляризационных экспериментов на протоне и дейтроне. При энергиях фотонов от 200 до 800 МэВ исследовано упругое рассеяние фотонов, различные реакции фоторождения и полное фотопоглощение.

Вероятности распада эта-мезона на 3 пи-мезона, запрещенного изостиновой симметрией и возникающего вследствие разности масс верхнего и нижнего кварков. Этот результат служит чувствительным тестом для величины изостинового нарушения в квантовой хромодинамике.



В лаборатории фотоядерных реакций постоянно развивались новые современные экспериментальные методики, включая создание пучков квазимонохроматических фотонов от аннигиляции позитронов на лету (на ускорителе ЛУЭ-100 ИЯИ РАН), метод обратного рассеяния лазерного излучения на быстрых электронах (совместно с ИЯФ СО АН СССР), создание поляризованных ядерных мишеней и пучков, и др. Большой опыт, накопленный сотрудниками лаборатории в фундаментальных исследованиях, позволил решить ряд прикладных задач достаточно широкого профиля. Среди них можно отметить следующие:

- Разработка для использования в медицинской практике детекторов рентгеновского излучения, позволяющих на порядок снизить радиационную нагрузку на пациента при рентгенографических исследованиях. Накоплен значительный опыт применения такой аппаратуры. Разработка защищена патентом РФ. На этой основе создан денситометр "ДЕНИС", который успешно прошел многолетнюю эксплуатацию в ЦИТО МЗ РФ и получил положительные медицинские заключения.

- Разработана (совместно с предприятиями Росатома), радиационная методика для повышения эффективности извлечения урана из трудно вскрываемых руд.

- Изучены возможности наработки на компактных импульсных разрезных микротронах на энергию электронов ~50 МэВ радиоизотопов для медицинских целей.

- Разработана методика и аппаратура для обнаружения несанкционированного перемещения взрывчатых и делящихся веществ.

По результатам работ ЛФЯР опубликованы сотни научных статей, монографии, обзоры в ведущих российских и зарубежных изданиях. Международный авторитет ЛФЯР способствовал организации и проведению регулярных,

продолжающихся до сих пор международных семинаров по физике электромагнитных взаимодействий ядер (ЕМИН), получивших мировое признание.

Более подробная информация о результатах работы ЛФЯР, включая публикации за последние годы, находится на сайте лаборатории (см.сайт www.inr.ac.ru/~pnlab).