

С 341

4 - 4416

F-2021

Ф.А.Гареев

ОДНОЧАСТИЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
В РЕАЛИСТИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

С.И. Дроздов

кандидат физико-математических наук

В.Б. Беляев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Физико-энергетический институт.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г.

на заседании Совета Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р.А. Асанов

4 - 4416

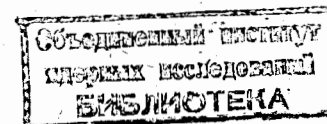
Ф.А.Гареев

ОДНОЧАСТИЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
В РЕАЛИСТИЧЕСКОМ ПОТЕНЦИАЛЕ

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

6110 89



Современные теории, в которых ядро рассматривается как система многих тел, опираются на два основных, одинаково важных элемента: 1) производится выбор уровней среднего поля и соответствующих волновых функций в качестве базиса, 2) вводятся коррелятивные силы между нуклонами. Если даже учет этих сил произведен очень корректно, то точность анализа свойств ядер зависит от того, насколько удовлетворительно выбран одночастичный базис. Следовательно, определение среднего поля ядер занимает центральное место в теории ядра.

Теоретические вычисления потенциалов среднего поля наталкиваются на принципиальные трудности физического и математического характера. В связи с этим в практических исследованиях используется некоторый феноменологический ядерный потенциал (и в этом направлении достигнуты большие успехи), описывающий основные свойства одночастичных состояний сферических и деформированных ядер. Таким, например, является локальный потенциал Саксона-Вудса. В принципе можно было бы вести расчеты с нелокальным потенциалом, но нелокальность усложняет вычисления и приводит лишь к незначительному изменению положения уровней у поверхности Ферми.

Изучению одночастичных состояний сильнодеформированных ядер посвящены работы многих авторов. Среди них наиболее удобными для приложений были работы Нильссона ^{1/}, где в качестве среднего ядерного поля был выбран анизотропный осцилляторный потенциал. Однако такой потенциал нельзя считать

удовлетворительным – использование бесконечного по глубине анизотропного осцилляторного потенциала и не зависящего от деформации, постоянного по всему объему ядра спин-орбитального взаимодействия приводит к тому, что модельные осцилляторные волновые функции обладают искаженной асимптотикой в области резкого перепада плотности ядерного вещества. Это существенно при описании процессов, для которых важную роль играет область границы ядра и, следовательно, радиальная зависимость волновой функции в этой области. Например, поверхность ядра дает наибольший вклад при электромагнитных переходах высокой мультипольности $\lambda \geq 1$ и в прямых ядерных реакциях, поскольку радиальная часть оператора перехода является резкой функцией от r . Поэтому для проведения широких исследований таких явлений ясна необходимость разработки метода вычисления базисных функций ядра, имеющих правильное поведение в граничной зоне ядра, достаточно простого и удобного для практических вычислений.

Настоящая диссертация посвящена обобщению метода решения уравнения Шредингера с потенциалом Саксона-Вудса^{/4-6/} на случай произвольной формы; созданию улучшенного одночастичного базиса для исследования свойств деформированных ядер в области $150 < A < 190$, и изучению одноквазичастичных переходов с помощью этого базиса.

В первой главе описан приближенный метод решения уравнения Шредингера для сферически-симметричных ядер, полученные собственные функции представлены в аналитическом виде и удобны для приложений^{/2/}. Сравнение собственных значений и собственных функций, полученных по данному и "точному"^{/2/} методам, показывает, что точность нашего метода удовлетворительна. Эти волновые функции в дальнейшем служат базисом для диагонализации энергетической матрицы деформированных ядер.

Впервые задачу о нахождении одночастичного спектра в деформированном конечном потенциале с размытым краем реша-

ли П.Э. Немировский и В.А. Чепурнов^{/3/}. Они использовали метод численного интегрирования системы дифференциальных уравнений и получили спектр нейтронных и протонных уровней для ядер редкоземельной области. Однако исключительная сложность расчетов и необходимость большого времени на ЭВМ, а также то обстоятельство, что собственные функции даны в виде громоздких таблиц, затрудняют применение этого метода.

Вторая часть первой главы посвящена описанию более эффективного метода вычисления одночастичных состояний аксиально-симметричных деформированных ядер^{/4-6/}. Детальное сравнение обоих методов показало^{/6/}, что они приводят к практически эквивалентным результатам для уровней, расположенных вблизи границы Ферми и играющих главную роль в исследованиях структуры ядра и ядерных реакций. И в случае деформированных ядер наш метод позволяет получить волновые функции в аналитическом виде и производить расчеты более чем в 100 раз быстрее.

Показано, что при вычислении собственных функций и собственных значений необходимо учитывать взаимодействие оболочек N и $N \pm 2$. В случае протонных состояний необходимо также учитывать искажение кулоновского поля, вызванное деформацией ядра. При расчетах уровней с большими моментами следует принять во внимание и изменение величины спин-орбитального взаимодействия с увеличением деформации.

Во второй главе метод решения уравнения Шредингера, описанный в первой главе, обобщен для неаксиальных ядер. Рассмотрены основные свойства одночастичных состояний и показано, что при $u \neq 0$ взаимодействие между оболочками N и $N \pm 2$ становится еще более сильным, чем при $u = 0$, поэтому оно должно быть учтено при построении одночастичных схем. Это существенно затрудняет возможность расчетов, так как во много раз увеличивается ранг энергетической матрицы. Вот почему все существующие одночастичные схемы при $u \neq 0$ вычислены в приближении "независимых оболочек" Ньютона^{/8/}

(Нильссона), и только в потенциале Ньютона (Нильссона). Заметим, что предложенный метод расчета собственных значений и собственных функций при $\gamma \neq 0$ в потенциале Саксона-Вудса является единственным.

Итак, предложен метод решения уравнения Шредингера для ядер произвольной формы (сферические, аксиально-симметричные, неаксиальные, гексадекапольно-деформированные и т.д.), т.е. в радиус ядра $R(\theta, \phi)$ могут быть включены любые мультипольности деформаций $\beta_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi)$ в рамках теории конечного потенциала с диффузным краем. Метод позволяет быстро и эффективно вычислить одночастичный спектр и волновые функции деформированных ядер. При этом сохраняются основные достоинства схемы Нильссона (простота и эффективность применения для различных приложений).

В третьей главе на базе данного метода вычисляются одночастичные спектры и волновые функции деформированных ядер редкоземельной области /16/. Получены спектры нейтронных и протонных состояний, описывающие экспериментальные данные по одночастичным уровням нечетных ядер (см. рис. 1-6). Показано, что использование одночастичного базиса, построенного на основе потенциала Саксона-Вудса, более правильно по сравнению с потенциалом Нильссона описывающего среднее поле ядра, и может способствовать более детальному анализу свойств деформированных ядер. Так, потенциал Саксона-Вудса учитывает изменения в поведении энергий и волновых функций в зависимости от массового числа A . Поэтому данный базис был вычислен для трех областей по $A = 155; 165; 181$.

Таким образом, создан улучшенный одночастичный базис для исследования свойств деформированных ядер в области $150 < A < 190$.

Эти результаты применены в работах /9-15/ для изучения структуры ядер редкоземельной области. Например, в работе /11/ исследованы неротационные состояния ядер с нечет-

ным числом протонов в области $177 \leq A \leq 187$ и показано, что использование наших одночастичных энергий и волновых функций ведет к значительному улучшению описания изотопов рения, тантала и тяжелых изотопов лютетия по сравнению с расчетами, основанными на потенциале Нильссона.

Глава четвертая посвящена изучению влияния гексадекапольной деформации β_{40} на свойства одночастичных состояний ядер редкоземельной области. Известно, что должны смешиваться состояния с одинаковыми Ω и четностью π , но принадлежащие оболочкам N и $N+2$. Показано, что такое смешивание становится очень сильным вблизи квазипересечения уровней, но в весьма узком интервале значений деформации β_{20} . Введение β_{40} в форму ядра приводит к увеличению интервала деформаций β_{20} , где имеет место такое сильное смешивание двух состояний.

Параметры развязывания a для квазипересекающихся уровней испытывают сильные изменения в области наибольшей перестройки структуры волновой функции, причем эта перестройка происходит в узком интервале значений деформаций β_{20} . Введение β_{40} увеличивает интервал β_{20} сильного изменения величины параметра a .

Изучение зависимости параметра развязывания a от величины деформаций β_{20} и β_{40} приводит к выводу, что величина a для некоторых состояний (например, $1/2^- [510]$) очень чувствительна к значениям β_{20} и β_{40} , а для других состояний (например, $1/2^+ [411]$, $1/2^- [541]$ и $1/2^- [530]$) она практически постоянна при изменении β_{20} и β_{40} .

Показано, что энергетический спектр чувствителен к величине гексадекапольной деформации β_{40} , при этом меняется как порядок расположения одночастичных уровней, так и локальная плотность их у поверхности Ферми. Наши предварительные исследования равновесных значений деформаций β_{20} и β_{40} по методу В.М. Струтинского для ядер редкоземельной области показывают, что полученные нами равновесные зна-

чения β_{20} и β_{40} хорошо согласуются как с экспериментальными данными, так и с результатами аналогичных вычислений со схемами Нильссона.

Итак, введение β_{40} в форму ядра существенно влияет на среднеполевые характеристики — одночастичный спектр и соответствующие волновые функции, поэтому необходимо учесть эти изменения при создании одночастичных схем уровней.

В пятой главе изучены одноквазичастичные переходы в нечетных деформированных ядрах редкоземельной области. Анализ интенсивностей E1-переходов приводит к выводу /19/, что в тех случаях, когда одноквазичастичное приближение справедливо, расчет с нашими волновыми функциями систематически дает лучшее согласие с экспериментом по сравнению с вычислениями в приближении потенциала Нильссона. В противоположность нильссоновской схеме, в которой учет влияния спаривания на вероятность E1-переходов с $\Delta K=0$ приводит к ухудшению согласия с экспериментальными данными, получены значения приведенных вероятностей, удовлетворительно согласующиеся с экспериментом. Исследование вероятностей E2 и E3-переходов показало, что $F_{s.w.}^{теор.} = B_{s.w.}^{теор.}(E\lambda)/B_{s.w.}^{экс.}(E\lambda)$ и $F_N^{теор.} = B_N^{экс.}(E\lambda)/B_N^{экс.}(E\lambda)$ практически не отличаются друг от друга, и что для переходов этого типа одноквазичастичное приближение не годится, поэтому необходимо учитывать сильную коллективизацию состояний, между которыми идет переход /11/. Интересно отметить, что одночастичные значения $\log ft$ для разрешенных β -переходов практически не зависят от модельных одночастичных волновых функций, с помощью которых они рассчитаны.

Данный базис позволяет не только пересмотреть и уточнить исследования определенных свойств ядер, уже проведенных в нильссоновском приближении, но и дать анализ таких явлений, которые ранее оставались необъясненными. К такому явлению относится N-запрещенный β -распад. (Нейтрон, находящийся в состоянии, принадлежащем оболочке с $N=6$, испытывая β -превращение, переходит в протон, находящийся

в состоянии, принадлежащем оболочке с $N=4$). В противоположность нильссоновской схеме, в которой вероятность таких переходов равна нулю, получены конечные значения $\log ft R^{-1}$, удовлетворительно согласующиеся с экспериментом.

Таким образом, показано, что использование наших волновых функций ведет к значительно лучшему описанию интенсивностей одноквазичастичных переходов в нечетных ядрах $150 < A < 190$ по сравнению с расчетами, основанными на потенциале Нильссона.

Основные результаты диссертации представлены в работах /7,16-20/ и доложены на XVIII и XIX ежегодных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

Л и т е р а т у р а

1. S.G.Nilsson, Kgl. Danske Vidensk. Selsk., Mat. Fys. Medd., 29, No16 (1955).
B.R.Mottelson, S.G.Nilsson, Mat. Fys. Skr.Dan.Vid.Selsk., 1, No 8 (1959).
2. Б.Н. Калинин, Я. Грабовский, Ф.А. Гареев. Acta Phys. Polonica XXX, 999 (1966).
3. П.Э. Немировский, В.А. Чепурнов. ЯФ, 3, 998 (1966).
В.А. Чепурнов. Препринт ИАЭ 1447 (1967).
4. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Б.Н. Калинин. Acta Phys. Polonica, v.32, 461 (1967).
5. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Б.Н. Калинин. Препринт ОИЯИ P4-3325, Дубна (1967).
6. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Б.Н. Калинин. Acta Phys. Polonica, v.33, 135 (1968).
7. F.A.Gareev, L.I.Vinokurov, B.N.Kalinkin, Preprint JINR E4-3453, Dubna (1967).
8. T.D.Newton, Can. Journ. Phys., 38, 700 (1960).
9. В.Г. Соловьев. Обзорный доклад, представленный на Международном симпозиум по структуре ядра. Дубна (1968).

10. М.И. Черней, В.Д. Овсянников. Препринт ОИЯИ Р2-4168, Дубна (1968).
11. Л.А. Малов, В.Г. Соловьев, У.М. Файнер. Препринт ОИЯИ Е4-4224, Дубна (1968).
12. В.И. Фурман, А.Б. Попов. Препринт ОИЯИ Р4-3925. Дубна (1968).
13. Л.А. Малов, В.Г. Соловьев, У.М. Файнер. Препринт ОИЯИ Р4-4073 (1968).
14. А.А. Корнейчук, Л.А. Малов, В.Г. Соловьев, С.И. Федотов, Г. Шульц. Препринт ОИЯИ Е4-4075, Дубна (1968).
15. H.Schulz, H.J.Wiebicke. Preprint JINR E4-4210, Dubna(1969).
16. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Б.Н. Калинин. Известия АН СССР, серия физическая, т. 32, №10, 1690 (1968).
17. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Б.Н. Калинин, С.К. Слепнев, М.Г. Гинзбург. Препринт ОИЯИ Р4-3607, Дубна (1967).
18. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, Н.Ю. Ширикова. Препринт ОИЯИ Р4-4259, Дубна (1969).
19. Ф.А. Гареев, С.П. Иванова, М.И. Черней. ЯФ, т. 9, вып. 2, 308 (1969).
20. Ф.А. Гареев, Б.Н. Калинин, Н.И. Пятов, М.И. Черней. ЯФ, т. 8, вып. 2, 305 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
15 апреля 1969 года.

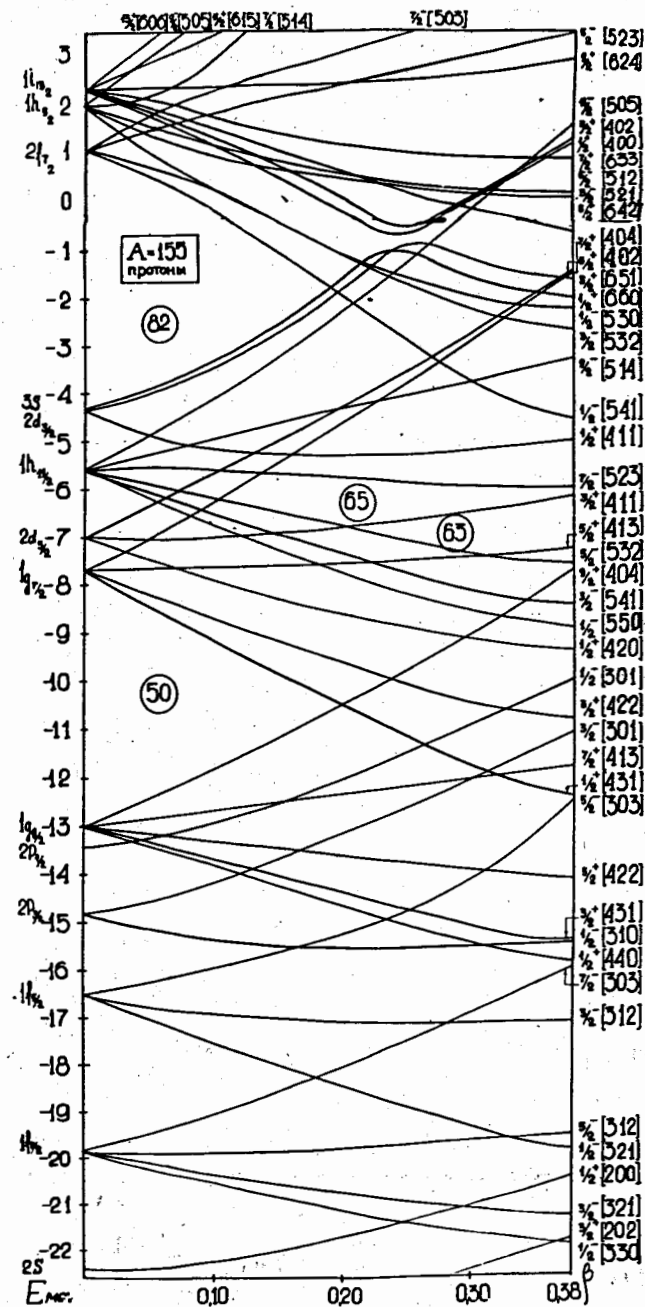


Рис.1. Протонные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 155$.

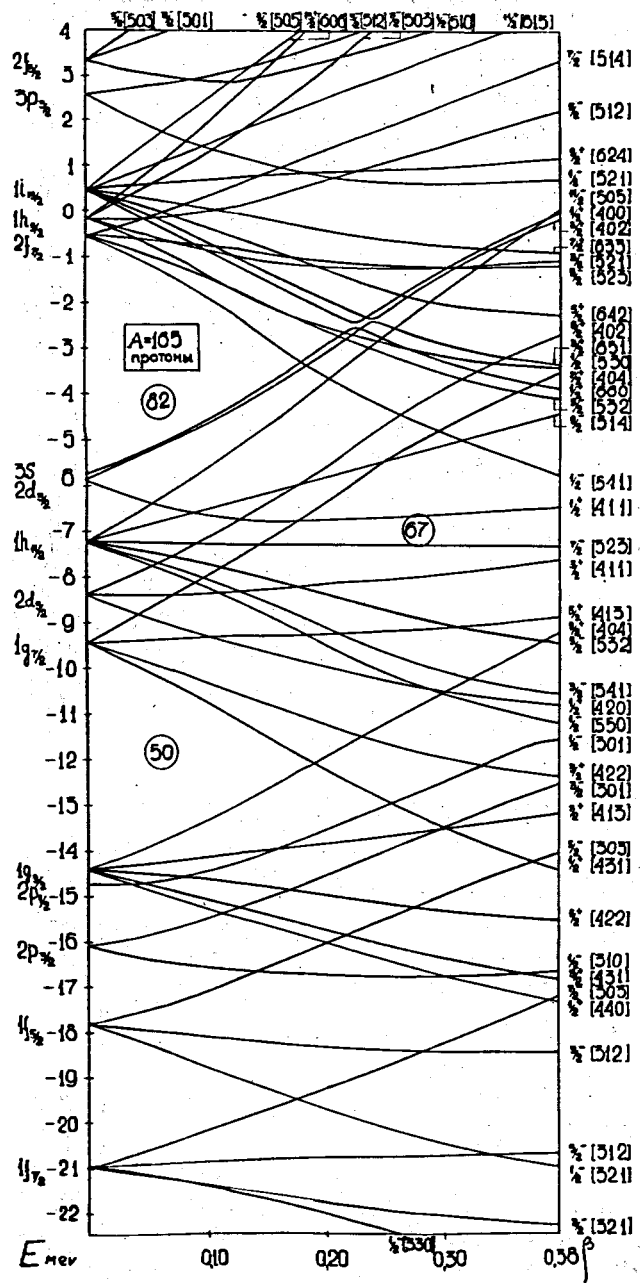


Рис.2. Протонные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 105$.

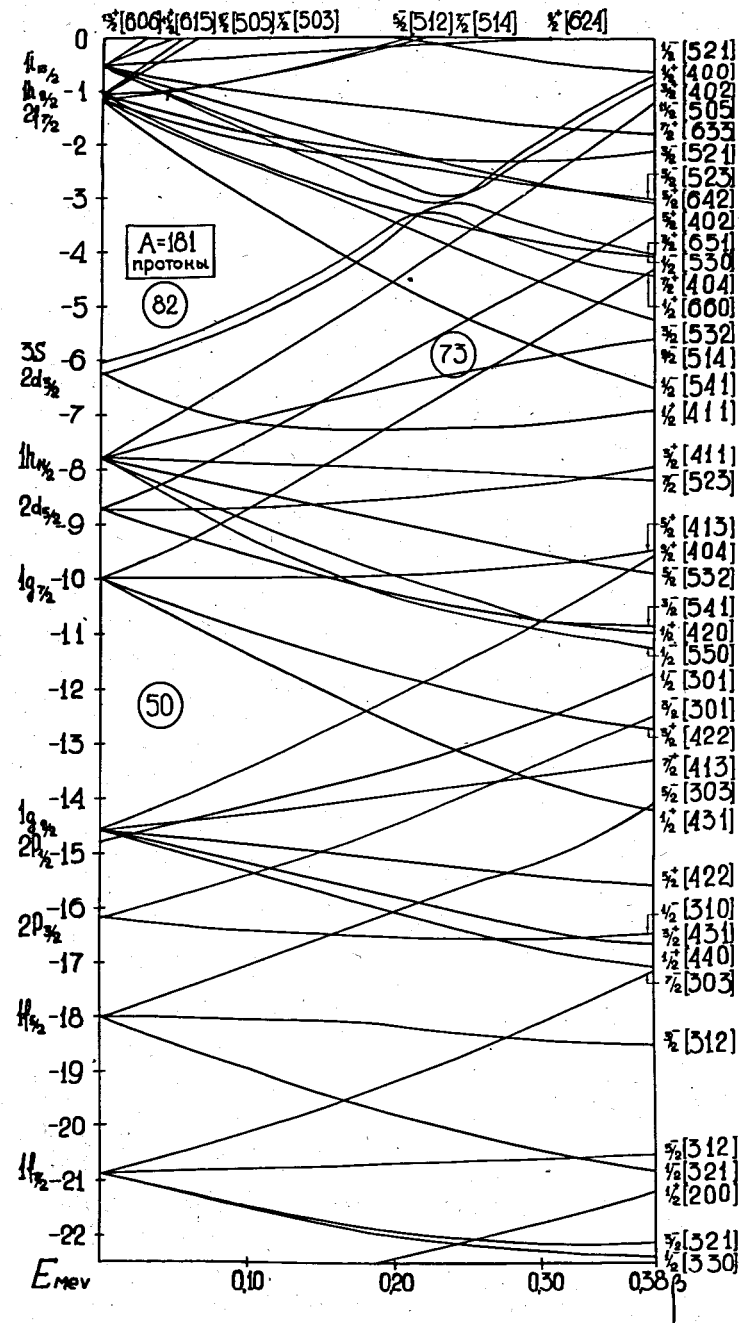


Рис.3. Протонные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 181$.

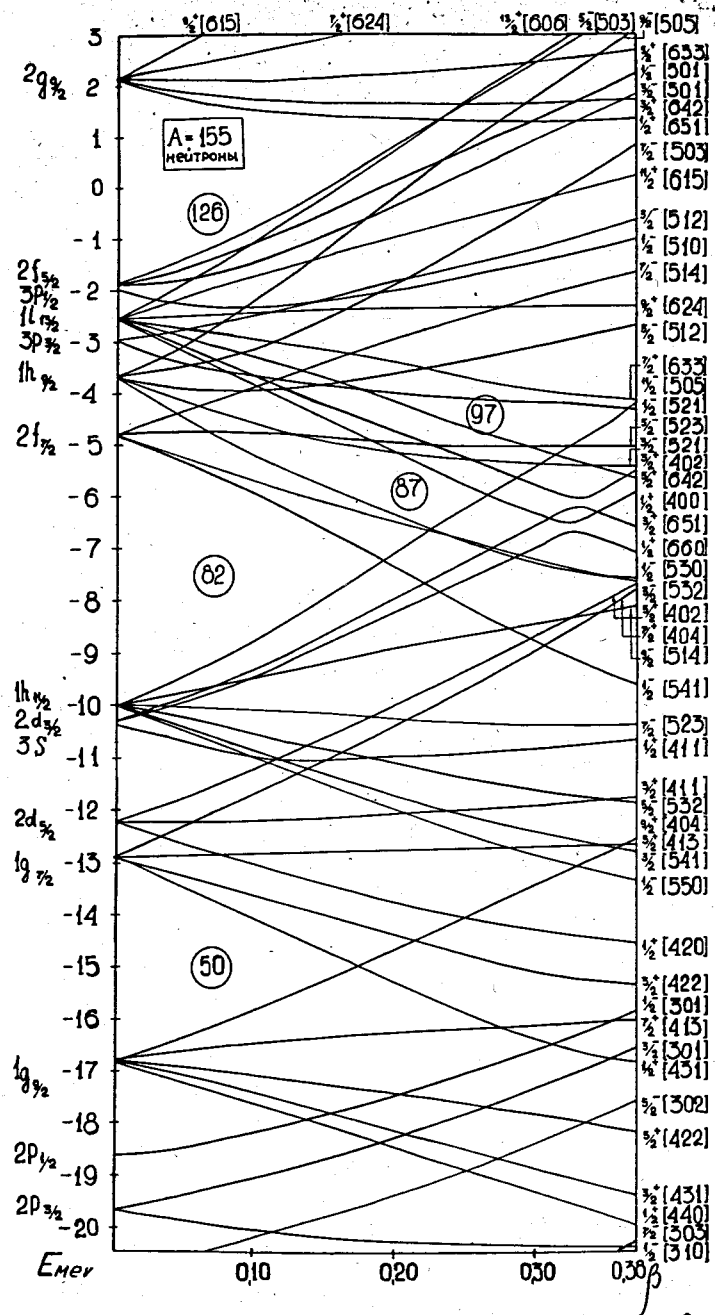


Рис.4. Нейтронные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 155$.

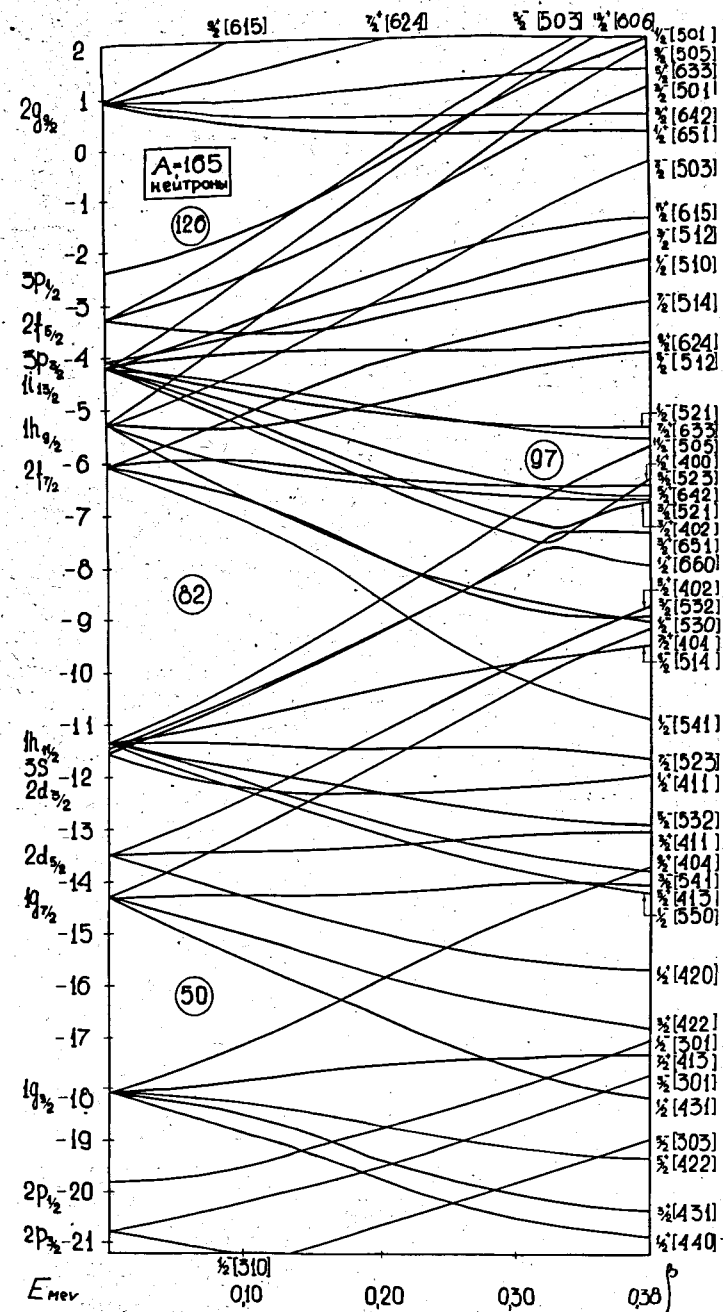


Рис.5. Нейтронные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 165$.

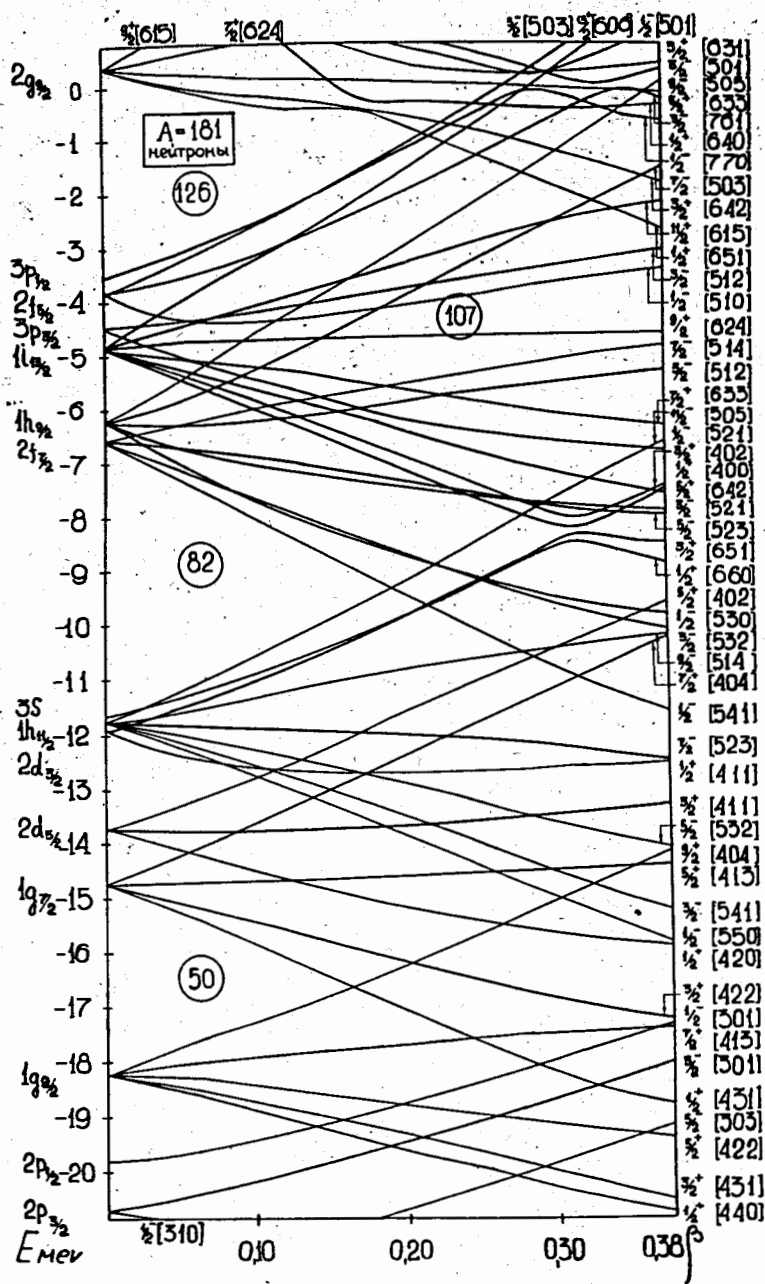


Рис.6. Нейтронные одночастичные уровни в зависимости от β для $A = 181$.