

ВНУТРЕННЯЯ КОНВЕРСИЯ ГАММА-ЛУЧЕЙ НА МЮ-МЕЗОНАХ

И.М.Банд, М.А.Листенгарден, Л.А.Слив

Вычислены коэффициенты внутренней конверсии гамма-лучей (КВК) на мю-мезонах для ряда значений атомного номера, энергии и мультипольности перехода. Показано, что учет размеров ядра существенен в расчетах, что конверсия на мюоне оказывается важным путем снятия возбуждения осколков деления, и что КВК разных мультипольностей сильно различаются.

Деление ядра возможно в мезоатомах тяжелых элементов при безрадиационном переходе мю-мезона в $1s$ -состояние [1]. Мюон обычно остается на K -оболочке осколка, чаще на большем [2]. Целью данной работы является продемонстрировать точным расчетом большую роль процесса внутренней конверсии на мюоне в конкуренции различных каналов разрядки сильно возбужденного осколка.

Можно было бы предположить, что мюонные КВК легко найти по обычным таблицам [3] для электронной конверсии, если взять КВК для энергии $E_\gamma (m_e/m_\mu) = E_\gamma / 206,8$. Однако, в действительности это не так,

вследствие большого влияния учета размеров ядра на мезонные КВК (статического и динамического эффектов).

Нами вычислены КВК на мю-мезоне для K -оболочки для атомных номеров Z от 10 до 90, для электрических и магнитных мультиполей с $L \leq 3$ для нескольких значений энергии гамма-лучей E_γ от 30 кэв над порогом K -конверсии до 10 Мэв (и выше при больших Z).

Для учета статического эффекта радиальные мюонные волновые функции были найдены численным интегрированием уравнений Дирака в поле ядра с заданным распределением заряда. Если в релятивистских электронных единицах ($\hbar/m_e c$) эквивалентный радиус ядра R_0 был малой величиной ($R_0 \approx 0,015$), то в мюонных единицах $R_0 \approx 3$. Приближение $R_0 \ll 1$, в отдельных случаях используемое в обычной теории КВК, здесь неприменимо.

Для учета влияния распределения токов перехода по ядру (динамического эффекта, или эффекта проникновения) КВК вычислялись в двух крайних моделях: модели поверхностных токов перехода и модели "без проникновения". Эти модели удобны тем, что КВК в этих моделях не содержат интегралов по ядерным переменным и не зависят от дальнейших деталей ядерной структуры. Модель поверхностных токов ближе к действительности. В менее реалистической модели "без проникновения" токи перехода обращаются в бесконечность в центре ядра, что приводит к увеличению расчетных КВК в два – три раза по сравнению с КВК в модели поверхностных токов.

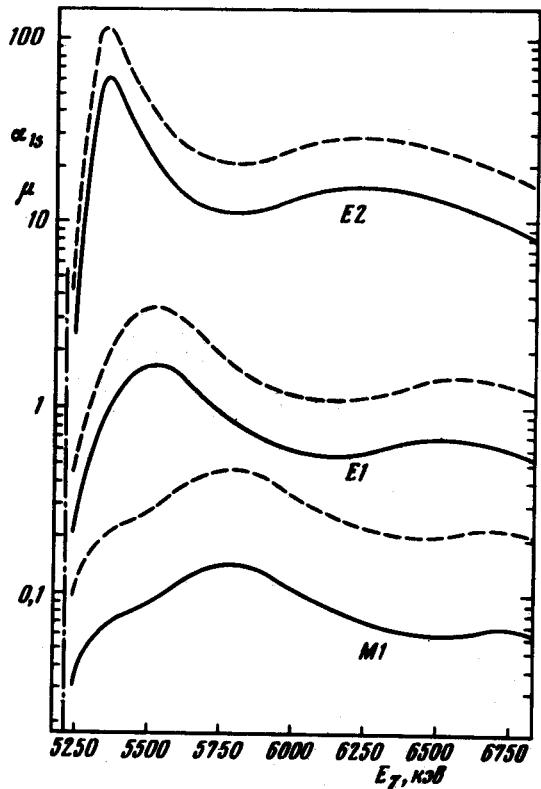
Для примера на рисунке приведены вычисленные КВК для $Z = 50$ (среднего Z при делении). Видно, что в районе $Z = 30 - 60$ КВК велики: КВК $E1$ превышают единицу, а КВК $E2$ превышают полусотню. Особенно велики КВК $E1$ и $E2$ у самого порога конверсии. Таким образом, внутренняя конверсия гамма-лучей осколков деления на мю-мезоне может играть важную роль. Подчеркнем также, что КВК разных мультиполей отличаются так сильно, что измерение мюонных КВК могло бы дать сведения о спине и четности высоколежащих уровняй ядер, удаленных от области стабильности.

Для $Z = 50$ мюонных КВК $M1$ на два порядка меньше электронных КВК для одного электрона на K -оболочке для сопоставимой (т. е. отличающейся в 206, 8 раз!) кинетической энергии вылетевшей частицы, а КВК $E2$ на порядок величины больше электронных. Для $Z = 10$, когда радиус ядра на порядок величины меньше мюонной K -орбиты, влияние размеров ядра лишь немного уменьшает магнитные КВК и совсем мало сказывается на электронных КВК. В то же время для $Z = 90$ и больших энергий перехода влияние размеров ядра уменьшает $M1$ -мюонные КВК в несколько тысяч раз по сравнению с электронными КВК для сопоставимой энергии. Это еще раз подтверждает чувствительность КВК $M1$ к строению ядра [4].

Вычисленные энергии связи и K_{α} -мезорентгеновских переходов хорошо согласуются с предшествующими расчетами для того же распределения заряда [5].

Отметим, что для учета динамического эффекта в мезонной конверсии при различном выборе ядерных волновых функций, теория [6] не годится, так как в ней существенно использовано условие $R_0 \ll 1$. Те-

ория мюонных КВК, пригодная для любых моделей ядра, должна следовать теории эффекта Оже. Двойные интегралы от мезонных и ядерных волновых функций, входящие в выражение для КВК в этом случае, см. [7].



Коэффициенты внутренней конверсии (КВК) на одном $1s$ -мю-мезоне: $Z = 50$. Сплошные линии с индексами $M1$, $E1$, $E2$ – расчет в модели поверхностных токов перехода при равномерном распределении заряда по ядру с $R_0 = 1,2A^{1/3}\varphi$. Штриховые линии над ними без индексов – то же самое в модели "без проникновения"

В настоящее время мезонные КВК нами уточняются путем учета фермиевского распределения заряда в ядре, поляризации вакуума и деформации.

Авторы благодарят Г.Е.Беловицкого и Д.Ф.Зарецкого, обративших внимание на необходимость расчета мезонных КВК на осколках деления, Ф.Ф.Карпешина за помощь в расчетах и Ю.П.Суслова за обсуждение результатов.

Ленинградский
институт ядерной физики
им. Б.П.Константина
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
24 сентября 1975 г.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Литература

- [1] Д.Ф.Зарецкий. Труды 2-й Международной конференции в Женеве по мирному использованию атомной энергии. Доклады советских уч-

ных. М., Атомиздат, 1, стр. 462, 1959; J. Diaz et al. Phys. Lett., 3, 234, 1959; Phys. Rev., 129, 2808, 1964; Г.Е. Беловицкий. ЖЭТФ, 38, 404, 1960.

- [2] Д.Ф. Зарецкий. Материалы десятой зимней школы ЛИЯФ по физике ядра и элементарных частиц, ч. II, изд. ЛИЯФ, Ленинград, 1975.
 - [3] Л.А. Слив, И.М. Банд. Таблицы КВК "Гамма-лучи". Изд. АН СССР. М.-Л., 1961, и Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия. М., Атомиздат, 1969; R.S. Hager, E.C. Seltzer. Nucl. Data Tables, A4, 1, 1968.
 - [4] Л.А. Слив. ЖЭТФ, 21, 770, 1951.
 - [5] G. Breit. Rev. Mod. Phys., 30, 507, 1958.
 - [6] E.L. Church, J. Weneker. Phys. Rev., 104, 1362, 1956.
 - [7] М.А. Листенгарден. Диссертация. Лен. пед. ин-т, Ленинград, 1962.
-