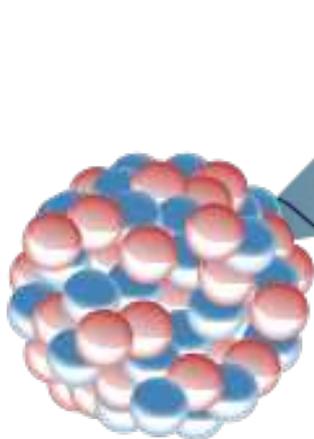


Гамма-излучение.

В случаях, когда распад ядра с вылетом нуклона или альфа-частицы невозможен (запрещён какими-то законами сохранения), энергия возбуждённого состояния ядра может быть понижена испусканием кванта-электромагнитного излучения (гамма-кванта) [1]. Если же процесс распада возможен — он оказывается гораздо более вероятен, так как электромагнитное взаимодействие гораздо слабее сильного. Испускание гамма-кванта не изменяет зарядового или массового чисел ядра (не изменяет число протонов и нейтронов), поэтому, строго говоря, испускание гамма-кванта не является процессом распада ядра — это просто способ снятия излишка энергии в ядре.



Гамма-лучи были открыты французским физиком П.Виллардом в 1900 году при изучении испускаемого радием излучения. Виллард обнаружил, что если исключить альфа-частицы, останавливаемые тонким слоем свинца, то в магнитном поле остающиеся «лучи» делятся на две фракции: отклоняющиеся известные к тому моменту бета-частицы и неотклоняющиеся новые лучи. Название «гамма-лучи» было предложено Резерфордом в 1903 году.

Рисунок 1: Гамма-излучение (представление художника). С сайта [1].

Времена жизни гамма-активных ядер обычно невелики и составляют 10^{-7} – 10^{-11} сек (за небольшим исключением долгоживущих изомеров). Поэтому большинство лабораторных источников гамма-излучения на самом деле являются долгоживущими бета-активными изотопами, в которых при бета распаде образуются продукты реакции в возбуждённом ядерном состоянии, которые в свою очередь быстро релаксируют с испусканием гамма-квантов. Типичная энергия гамма-квантов от радиоактивного распада простирается от 100кэВ до почти 10МэВ. Верхний предел, как и для альфа или бета-распадов, связан с энергией связи нуклона в ядре. Космические источники гамма-радиации могут иметь энергию кванта до 10ТэВ, но это высокоэнергичное излучение не связано с процессами распада.

Изомеры.

Гамма излучение ядер связано с переходами между разными состояниями ядра, обладающими различной энергией. На качественном уровне заметим, что некоторые возбуждённые состояния ядра могут быть визуализованы даже в простой капельной модели. Во-первых, это простая деформация капли: переход от сферической к вытянутой эллиптической форме. Такая деформация может быть описана модификацией формулы Вайцекера, учитывающей изменение поверхностной энергии при деформации. Во-вторых, при учёте конечного размера ядра возникнут вращательные уровни энергии. Кроме этого, возможны различные колебания нуклонов, наиболее необычным из которых является так называемый гигантский резонанс — одновременное колебание всех протонов относительно всех нейтронов. Типичное значение энергии возбуждения в ядре составляет единицы и десятки МэВ.

Как и в случае переходов между атомными подуровнями, ядро может поглотить или испустить энергию (в форме гамма-кванта или продукта распада), соответствующую расстоянию между возбуждённым уровнем и основным состоянием ядра. Однако в некоторых случаях переход из возбуждённого в основное состояние оказывается запрещён каким-либо законом сохранения (правилами отбора по моменту импульса и чётности состояния, которые могут требовать излучения при таком переходе фотона с большой мультипольностью), и тогда ядро может оставаться в возбуждённом состоянии гораздо дольше, чем этого можно ожидать в «нормальном» случае. Такое метастабильное (то есть «почти-стабильное») состояние ядра называют изомером.

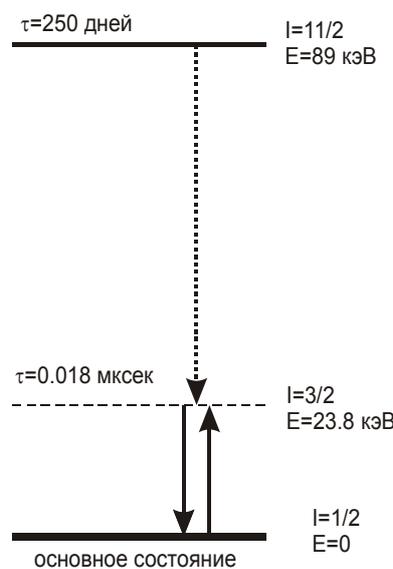
 ^{119}Sn 

Рисунок 2 Схема уровней ядра ^{119}Sn .

Первые изомеры были обнаружены в опытах Отто Гана с протоактинием (О.Ган - Нобелевский лауреата по химии 1944 года «за открытие распада тяжёлых ядер»). Для обозначения ядра в изомерном (метастабильном) состоянии к атомной массе добавляют индекс «m», например «кобальт-57m» или $^{57m}_{27}\text{Co}$.

Характерное время жизни ядра в «нормальном» возбуждённом состоянии составляет порядка 10^{-12} сек. Поэтому к изомерным состояниям относят состояния, в которых ядро находится 10^{-9} секунды или дольше. Среди изомеров есть рекордсмены с большими временами жизни: изомер тантала $^{180m}_{83}\text{Ta}$ с временем жизни оцениваемым в 10^{15} лет (содержится в природных образцах в отношении около 1:8300, релаксирует с испусканием фотона с энергией 75 кэВ), изомер гафния $^{178m2}_{72}\text{Hf}$ имеет период полураспада 31 год и является рекордсменом по энерговыделению (релаксирует с испусканием гамма-кванта с энергией 2.45МэВ, 1 грамм этого изомера выделяет при релаксации энергию эквивалентную более чем 300 кг ТНТ), изомер хольмия $^{166m1}_{67}\text{Ho}$ имеет период

полураспада 1200 лет.

В лабораторной работе МФТИ по мессбауэровской спектроскопии в качестве источника гамма-излучения используется изомер ^{119m}Sn , его энергетические уровни показаны на рисунке 2. В возбуждённом состоянии спин ядра 11/2, а в промежуточном состоянии спин ядра 3/2 — то есть переход между этими уровнями требует излучения фотона с мультипольностью 4. Этот процесс очень маловероятен и время жизни ядра в изомерном состоянии составляет 250 дней. Для сравнения, при каскадном переходе из промежуточного состояния ($I=3/2$) в основное ($I=1/2$) переход осуществляется с испусканием обычного дипольного фотона и время жизни промежуточного состояния всего 18 наносекунд.

Изомеры обнаруживаются либо по их характерному излучению, либо по слабому влиянию на атомные и ядерные спектры поглощения (изомерный сдвиг спектральных линий).

Литература

1: wikipedia.org, Gamma rays, 2016, http://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray