

С 341

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
F-122 ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

4 - 6106

С.И.Габраков

ИССЛЕДОВАНИЕ
СПИНОВЫХ И ИЗСПИНОВЫХ ВЕТВЕЙ КОЛЕБАНИЯ
В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

Специальность 01-055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1971

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук Н.И. Пятов

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Д.П. Гречухин
кандидат физико-математических наук Ф.А. Гареев

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Ленинград.

Автореферат разослан " " 1971 года
Защита диссертации состоится " " 1971 года
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики,
г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Р.А. Асанов

4 - 6106

С.И. Габраков

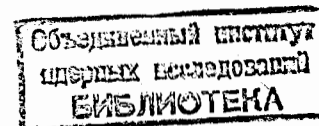
С 341
Г-122

ИССЛЕДОВАНИЕ
СПИНОВЫХ И ИЗСПИНОВЫХ ВЕТВЕЙ КОЛЕБАНИЯ
В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

Специальность 01-055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Спиновая и изоспиновая зависимости ядерных сил проявляются во многих характеристиках атомных ядер. Хорошо известны поляризационные эффекты в магнитных моментах и бета-распаде, аналоговые состояния, магнитный дипольный резонанс и другие ветви коллективных возбуждений.

Обычно экспериментально найденные значения магнитных моментов отклоняются от линии Шмидта в сферических ядрах и одночастичных оценок в модели Нильссона (см., например, ^{/1/}). Парные корреляции не меняют одночастичных значений магнитных моментов. Расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями магнитных моментов можно объяснить спиновыми поляризационными эффектами (см., например, ^{/2/}).

Аналогично, экспериментальные значения вероятности бета-распада значительно отличаются от оценок одночастичной модели ^{/3/}. Парные корреляции хорошо объясняют изотопическую зависимость значений ft , однако абсолютные значения ft почти на порядок меньше экспериментальных значений. Только учёт спиновых зарядово-обменных взаимодействий приводит к

удовлетворительному объяснению наблюдаемых значений $\log ft$ в нечётных ядрах (см., например, /4/).

Таким образом, ядерные процессы при низких энергиях и статические моменты ядерных состояний указывают на существенную роль спинового и изоспинового остаточных взаимодействий. Эти взаимодействия должны проявляться и в спектрах высоковозбужденных состояний. С ними можно ассоциировать возникновение коллективных ветвей возбуждения при высоких энергиях (так как эти корреляции носят отталкивательный характер).

В настоящее время хорошо исследованы ядерные вибрации квадрупольного и октупольного типов. Эти вибрации возникают при сравнительно низких энергиях возбуждений, и формируются из частично-дырочных возбуждений, в которых частица и дырка имеют одинаковый заряд.

Коллективные возбуждения, связанные с изоспиновым остаточным взаимодействием, формируются из частично-дырочных возбуждений, в которых частица и дырка имеют различный заряд, т.е. частица - протон, а дырка - нейтрон, и наоборот. Эти ветви будут коллективными возбуждениями в соседних чётно-массовых ядрах. В связи с этим возникает особый интерес к таким возбуждениям, и можно ожидать, что они будут интенсивно изучаться теоретически и экспериментально. Примером таких коллективных возбуждений являются изобар-аналоговые состояния. Другая ветвь изоспиновых возбуждений - гамов-теллеровские I^+ состояния, в которых происходит обмен зарядом с поворотом спина. С помощью таких коллективных возбуждений естественным образом объясняется замедление фермиевских и гамов-теллеровских бета-переходов в атомных ядрах.

Исследованию спиновых и изоспиновых ветвей возбуждения в деформированных ядрах и посвящена настоящая диссертация.

Для описания поляризационных эффектов и коллективных возбуждений используется формализм современной теории многих тел, в частности, методы Тамма-Данкова и случайных фаз, которые в последние годы нашли широкое применение в ядерной физике /5,6/.

Диссертация состоит из трех глав и заключения.

Первая глава носит обзорный характер. В ней излагается современное состояние теории спиновых и изоспиновых поляризационных эффектов в атомных ядрах, их влияние на магнитные моменты и скорости бета-распадов. Рассматриваются также работы, в которых исследовались спин-спиновые I^+ ($K=0,1$), изоспиновые 0^+ и спин-изоспиновые I^+ ($K=1$) возбуждения в сферических и деформированных ядрах. Обсуждается формирование $M1$ -резонанса, ферми- и гамов-теллеровских резонансов. Выбирается вид феноменологического остаточного взаимодействия, определяются константы взаимодействия различных процессов и устанавливается связь между ними.

Во второй главе диссертации рассматриваются магнитные моменты и коллективные спин-вибрационные состояния /7-9/.

В первом параграфе развита модель для описания I^+ состояний в чётно-нечётных ядрах. В гамильтониане ядра учитываются спаривание и спин-спиновые остаточные взаимодействия:

$$V_{\sigma} = \frac{1}{2} \sum_{\mu\nu\tau} \chi_{\mu\nu\tau} (\vec{\sigma}_{\mu} \vec{\sigma}_{\nu} \cdot \vec{\sigma}_{\tau}) \quad (1)$$

I^+ ($K=0,1$) возбуждения рассматриваются как вибрационные. С помощью метода уравнения движений находится дисперсионное

уравнение для энергии возбуждения ω , и волновые функции 1^+ состояний.

Во втором параграфе исследуется взаимодействие квазичастиц с 1^+ фононами в нечетных ядрах. В результате взаимодействия к состоянию нечетной квазичастицы добавляются трехквазичастичные примеси. С полученными волновыми функциями в §3 проводится расчет магнитных моментов. Из сравнения экспериментальных значений g_K с теоретически вычисленными находится значение χ .

В §4 исследуются свойства 1^+ возбуждений в четно-четных ядрах. Находятся вероятности $M1$ -переходов. Для локализации $M1$ -резонанса вычисляются правила сумм и силовые функции $M1$ -переходов. Примеры конкретных расчетов приведены в пятом параграфе. В отличие от работ /10/ проведены следующие модификации:

1. Уточнена константа спин-спинового взаимодействия χ из расчетов магнитных моментов нечетных ядер, с использованием различных методов учета взаимодействия с 1^+ -фононами /10,11/.

2. Расчеты проведены как в методе Тамма-Данкова, так и в приближении случайных фаз.

3. Использована более реалистичная схема одночастичных уровней в потенциале Саксона-Вудса вместо схемы Нильссона.

Исследование остаточных спин-спиновых взаимодействий в деформированных ядрах показало, что:

1. В нечетных ядрах возникают поляризационные эффекты, которые позволяют удовлетворительно описать величины наблюдаемых магнитных моментов. Из сравнения экспериментальных данных с вычисленными значениями магнитных моментов определяет-

ся константа χ , которая для различных ядер пропорциональна $\frac{N-Z}{A}$, что указывает на сильную роль спин-изоспиновой части остаточного взаимодействия.

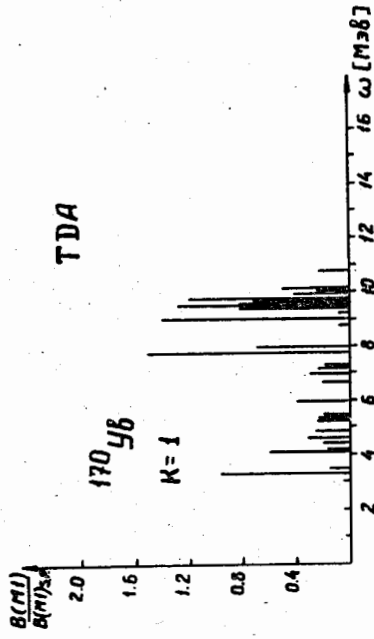
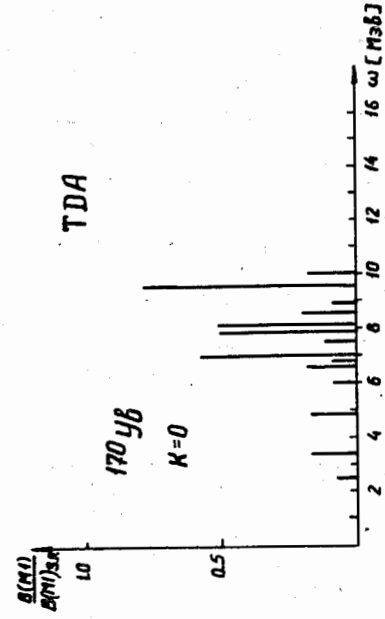
2. В четно-четных ядрах генерируются 1^+ возбуждения ($K=0,1$). Исследования, основанные на правиле сумм, силовых функциях и приведенных ширинах $M1$ -переходов, показали, что в области энергий порядка 8-10 Мэв формируется магнитный дипольный резонанс (см. рис. 1). Из анализа структуры когерентных возбуждений следует, что они в основном обусловлены одночастичными переходами между уровнями спин-орбитальных партнеров.

Магнитный дипольный резонанс можно обнаружить экспериментально в реакциях типа (γ, n) , (p, p') , (e, e') и др. Состояния типа $M1$ резонанса уже наблюдались в $Pb^{208}/12/$, $Ne^{20}/13/$ и $C^{12}/14/$. В деформированных ядрах аналогичные состояния пока не исследовались.

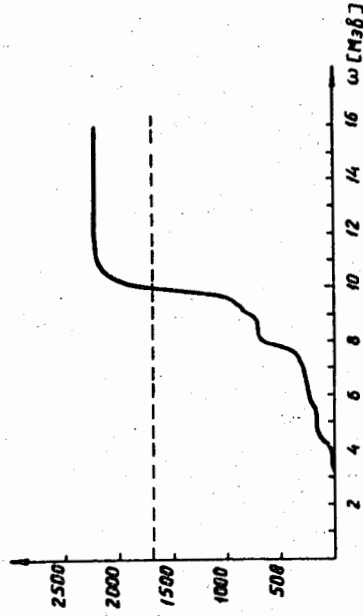
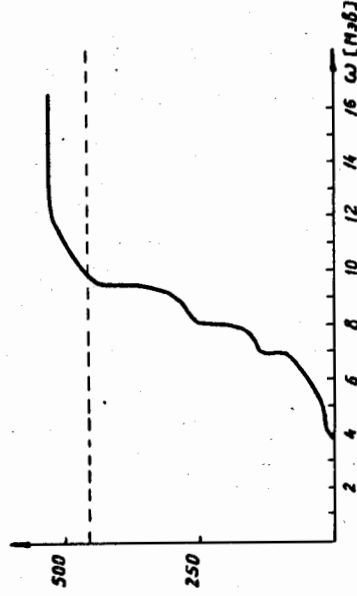
В третьей главе исследуются фермиевские и гамов-теллеровские возбуждения. В первом параграфе рассмотрена роль спин-изоспинового взаимодействия

$$V_{GT} = \frac{1}{2} \chi_{GT} \sum_{i,j} (\vec{\sigma}_i \vec{\sigma}_j) (\vec{\tau}_i \vec{\tau}_j) \quad (2)$$

в бета-распаде нечетных ядер. Из сравнения рассчитанных $\log ft$ для разрешенных переходов между низколежащими состояниями с экспериментальными данными находится константа χ_{GT} . Гамов-теллеровские $1^+(K=1)$ возбуждения в нечетно-нечетных ядрах описываются во втором параграфе. Находятся секулярное уравнение для определения их энергии и волновые функции. Аналогичным образом в §3 рассмотрены фермиевские 0^+ -состояния. Эти состо-



8



Р и с . 1.

Энергетическая диаграмма значений $B(M1)$ (вверху) и правило сумм для 1^+ -состояний с $K=0$ и 1 в ^{170}Yb .

яния коллективизируются изоспиновой частью остаточного взаимодействия:

$$V_F = \frac{1}{2} \chi_F \sum_{i,j} (\vec{\tau}_i \vec{\tau}_j) \quad (3)$$

Для локализации резонансных 0^+ и 1^+ состояний указанного типа в §4 рассчитываются силовые функции, а примеры численных расчетов приводятся в §5.

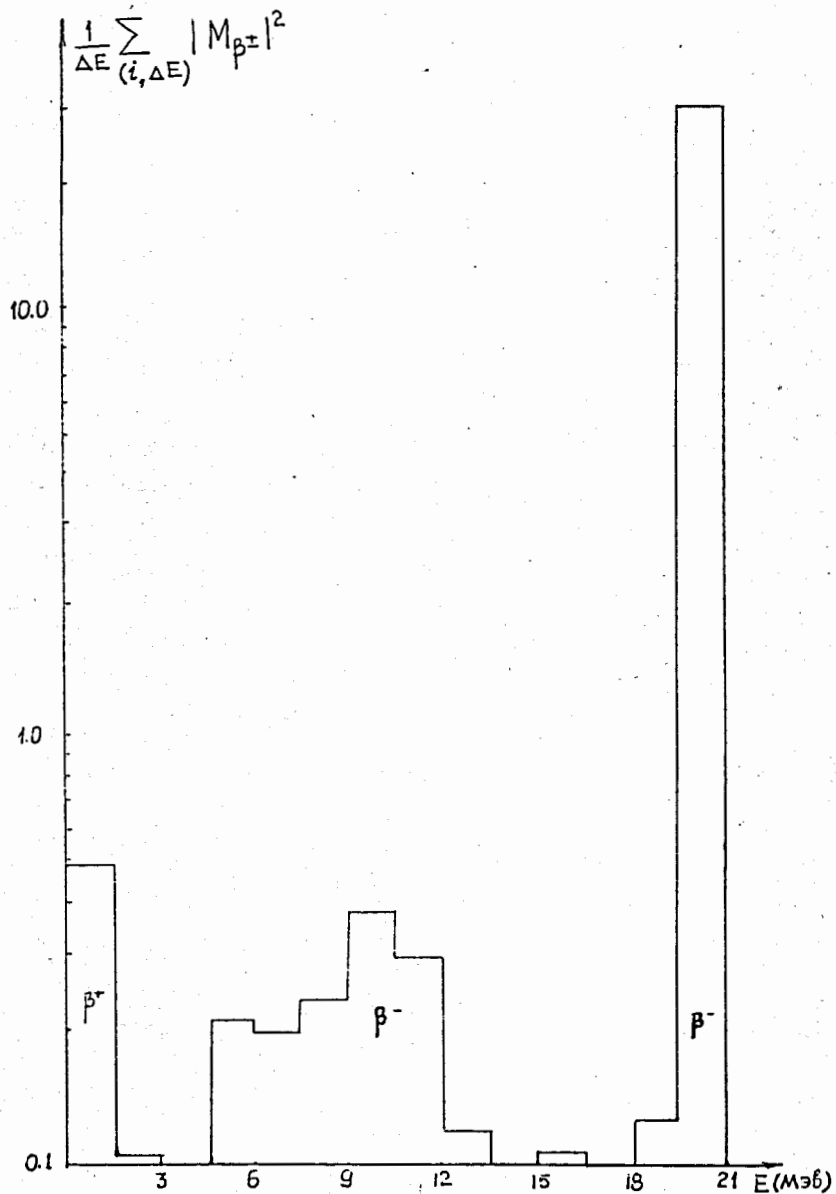
Проведенное рассмотрение спин-спиновых взаимодействий в деформированных ядрах $^{15-18}\text{O}$ показало, что:

а) в нечетных ядрах возникают поляризационные эффекты, которые позволяют объяснить замедление гамов-теллеровских бета-переходов. Из сравнения вычисленных $\log ft$ с экспериментальными значениями получена константа χ_{GT} , величина которой согласуется с оценками, полученными из расчета магнитных моментов;

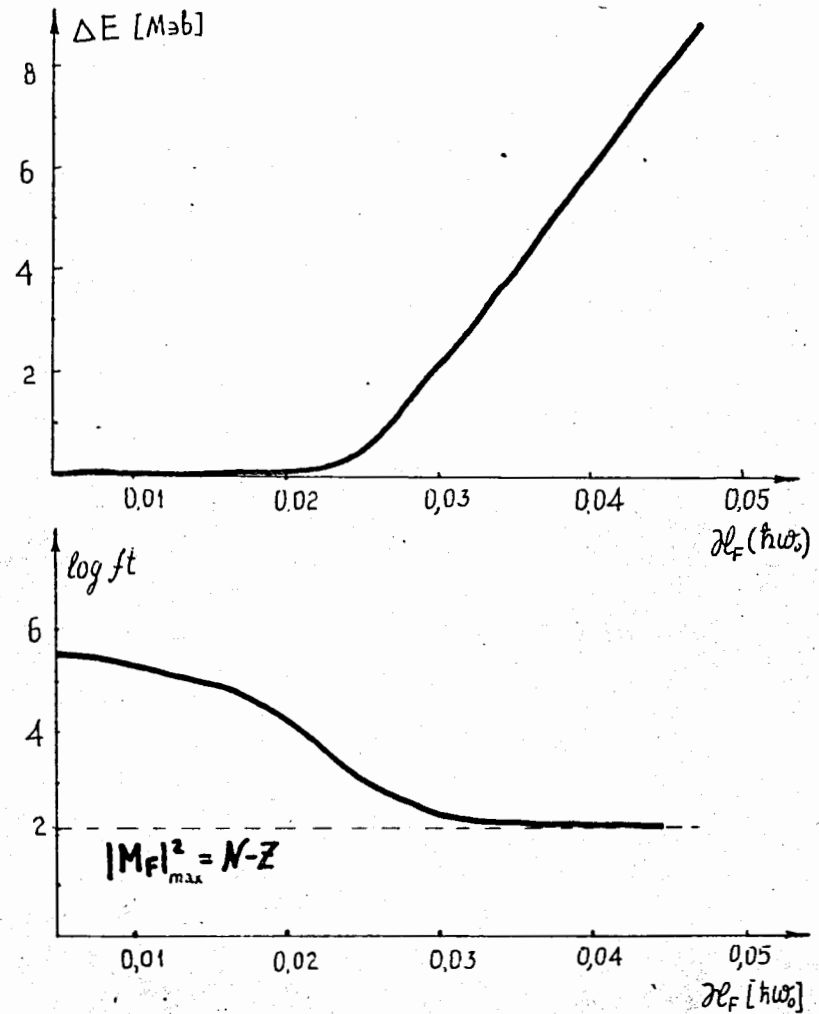
б) в нечетно-нечетных деформированных ядрах спин-изоспиновые взаимодействия (2) приводят к возникновению 1^+ возбуждений ($K=1$). Расчеты показали, что основная сила бета-распада этих состояний сконцентрирована в энергетически запрещенной области вблизи аналогового резонанса. В этой области формируется гамов-теллеровский резонанс (рис. 2). Распад этого состояния обусловлен в основном одноквазичастичными бета-переходами между (np)-спин-орбитальными партнерами;

в) В нечетно-нечетных деформированных ядрах изоспиновое взаимодействие (3) генерирует 0^+ возбуждения. Когерентное 0^+ возбуждение должно по своим характеристикам совпадать с изобар-аналоговым состоянием. Расчеты показали, что при малых значениях параметра χ_F коллективизации 0^+ состояния не происходит. С ростом χ_F резко изменяется значение $\log ft$,

9



Р и с. 2
Силловые функции β^+ -распада $Pt^{184} \rightarrow Ir^{184}$ и β^- -распада $Os^{184} \rightarrow Ir^{184}$, вычисленные в приближении ТД.



Р и с. 3

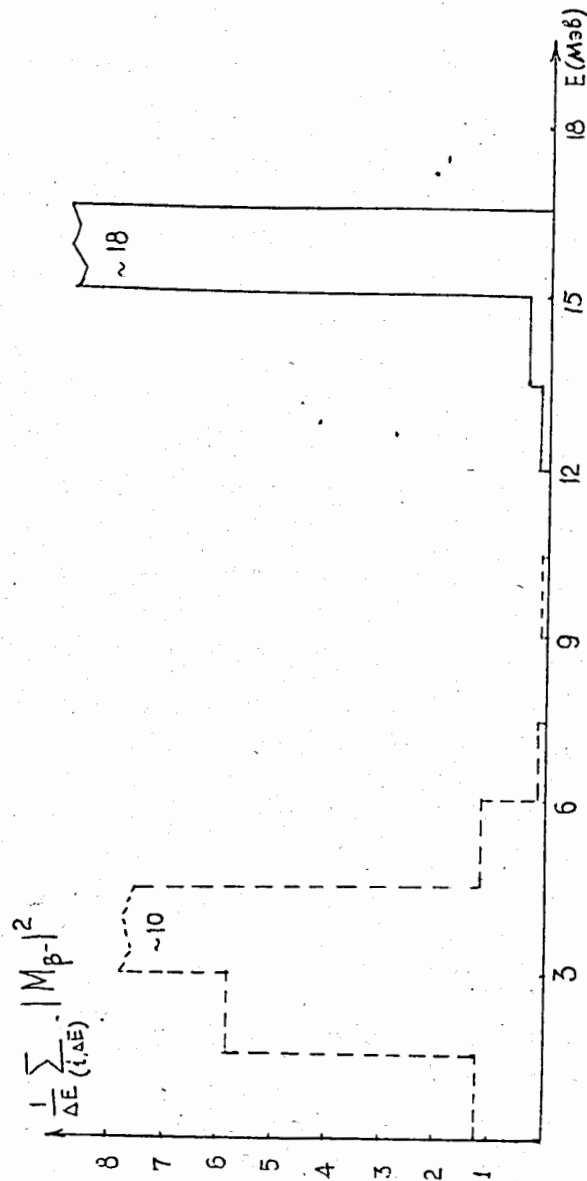
Формирование когерентного 0^+ состояния в ядре Eu^{156} .
Вверху показан сдвиг энергии 0^+ состояния, отсчитанный от последнего двухчастичного (np)-состояния, как функция \mathcal{I}_F . Внизу показано поведение $\log ft$ для бета-распада этого состояния.

затем матричный элемент перехода достигает своего предельного значения $\sqrt{N-Z}$ (рис. 3). Из рис. 4 видно, что при включении остаточного взаимодействия (3) сила фермиевского бета-перехода смещается в область высоких энергий, где формируется 0^+ ферми-резонанс.

Как отмечалось, резонансное ферми-состояние должно совпадать с изобар-аналоговым состоянием. Однако пока имеются лишь немногочисленные экспериментальные данные об аналоговых состояниях в нечетных деформированных ядрах, поэтому трудно проводить сравнение с экспериментом. Что касается гамов-теллеровского 1^+ резонанса в тяжелых ядрах, то его можно наблюдать, по-видимому, только с помощью ядерных реакций (p, n) , (He^3, t) , (α, d) и др. В ядрах с $Z > N$ возможно появление гамов-теллеровского резонанса ниже энергии сепарации нуклона. Недавно было сообщено о состояниях типа гамов-теллеровского резонанса в Ne^{17} и $Ar^{33/19}$.

В последние годы интерес к силовым функциям бета-распада заметно усилился в связи с исследованиями атомных ядер вдали от линии стабильности. Дополнительная информация о силовых функциях может быть получена из исследований спектров запаздывающих протонов (см. например, /20/) и запаздывающих нейтронов (см., например, /21/).

Пока представляется затруднительным прямое сравнение теоретических и экспериментальных силовых функций, поскольку в последних не отделяется вклад запрещенных переходов. С другой стороны, исследования запаздывающих протонов /20/ показывают, что плотность уровней, принимающих участие в бета-распаде, велика, и не может быть получена теоретически при учете только состояний со сравнительно простой структурой. Однако,



Р и с. 4

Сравнительное поведение силовых функций фермиевского ($0^+ \rightarrow 0^+$) β^- -распада $^{136}_{52}Sm \rightarrow E_{ii} \rightarrow E_{ii}$ при значениях $\mathcal{M}_F^2 = 0$ (пунктир) и $\mathcal{M}_F^2 = 0.03 \text{ MeV}^2$ (сплошная линия).

несомненно, что эти простые состояния играют большую роль, ибо только для них могут осуществляться сильные селективные правила отбора в бета-распаде. В этом смысле выделение некоторых сравнительно простых состояний в почти непрерывном спектре высоких возбуждений представляет большой интерес.

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на Международном симпозиуме в Загребе (1971, Югославия), на Международной конференции по физике тяжелых ионов (1971, Дубна), на **XXI** ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и опубликованы в работах /7- 9, 15-18/.

Литература

1. Э. Боденштедт, Дж. Д. Рожерс. В книге "Возмущенные угловые корреляции" (Атомиздат, Москва, 1966).
2. H. Noya, A. Arima, H. Horie. *Suppl. Progr. Theor. Phys.*, **8**, 33 (1958); Z. Bochnacki, S. Ogaza, *Nucl. Phys.*, **83**, 619 (1966).
3. M. Sakai, S. Yoshida. *Nucl. Phys.*, **50**, 497 (1964). J. Zylicz et al. *Ark. Fys.*, **36**, 643 (1967).
4. I. Hamamoto. *Nucl. Phys.*, **62**, 49 (1965). Z. Bochnacki, S. Ogaza. *Nucl. Phys.*, **A102**, 529 (1967). J. Fujita, Y. Futami, K. Ikeda. *Progr. Theor. Phys.*, **38**, 107 (1967).
5. В.Г. Соловьев "Теория сложных ядер" (изд. "Наука", Москва, 1971).
6. Дж. Браун. "Единая теория ядерных моделей и сил". (Атомиздат, Москва, 1970).
7. С.И. Габраков. Доклады БАН, **23**, 923 (1970).
8. С.И. Габраков, Д.И. Саламов. Доклады БАН, **23**, 1329 (1970).
9. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Н.И. Пятов, Д.И. Саламов, Г.Шульц. Препринт ОИЯИ, Р4-5889, Дубна, 1971.

10. А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. ЯФ, **9**, 313, 955 (1969). С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. ЯФ, **12**, 88 (1970).
11. V.G. Soloviev. *Phys. Lett.*, **16**, 308 (1965); *Progr. Nucl. Phys.*, **10**, 239 (1968);
12. C.D. Bowman et al., *Phys. Rev. Lett.*, **25**, 1302 (1970).
13. W.L. Bendel et al. *Phys. Rev.*, **C3**, 1821 (1971).
14. F. Aizenberg-Selove and Lauritzen. *Nucl. Phys.*, **A114**, 1 (1968).
15. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Д.И. Саламов. Препринт ОИЯИ, Р4-5744, Дубна, 1971.
16. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. Программа и тезисы докладов **XXI** ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Москва, 1971, стр. 175.
17. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. Аннотации докладов **IV** Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1971, Д1-5988, стр. 118; *Phys. Lett.*, **36B**, 275 (1971).
18. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Д.И. Саламов. Сборник материалов Международной конференции по физике тяжелых ионов, Дубна, 1971, Д7-5769, стр. 319.
19. Дж. Харди. "Материалы Международной конференции по физике тяжелых ионов", Дубна, 1971, Д7-5769, стр. 261.
20. V.A. Karnaukhov, D.D. Bogdanov, L.A. Petrov. *Proc. Leysin Conf. Leysin, Switzerland, 1970, CERN 70-30*, p. 457.
21. H. Gauvin and R. deTourelil. *IAEA Symp. on Physics and Chemistry of Fission, Vienna, 1969*, p. 621.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 октября 1971 года.