

ВЛИЯНИЕ ЗАМЫКАНИЯ ОБОЛОЧЕК НА ВЕРОЯТНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ЯДРЕ

В.А.Морозов

Обнаружено, что магнитные переходы типа M1, M2, M4 могут служить своеобразным зондом, позволяющим идентифицировать замыкание оболочек в ядрах. Установлен факт соответствия одночастичному пределу отношения приведенных вероятностей протонных и нейтронных переходов для ядер, имеющих четно-четный магический кор ± 1 нуклон. Это может способствовать определению зон действия магических чисел, прогнозированию вероятности связанных протонных и нейтронных переходов в различных нечетных околomagических ядрах.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

The Effect of the Shell Closure on the Probabilities of Electromagnetic Transitions in a Nucleus

V.A.Morozov

It has been discovered that M1-, M2-, M4-type magnetic transitions can serve a probe to identify the shell closure in nuclei. The fact has been established of correspondence to one-particle limit of the ratio of reduced probabilities of proton and neutron transitions for nuclei, having even-even magic core ± 1 nucleon. It can contribute to determining the zones of action of magic numbers and to predicting the probabilities for proton and neutron transitions in various odd near-magic nuclei.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Сравнение приведенных вероятностей однотипных протонных и нейтронных электромагнитных переходов в нечетных ядрах с магическим или полумагическим кором в районе чисел, близких к $Z = 50$, $N = 64$; $Z = 64$, $N = 82$ и $Z = 82$, $N = 126$, позволяет установить их качественную согласованность. Остановимся на сравнении приведенных вероятностей переходов магнитных мультипольностей.

Приведенные вероятности M2-переходов

На рис.1, 2 представлены приведенные вероятности нейтронных и протонных переходов типа M2 ($1h_{11/2} - 1g_{7/2}$) для околомагических ядер вблизи $Z, N = 64$ в зависимости от Z и от N . Характерные черты этой зависимости в общем виде отражены на рис.3, на котором схематично показано, что именно в седловой точке, находящейся на пересечении двух замкнутых оболочек, приведенная вероятность M2-переходов минимальна. Обнаруженная закономерность в поведении вероятности $B(M2)$ -переходов в нечетных околомагических нуклидах позволяет оценить влияние магического кора на относительные вероятности протонных и нейтронных переходов.

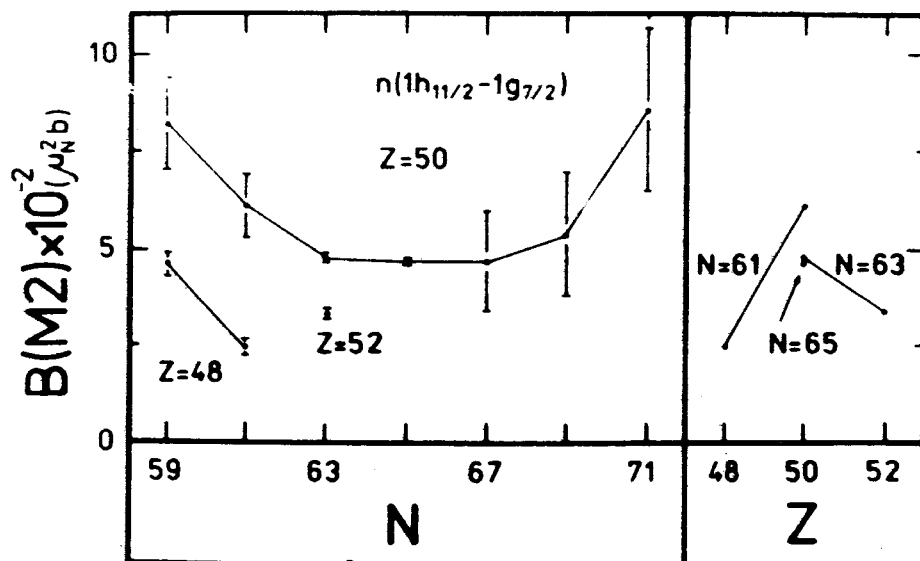


Рис. 1. Приведенные вероятности нейтронных переходов типа M2 ($1h_{11/2} - 1g_{7/2}$).

При расчетах в рамках одночастичной модели отношения приведенных вероятностей магнитных переходов в ядре по Мошковскому равны

$$\frac{B(ML)_p^M}{B(ML)_n^M} = \frac{M_\mu^M}{M_\mu^n} \left(\frac{A_p}{A_n} \right)^{(2L-2) \cdot 3} \frac{S_p(I_i L I_f)}{S_n(I_i L I_f)}, \quad (1)$$

где S_p, S_n — статистический множитель; A_p, A_n — массовые

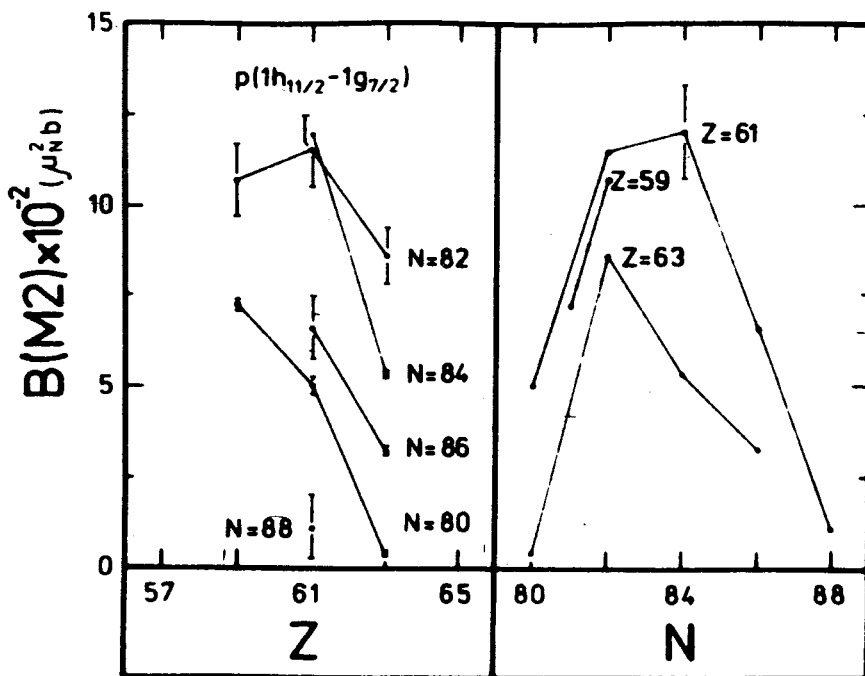


Рис.2. Приведенные вероятности протонных переходов типа M2 ($1h_{11/2} - 1g_{7/2}$).

числа нечетно-протонного и нечетно-нейтронного ядер. Для предельного случая при рассмотрении переходов одиночных нуклонов или переходов в зеркальных ядрах, принимая $S_p/S_n = 1$, имеем

$$\frac{B(ML)_p^M}{B(ML)_n^M} = \frac{M_\mu^p}{M_\mu^n} \quad (2)$$

Рис.3. Общий вид зависимости приведенных вероятностей переходов типа M2 ($1h_{11/2} - 1g_{7/2}$) в нечетных полумагических ядрах вблизи а) $N = 64$; б) $Z = 64$.

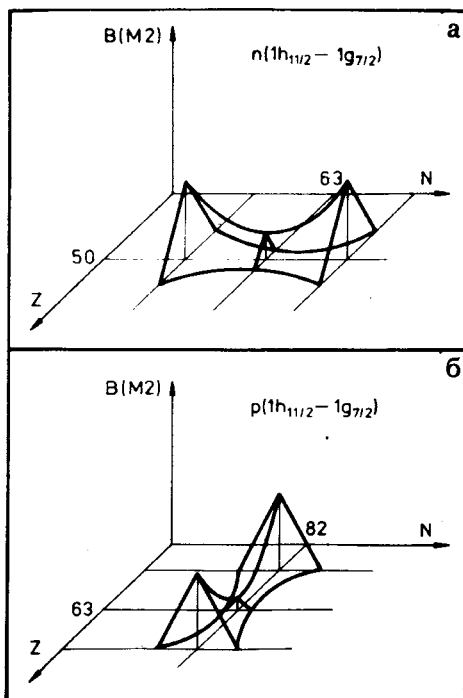


Таблица. Отношения приведенных вероятностей переходов
одиночного протона и нейтрона (по Мошковскому)

L	1	2	3	4	5
$V(ML)_p^M / V(ML)_n^M$	1,44	1,66	1,77	1,84	1,88

Эти отношения, характеризующие переходы одиночных нуклонов при $L = |I_i - I_f|$, имеются в таблице ^{1/1}. Можно предположить, что если приведенное экспериментальное значение этого отношения, которое получается при исключении зависимости $V(ML)_{\text{эксп}}$ от массового числа A , согласуется с одночастичной оценкой, то данные переходы могут рассматриваться как переходы одиночных нуклонов. Заметим, что при вычислении $[V(ML)_p / V(ML)_n]_{\text{эксп}}^{\text{привед}}$ получаем следующее соотношение

$$\left[\frac{V(ML)_p}{V(ML)_n} \right]_{\text{привед.}}^{\text{эксп.}} = \left[\frac{V(ML)_p}{V(ML)_n} \right]_{\text{эксп.}} \left(\frac{A_n}{A_p} \right)^{\frac{2L-2}{3}} = \frac{S_{W.U.}^p}{S_{W.U.}^n}, \quad (3)$$

где $S_{W.U.} = V(ML)_{\text{эксп.}} / V(ML)_W$.

Одночастичные оценки, помещенные в таблице, фактически не применялись для сравнения приведенных вероятностей протонных и нейтронных переходов, так как отсутствовал критерий, позволяющий проводить корректное сравнение однотипных протонных и нейтронных переходов в ядрах при нечетном $N = Z$. Теперь можно сформулировать этот критерий для установления соответствия с расчетами по одночастичной модели: приведенные вероятности однотипных нейтронных и протонных переходов должны сопоставляться в седловых точках и в непосредственной близости от них (рис.3), где эти величины принимают экстремальные значения. При этом в нечетно-нейтронном ядре протонная оболочка должна быть заполнена, а другая — нейтронная — отличаться от целиком заполненной на $\pm 1, \pm 3$ и т.д. нукл. Аналогичным образом в нечетно-протонном ядре должна быть заполнена нейтронная оболочка, а протонная отличаться от целиком заполненной также на $\pm 1, \pm 3$ и т.д. нуклона.

В качестве примера на рис.4 дан сравнительный анализ относительных вероятностей протонных и нейтронных M2-переходов,

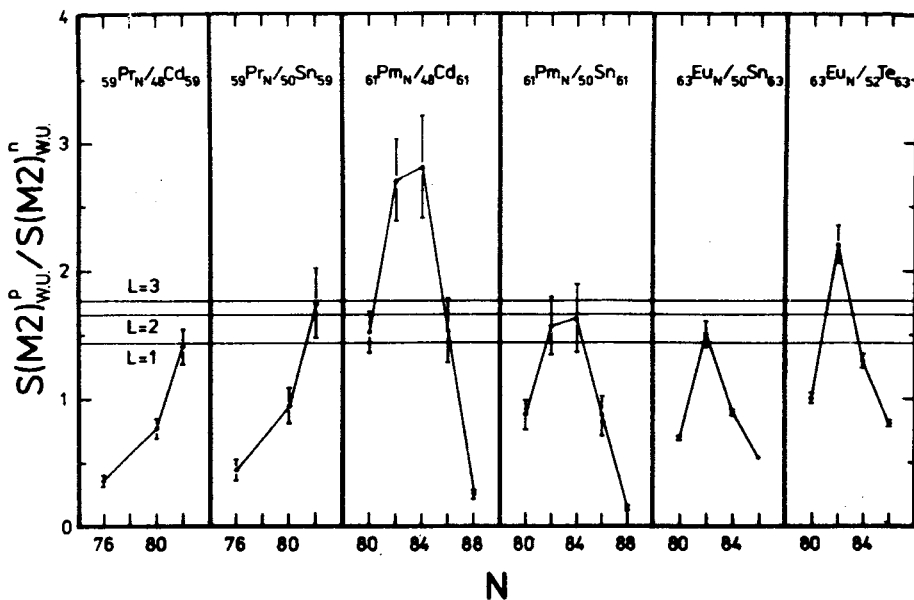


Рис.4. Относительные вероятности протонных и нейтронных переходов типа M2 ($1h_{11/2} - 1g_{7/2}$) в нечетных полумагических ядрах вблизи $Z, N=64$.

происходящих в ядрах, до заполнения оболочек которых $Z, N = 64$ не достаёт одного, трех или пяти нуклонов. Проведенный анализ показывает существенное влияние замыкания оболочек на скорости M2-переходов. Оказывается, что в нечетных нуклидах с дважды магическим кором экспериментальное значение отношения приведенных вероятностей протонных и нейтронных M2-переходов совпадает с одночастичным пределом этих отношений.

Подтверждением этому может служить и анализ вероятностей M2-переходов типа $1s_{1/2} - 1d_{3/2}$ в зеркальных ядрах, у которых не достаёт одной частицы до дважды магического ко-ра $^{39}_{19}\text{K}_{20}$ и $^{39}_{20}\text{Ca}_{19}$. Полученное значение отношения приведенных вероятностей протонного и нейтронного переходов, равное 1,29(32), в пределах ошибки соответствует их одночастичному значению. Вместе с тем наблюдается сильное отличие отношения вероятностей протонного перехода в ядре $^{41}_{19}\text{K}_{22}$, кор которого не является дважды магическим, и нейтронного перехода в $^{39}_{20}\text{Ca}_{19}$ - $S_{W.U.}^p(M2)/S_{W.U.}^n(M2) = 0,41(10)$.

Приведенные вероятности M4-переходов

В настоящее время накоплен достаточный экспериментальный материал для проведения сравнения протонных и нейтронных переходов типа $1h_{11/2} - 2d_{3/2}$ мультипольности M4. Нейтрон-

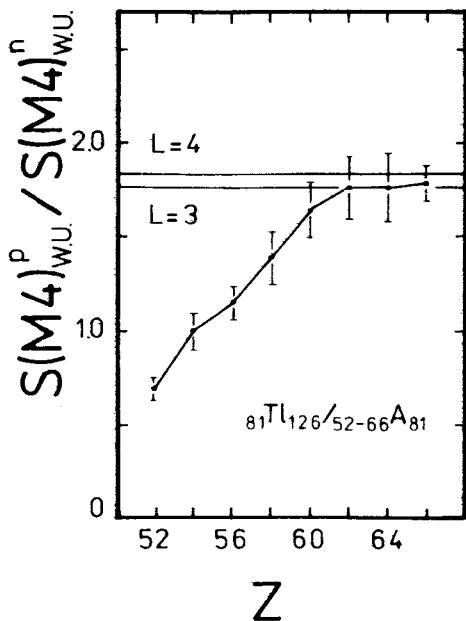


Рис.5. Относительные вероятности протонных и нейтронных переходов типа M4 ($1h_{11/2} - 2d_{3/2}$) в нечетных ядрах при $Z, N = 81$.

ные переходы такого типа происходят в изотонах с $N = 81$, в которых Z изменяется от 50 до 68 ^{2/}, а протонный переход — в ядре $^{207}_{81}\text{Tl}_{126}$ ^{3/}. Экспериментальные результаты показаны на рис.5. Для переходов типа M4 наблюдается большое расхождение с одночастичной оценкой приведенных отношений приведенных вероятностей для ядер при Z вблизи 50 по сравнению с этой величиной для ядер вблизи $Z = 64$, практически совпадающей с ней.

Насколько существенно влияние дважды магического кора на приведенные вероятности M4-переходов в нечетных ядрах, можно будет сказать только после определения приведенной вероятности перехода $1h_{11/2} - 2d_{3/2} - B(M4)$ в ^{181}Sn .

Приведенные вероятности ℓ -запрещенных переходов в зеркальных ядрах

Помимо уже рассмотренного случая M2-переходов в зеркальных ядрах интересно также сравнить приведенные вероятности ℓ -запрещенных M1-переходов, происходящих в зеркальных ядрах, имеющих общий четно-четный остов ± 1 нуклон. При этом можно допустить, что если структура возбужденных состояний, между которыми идет ℓ -запрещенный переход, идентична, а снятие ℓ -запрета происходит вследствие действия одних и тех же факторов, то отношение приведенных вероятностей протонных и нейтронных переходов в зеркальных ядрах должно быть близко к одночастичным оценкам. Известные экспериментальные данные ^{4, 5/} имеются на рис.6. Необходимо отметить, что отношения приведенных вероятностей ℓ -запрещенных M1-переходов в зеркальных ядрах в пределах ошибок соответствуют одночастичному значению, хотя точность определения этих отношений еще недо-

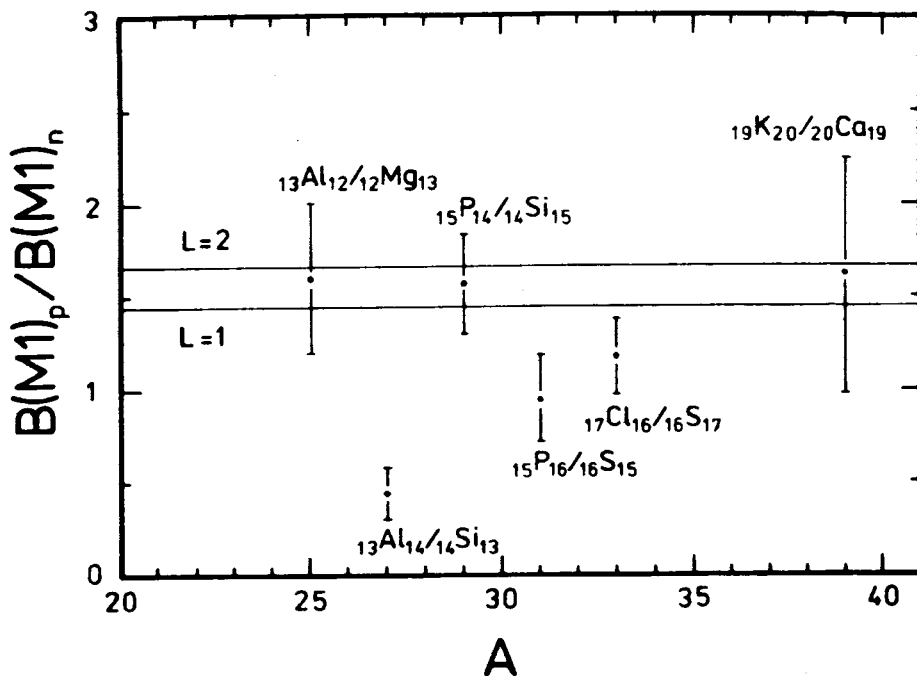


Рис.6. Относительные вероятности ℓ -запрещенных протонных и нейтронных переходов типа M1 в зеркальных ядрах.

статочны высока. Наиболее близки к одночастичным оценкам отношения $B(M1)_p / B(M1)_n$ для переходов, происходящих в зеркальных ядрах, имеющих четно-четный кор +1 нуклон. Наибольшие отклонения наблюдаются для ядер, имеющих четно-четный кор -1 нуклон.

Заклучение

Необходимо отметить, что магнитные переходы типа M1, M2, M4 могут служить своеобразным зондом, позволяющим обнаруживать замыкание оболочек и подоболочек в ядрах. Важным обстоятельством, характеризующим границы применимости одночастичной модели в объяснении относительных вероятностей однотипных протонных и нейтронных магнитных переходов, является установление факта соответствия одночастичному пределу отношений вероятностей протонных и нейтронных переходов ядер, имеющих четно-четный магический кор ± 1 нуклон. Это означает, что электромагнитный переход в нечетном ядре с дважды

магическим кором эквивалентен в некотором приближении электромагнитному переходу одиночного нуклона.

Представляет большой интерес расширение систематики относительных вероятностей однотипных протонных и нейтронных переходов в нечетных ядрах, имеющих дважды магический кор ± 1 , ± 3 нуклона, что может способствовать определению зон действия магических чисел, прогнозировать вероятности связанных протонных и нейтронных переходов в различных околоматических ядрах. Анализ относительных вероятностей магнитных переходов в околоматических ядрах имеет непосредственную связь с проблемой ядерного магнетизма и поляризации ядерного вещества.

Литература

1. Войханский М.Е. Гамма-лучи. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1961, с.5.
2. Toth K.S., Ellis-Akivali Y.A. et al. — Phys. Rev., 1985, C32, p.342.
3. Schmorak M.R. — NDS, 1984, v.43, No.3, p.383.
4. Endt P.M. — ADNDT, 1981, v.26, No.1, p.47.
5. Бонч-Осмоловская Н.А., Морозов В.А. и др. — ЭЧАЯ, 1987, т.18, вып.4, с.739.

Рукопись поступила 5 ноября 1988 года.