ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-95-521

На правах рукописи
УДК 539.17

СИНИЧКИН
Владимир Петрович

КОЛЛЕКТИВНЫЕ ГЕКСАДЕКАПОЛЬНЫЕ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ АТОМНЫХ ЯДЕР

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1995

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте механики и физики при Саратовском государственном университете.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук Е.Б. БАЛЬБУЦЕВ

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Н.С. ЗЕЛЕНСКАЯ
доктор физико-математических наук О.М. КНЯЗЬКОВ

Ведущая организация:
Институт ядерных исследований, г. Киев.

Защита диссертации состоится "__" ________ 1996 г. на заседании специализированного совета К047.01.01 при Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан "__" ________ 1996 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
доктор физико-математических наук ДОРОХОВ А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие экспериментальной техники привело к открытию мультипольных гигантских резонансов (МГР), в связи с чем не ослабевает интерес и к изучению давно известного гигантского дипольного резонанса (ГДР). Это связано в большей степени с тем, что идентификация новых резонансов в различных экспериментах зависит от способности отделения вклада ГДР, часто с ними перекрывающегося.

Учет связи дипольных колебаний плотности ядерного вещества с формой поверхности ядра привел к объяснению особенностей дипольных и квадрупольных возбуждений.

К настоящему моменту накоплена большая информация, касающаяся существования ядер с отличной от нуля статической гексадекапольной деформацией.

Представляется естественным, усложнив колебания поверхности ядра, включая в рассмотрение колебания гексадекапольного типа, оценить влияние их на гигантские мультипольные резонансы, что и является одной из целей диссертации.

Развитый в последние годы подход – метод моментов функции Вигнера (МФВ), хорошо зарекомендовал себя при описании коллективных ядерных возбуждений различной мультипольности. МФВ используется в диссертации для изучения возбуждений положительной четности вплоть до гексадекапольного типа включительно. Этот метод особенно привлекателен с практической точки зрения – задачу нахождения вибрационного спектра ядра удается свести к решению системы линейных алгебраических уравнений. Алгоритмизуемость применяемого метода позволяет использовать на отдельных этапах аналитическое программирование. Этот метод обладает и большими потенциальными возможностями в предсказании и исследовании новых мод возбуждения.

Цель работы – изучение в рамках динамической коллективной модели ядра влияния гексадекпольной деформации на возбуждение гигантского дипольного и гигантского квадрупольного резонансов (ГКР) с учетом возможной неаксиальности ядра; развитие метода МФВ и исследование в сферических ядрах возбужденных состояний положительной четности вплоть до мультипольности $\lambda = 4$.

Научная новизна и практическая ценность

- В рамках капельной модели исследовано влияние интерференции колебаний Гольдхабера-Теллера и Штейнведеля-Йенсена на расщепление ГДР в деформированных аксиально-симметричных атомных ядрах.

- На основе гидродинамической модели получены формулы для расщепления энергии ГДР с учетом гексадекапольных колебаний поверхности ядра в случае неаксиальных ядер, проведено квантование энергии и впервые получены константы, связывающие дипольные колебания плотности с гексадекапольными и квадрупольными поверхностными колебаниями с учетом их интерференции.

- Модель связи дипольных и квадрупольных колебаний обобщена на гексадекапольные колебания. Исследовано расщепление изовекторного ГКР в силу взаимодействия его с квадрупольными и гексадекапольными колебаниями поверхности ядра с учетом возможной неаксиальности.

- Показано, что свойства ГМР существенно зависят от вида граничных условий. Получены расчетные формулы для расщепления ГМР слабо деформированных ядер.

- В диссертации получил дальнейшее развитие метод моментов функции Вигнера: выведены уравнения для тензоров четвертого ранга. Для описания гигантского гексадекапольного резонанса и гигантского квадрупольного резонанса в рамках единого подхода впервые исследовалась совместно динамика тензоров четвертого и второго ранга.

- В приближении резкого края ядра с поверхностным натяжением и с учетом несжимаемости ядерного вещества рассчитан энергетический спектр и приведенные вероятности возбуждения 4^+ и 2^+ состояний.

- Предсказаны высокоэнергетичный 4^+ резонанс, на который имеется экспериментальное указание, а также положение магнитного октупольного резонанса и высоколежащего дипольного изоскалярного резонанса.

- Рассчитаны энергии и вероятности возбуждения ГКР и центроиды всех 2^+ возбуждений, лежащих ниже ГКР. Показано, что они исчерпывают 79% и 20% ЭВПС, соответственно. Предсказаны два квадрупольных резонанса вихревой природы, лежащи выше ГКР.

- Продемонстрирована важность учета гексадекапольной деформации поверхности Ферми (ДПФ) для правильного описания вышеперечисленных резонансов.

Развитая в диссертации методика позволяет рассчитывать энергии и вероятности возбуждения как гигантских резонансов, так и низколежащих коллективных состояний с реалистическим взаимодействием.

Апробация работы. Материалы, послужившие основой данной диссертации, представлялись на 32, 34, 35, 38, 39 Совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Киев, 1982; Алма-Ата, 1984; Ленинград, 1985; Ташкент, 1989), на 6-ой Международной конференции по механизмам ядерных реакций (Varenna, 1991), на Всесоюзном семинаре по коллективной динамике (Саратов, 1987), на Сессиях АН РАН (Москва, 1986-87). Они также неоднократно докладывались на семинарах кафедр теоретичекой и ядерной физики, теоретической и математической физики СГУ, отдела ядерной физики и ускорителей НИИМФ СГУ, ЛТФ ОИЯИ.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 11 работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, приложения и заключения. Содержит 104 страницы текста, включая 14 рисунков и 1 таблицу; в список литературы включено 111 наименований.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Оценено влияние интерференции колебаний Гольдхабера-Теллера и Штейнведеля- Йенсена на расщепление ГДР в деформированных аксиально-симметричных атомных ядрах. Показано, что с ростом A происходит усиление влияния объемной моды.

2. В рамках гидродинамической модели ядра получены формулы для расщепления энергии ГДР с учетом гексадекапольных колебаний поверхности в случае неаксиальных ядер.

3. Модель связи дипольных и квадрупольных колебаний обобщена на гексадекапольные; с точностью до второго порядка по поверхностным переменным α_2 и α_4 получен вид дипольного оператора и оценено влияние последнего на величину дипольных сил.

4. В методе моментов функции Вигнера в приближении резкого края ядра и с учетом несжимаемости ядерного вещества выведены уравнения движения для тензоров четвертого ранга.

5. Рассчитаны энергии и вероятности возбуждения коллективных 4^+, 3^+, 2^+, 1^+- состояний. Получено хорошее описание гигантского гексадекапольного и гигантского квадрупольного резонансов. Расчеты согласуются с немногочисленными экспериментальными данными по гигантскому гексадекапольному резонансу.

Содержание диссертации

Введение носит обзорный характер, в нем сформулирована постановка физической задачи и обоснована актуальность исследуемых проблем.

В первой главе исследуются гигантские дипольный и квадрупольный резонансы в гексадекапольно деформированном ядре.

В разделе 1.1, исследуется влияние интерференции колебаний Гольдхабера-Теллера (ГТ) и Штейнведеля-Йенсена (ШЙ) на расщепление ГДР в деформированных аксиально-симметричных атомных ядрах.

Для наших целей используется капельная модель ГДР, развитая в работах Майерса и Святецкого. Несмотря на простоту предположений, заложенных

в ее основу, она приводит к результатам, согласующимся как с выводами, полученными в методе правил сумм, так и (качественно) с результатами микроскопических расчетов.

Коллективная координата, описывающая ГДР, представляется в капельной модели в виде двухкомпонентной величины $\alpha = \binom{\alpha_1}{\alpha_2}$, гармонически зависящей от времени, компоненты которой определяют долю вклада соответственно α_1 (моды ГТ) и α_2 (моды ШЙ) в дипольный момент d.

Однородная система уравнений для связанных колебаний имеет вид

$$(\omega^2 B - C)\begin{pmatrix}\alpha_1\\ \alpha_2\end{pmatrix} = 0,$$

где элементы инерциальной матрицы B и матрицы упругости C можно получить сопоставлением гамильтониана

$$H = T + V = 1/2B_{ij}\dot{\alpha}_i\dot{\alpha}_j + 1/2C_{ij}\alpha_i\alpha_j$$

с гамильтонианом капельной модели Майерса и Святецкого. Матричные элементы B_{ij} и C_{ij} в деформированном ядре приобретают поправки B'_{ij} и C'_{ij}, зависящие от параметра деформации:

$$B_{ij} = (B_{ij})_0(1 + \beta B'_{ij}), \qquad C_{ij} = (C_{ij})_0(1 + \beta C'_{ij})$$

Результаты расчетов расщепления ГДР показали, что коэффициент расщепления D является функцией атомного номера, а не постоянной величиной, соответствующей несвязанным моделям ГТ, ШЙ.

Параметры деформации, извлекаемые из расщепления ГДР при учете интерференции колебаний ШЙ и ГТ, будут промежуточными между значениями, полученными в предположении о несвязанных модах.

Таким образом, нами показано, что учет интерференции колебаний ШЙ и ГТ влияет на расщепление ГДР деформированных ядер. Нельзя проводить анализ и сравнение с экспериментальными данными по квадрупольным моментам, учитывая лишь один тип колебаний, что обычно делается при обработке фотоядерных экспериментов. При развитии модели (высшие поправки по параметру деформации β, связь с колебаниями поверхности) необходимо обращать внимание на это обстоятельство.

В разделе 1.2 оценено влияние гексадекапольной деформации ядра на возбуждение гигантского дипольного резонанса.

В 1.2.1, решая в гидродинамической модели ядра уравнение Гельмгольца с граничным условием отсутствия потока ядерной жидкости через поверхность деформированного ядра с неаксиальной деформацией, получим для энергии продольных E_0 и поперечных $E_{\pm1}$ дипольных колебаний следующие выражения:

$$\frac{E_0}{E_d} = 1 - 0.5767\alpha_{20} + 0.1615\alpha_{20}^2 - 0.7480\alpha_{40}^2 + 0.0311\alpha_{22}^2 - 0.277\alpha_{20}\alpha_{40};$$

$$\frac{E_{\pm1}}{E_d} = 1 + 0.2884\alpha_{20} + 0.0371\alpha_{20}^2 - 0.2656\alpha_{40}^2 + 0.1600\alpha_{22}^2 + \\ +0.1389\alpha_{20}\alpha_{40} \pm (0.7063\alpha_{22} + 0.0567\alpha_{22}\alpha_{40} + 0.3089\alpha_{20}\alpha_{22}),$$

где E_d – энергия ГДР в отсутствие деформации, причем для квадрупольной деформации имеем $\alpha_{20} = \beta_2 \cos\gamma$, $\alpha_{22} = \alpha_{2-2} = \beta_2 \sin\gamma/\sqrt{2}$, а для гексадекапольной $\alpha_{40} = \beta_4(5\cos^2\gamma + 1)/6$.

Полученные нами результаты показывают, что величина расщепления ГДР, кроме обычного роста с увеличением квадрупольной деформации β_2 зависит и от гексадекапольной деформации β_4. Существует различие в расщеплении вытянутого ($\gamma = 0$) и сплюснутого ($\gamma = \pi$) ядер: с ростом β_4 происходит его увеличение до 25% для вытянутого и уменьшение до 15% для сплюснутого ядра.Кроме того, гексадекапольная деформация оказывает более сильное влияние на продольные, чем на поперечные колебания ГДР.

В 1.2.2 -1.2.3 в результате квантования получено выражение для гамильтониана с точностью до 2-го порядка по $\alpha_{2\mu}$ и $\alpha_{4\mu}$:

$$H = -\sqrt{3}\hbar\omega \left\{[q^{[1]+} \times q^{[1]}]^{[0]} - 1/2\sqrt{3}\right\} + \hbar\omega B_1[q^{[1]+} \times q^{[1]} \times \alpha^{[2]}]^{[0]} + \\ +\hbar\omega \sum_{\lambda=2,4;\sigma=0,2} B_{\lambda\sigma} \left\{[q^{[1]+} \times q^{[1]} \times [\alpha^{[\lambda]}]^{[\sigma]}]^{[0]} - \delta_{\sigma,0}\sqrt{3}[\alpha^{[\lambda]} \times \alpha^{[\lambda]}]^{[0]}\right\} + \\ +\hbar\omega B_3[q^{[1]+} \times q^{[1]} \times [\alpha^{[2]} \times \alpha^{[4]}]^{[2]}]^{[0]},$$

где $q^{[1]+}$ и $q^{[1]}$ – операторы рождения и уничтожения фононов гигантского дипольного резонанса.

Константы B_{40}, B_{42} и B_3, связывающие дипольные плотности с гексадекапольными поверхностными колебаниями и их интерференцией с квадрупольными, получены нами впервые и равны $B_{40} = -2.110$, $B_{42} = -2.265$, $B_3 = -1.423$.

Модель связи дипольных колебаний плотности ядерного вещества с квадрупольными колебаниями поверхности ядра обобщена на гексадекапольные колебания и гексадекапольные моменты. Получена система уравнений для расчета энергетического спектра дипольных состояний и выведены формулы для интенсивностей дипольных переходов. Из проведенного анализа результатов следует, что гексадекапольная деформация, последовательно учтенная как при расчете энергий расщепления ГДР, так и интенсивностей дипольных переходов, влияет на низкоэнергетическую часть спектра ГДР.

В разделе 1.3 в рамках гидродинамической модели исследуется расщепление изовекторного гигантского квадрупольного резонанса квадрупольно и гексадекапольно деформированного ядра.

Получено уравнение, определяющее энергетическое расщепление изовекторного ГКР, коэффициенты которого зависят от трех параметров $\beta_{20}, \beta_{40}, \gamma$. В первом порядке малости по β_{20} и β_{40} найдены решения характеристического уравнения. Из анализа полученных решений следует, что энергетический спектр, кроме очевидного уширения с ростом β_{20}, существенно зависит от β_{40}, причем появляется возможность определения знака гексадекапольной деформации по отношению к квадрупольной у неаксиально деформированного ядра или по известному знаку – величину параметра неаксиальности, так как картина симметрична относительно изменения знака β_4/β_2 с одновременной заменой γ на $(60° - \gamma)$. Указанная симметрия обобщает простую симметрию зависимости распределения сил изовекторного ГКР от γ относительно 30° при $\beta_4 = 0$.

Во второй главе исследуется зависимость гигантских мультипольных резонансов (дипольного и квадрупольного) от вида граничных условий в ядерной гидродинамике для ядра с резкой границей. Выводятся расчетные формулы для исследования расщепления энергии МГР слабо деформированных ядер и приводятся результаты численного расчета параметров расщепления для дипольных возбуждений.Там же представлены результаты расчетов основных характеристик (энергия, относительная доля вихревой компоненты, параметр расщепления, интенсивность) для двух ветвей изовекторного и изоскалярного квадрупольных возбуждений. Все эти величины представлены в зависимости от существенного параметра теории $s^2 = 4/3 + K/\mu$, где K -модуль всестороннего сжатия в случае изоскалярных возбуждений, который для изовекторных возбуждений связан с энергией изоспиновой симметрии, μ – модуль сдвига, определяющий "деформацию" без изменения объема.

Оценка значения параметра s в соответствии с различными вариантами сил Скирма приводит к возможному интервалу $2 \le s \le 3.2$. Использование одного из граничных условий приводит к выводу о существовании низкоэнергетической ветви изовекторного дипольного гигантского резонанса, интерпретируемой как дипольная тороидная мода.

В третьей главе излагаются основные положения метода моментов функции Вигнера.

В разделе 3.1 уравнение зависящего от времени метода Хартри-Фока для одночастичной матрицы плотности $\hat{\rho} = (\vec{r}_1, \vec{r}_2, t)$ преобразуется в уравнение для квантовой функции распределения – функции Вигнера $f(\vec{r}, \vec{p}, t)$:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{2}{\hbar} \sin \left\{ \frac{\hbar}{2} \left(\vec{\nabla}_r^H \vec{\nabla}_p^f - \vec{\nabla}_p^H \vec{\nabla}_r^f \right) \right\} H_W f \,. \qquad (1)$$

где H_W – Вигнер-образ гамильтониана. Приближение, в котором оставлен только первый член разложения sin в ряд, известно как квазиклассическое приближение Хартри-Фока. Уравнение (1) в этом случае совпадает с классическим кинетическим уравнением Власова.

В разделе 3.2 интегрированием уравнения (1) по импульсному пространству с различными весами получаем бесконечную систему связанных динамических уравнений для плотности $n(\vec{r}, t)$, коллективной скорсти $\vec{u}(\vec{r}, t)$, компонент тензора давлений $P_{ij}(\vec{r}, t)$, и тензоров более высокого ранга $P_{ij\dots k}(\vec{r}, t)$. Происходит переход к макроскопическому описанию коллективной ядерной динамики. Динамические переменные n, $\vec{u}$, P_{ij} и т.д. определяются при этом в терминах моментов функции Вигнера по импульсам.

В разделах 3.3 - 3.4 система интегрируется по координатам с различными весами, что дает бесконечную систему вириальных уравнений для моментов

функции Вигнера в фазовом пространстве. Полученная система распадается на конечные подсистемы, описывающие динамику тензоров $\tilde{\Pi}_{i_1\dots i_k}^{i_{k+1}\dots i_n} = \int\int f(\vec{r}, \vec{p}, t) p_{i_1} \dots p_{i_k} x_{i_{k+1}} \dots x_{i_n} d\vec{p} d\vec{r}$, где k пробегает все значения от 0 до n.

Знание всех моментов функции f эквивалентно знанию самой функции. Естественно попытаться написать уравнения движения непосредственно для моментов. Получаемые подсистемы, очевидно, и есть искомые уравнения движения. При этом подходе видно, что для описания эволюции момента ядра (в координатном пространстве) мультипольности λ нужно учесть деформацию поверхности Ферми всех мультипольностей вплоть до λ.

В разделе 3.5 вириальные уравнения варьируются и линеаризуются по амплитудам с целью изучения малых возмущений равновесного состояния ядра. В результате получаются уравнения движения, описывающие вибрационные возбуждения ядра мультипольности λ.

В разделе 3.6 для расчета вероятностей возбуждения коллективных состояний электрического и магнитного типа применена теория линейного отклика.

В четвертой главе метод моментов функции Вигнера применяется для описания коллективных 1^+-, 2^+-, 3^+- и 4^+- возбуждений атомных ядер; причем решается методический вопрос об устойчивости метода.

В разделе 4.1 получены две системы вириальных уравнений, описывающих возбуждения положительной четности с мультипольностью $\lambda \le 4$ третий и пятый вириалы. В результате варьирования этих уравнений получена система динамических уравнений, которые могут служить основой для изучения коллективных 1^+-, 2^+-, 3^+-, и 4^+ состояний.

В разделе 4.2 проведен расчет энергий возбуждений соответствующих коллективных состояний. Получена система уравнений, описывающая динамику вариации гексадекапольного момента $\delta Q_{4\mu}$ и, следовательно, коллективные *гексадекапольные* возбуждения 4^+. Для периодических ($\sim e^{i\omega t}$) решений этой системы найдено характеристическое уравнение, которое является квадратным уравнением относительно ω^2 и дает два девятикратно вырожденных уровня. Решение с меньшей энергией ($E_4^{(1)} \approx 70A^{-1/3}$ МэВ) интерпретируется как гигантский гексадекапольный резонанс (имеющиеся экспериментальные данные неплохо с ним согласуются). Если пренебречь последовательно гексадекапольной и октупольной ДПФ, то решения ощутимо смещаются, удаляясь от эксперимента, остается только один 4^+ уровень $\approx 150A^{-1/3}$ МэВ.

Для описания *октупольных* возбуждений 3^+ получена система уравнений для вариации магнитного октупольного момента $\delta M_{3\mu}$. В результате расчетов получен семикратно вырожденный уровень с энергией $\sim 116A^{-1/3}$ МэВ. Кулоновские и поверхностные силы не влияют на его положение, которое полностью определяется квадрупольной и октупольной ДПФ.

Для *квадрупольных* возбуждений 2^+ получена система уравнений для вариаций электрического квадрупольного момента ядра $\delta Q_{2\mu}$. Характеристическое уравнение является полиномом четвертого порядка относительно ω^2. Его решения дают четыре пятикратно вырожденых уровня энергии. Один из уровней ($\approx 65A^{-1/3}$) МэВ интерпретируется как изоскалярный ГКР и исчерпывает 78% энергетически взвешенного правила сумм. Оценено влияние ДПФ высших мультипольностей. В результате происходит не только изменение численных значений энергии, но и просто потеря некоторых мод. Низкоэнергетическая мода с $E \approx 23.7A^{-1/3}$ МэВ представляет собой центроид всех 2^+ - состояний ядра, лежащих ниже ГКР.

Расширение схемы расчета до тензоров четвертого ранга позволило решить задачу методического характера – об устойчивости метода МФВ при расчетах ГКР. Следует отметить, что квантовая поправка, появляющаяся в этой системе уравнений, исчезающе мала.

Для дипольных возбуждений получен один трехкратно вырожденный уровень с энергией $\approx 132.6A^{-1/3}$ МэВ, пренебрежение октупольной ДПФ меняет этот результат на 25%, что еще раз подчеркивает необходимость учета ДПФ высших мультипольностей.

В разделе 4.3, используя теорию линейного отклика системы на возмущение внешним полем, получены формулы для расчета вероятностей возбуждения 4^+ - и 2^+ - состояний. Дана интерпретация рассчитанных уровней энергии.

В заключении перечислены основные результаты работы.

В приложение вынесены некоторые формулы справочного характера и громоздкие математические соотношения.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *О расщеплении гигантского дипольного резонанса в капельной модели.* ЯФ, 1982, т.35, вып.6, с.1380 – 1384.

2. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Расщепление ГДР ядер,обладающих гексадекапольной деформацией.* Тез. докл. 32 Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. -Л.,Наука, 1982, с.179.

3. Панферов А.Д., Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Расщепление ГДР с учетом гексадекапольных поверхностных колебаний ядра.* В сб.:Вопросы теоретической и ядерной физики,Саратов, СГУ, вып.8, 1982, с.8 – 12.

4. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *О влиянии гексадекапольной деформации на расщепление ГДР неаксиальных ядер.* В сб.:Вопросы теоретической и ядерной физики,Саратов, СГУ, вып.9, 1983, с.9 – 13.

5. Плотников Ю.А., Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Динамическая коллективная модель ядра с учетом гексадекапольных степеней свободы.* В сб.:Вопросы теоретической и ядерной физики,Саратов, СГУ, вып.10, 1985, с.43 – 48.

6. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Расщепление изовекторного гигантского квадрупольного резонанса квадрупольно и гексадекапольно деформированного ядра.* В сб.:Вопросы теоретической и ядерной физики,Саратов,СГУ, вып.11, 1987, с.67 – 75.

7. Синичкин В.П., Шехтер Д.Ш., Шехтер Л.Ш. *Влияние гексадекапольной деформации ядра на возбуждение гигантского квадрупольного резонанса.* Тез. докл. 34 Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.-Л., Наука, 1984, с.174.

8. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Деформационное расщепление изовекторного гигантского квадрупольного резонанса* Тез. докл. 35 Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.-Л., Наука, 1985, с.220.

9. Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Гигантские мультипольные резонансы и граничные условия в ядерной гидродинамике.* В сб.:Вопросы теоретической и ядерной физики, Саратов, СГУ, вып.12(ч.1), 1991, с.7 – 20.

10. Бальбуцев Е.Б., Баструков С.И., Михайлов И.Н., Синичкин В.П., Шехтер Л.Ш. *Вибрационные* 1^+-, 2^+-, 3^+- *и* 4^+-*возбуждения в сферических ядрах.* Препринт ОИЯИ Р4-89-125, Дубна, 1989; ЯФ, 1989, т.50, с.1264 – 1276.

11. Balbutsev E.B., Mikhailov I.N., Molodtsova I.V., Piperova J., Bastrukov S.I., Sinichkin V.P., Shekhter L.Sh. *Nuclear collective motion described by the moments of Wigner distribution function.* In Proc. 6-th Inter.Conf. of Nuclear Reaction Mechanisms, Varenna, 1991, p.550 – 568.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 декабря 1995 года.