

Изомерия атомных ядер

Изомерия́ атомных ядер — явление существования у ядер атомов метастабильных (изомерных) возбуждённых состояний с достаточно большим временем жизни.

Исторические сведения

Понятие изомерии атомных ядер возникло в 1921 году, когда немецкий физик О. Ган открыл новое радиоактивное вещество уран Z (UZ), которое ни по химическим свойствам, ни по массовому числу не отличалось от известного уже урана UX₂, однако имело другой период полураспада. В современных обозначениях, UZ и UX₂ соответствуют основному и изомерному состояниям изотопа ²³⁴Th. В 1935 году Б.В.Курчатовым, И.В.Курчатовым, Л. В. Мысовским и Л.И.Мысовским был обнаружен изомер искусственного изотопа брома ⁸⁰Br, образующийся наряду с основным состоянием ядра при захвате нейтронов стабильным ⁷⁹Br. Это положило основу систематического изучения данного явления.

Теоретические сведения

Изомерные состояния отличаются от обычных возбуждённых состояний ядер тем, что вероятность перехода во все нижележащие состояния для них сильно подавлена правилами запрета по спину и чётности. В частности, подавлены переходы с высокой мультипольностью (т. е. большим изменением спина, необходимым для перехода в нижележащее состояние) и малой энергией перехода. Время жизни изомерных состояний превышает наносекунды (и может измеряться годами), тогда как типичное время жизни неизомерных возбуждённых состояний порядка пикосекунд и меньше. Распад изомерных состояний может осуществляться путём

Изомерного перехода в основное состояние (испусканием гамма-кванта или посредством внутренней конверсии);

Альфа-распада;

Бета-распада и электронного захвата;

Спонтанного деления (для тяжёлых ядер);

Излучения протона для высоковозбуждённых изомеров.

Вероятность конкретного варианта распада определяется внутренней структурой ядра и его энергетическими уровнями (а также уровнями ядер — возможных продуктов распада).

В некоторых областях значений массовых чисел существуют т. н. острова изомерии (в этих областях изомеры встречаются особенно часто). Это явление объясняется оболочечной моделью ядра, которая предсказывает существование в нечётных ядрах энергетически близких ядерных уровней с большим различием спинов, когда число протонов или нейтронов близко к магическим числам.

Иногда появление изомеров связано с существенным различием формы ядра в разных энергетических состояниях (как у ¹⁸⁰Hf). Наибольший интерес представляют относительно стабильные изомеры с временами полураспада от 10⁻⁶ сек до многих лет. Изомеры обозначаются буквой m (от англ. metastable) в индексе массового числа (например, ^{80m}Br).

Некоторые примеры

Единственный природный изомер — ^{180m}Ta . Он встречается в естественном тантале в соотношении 1 к 8300. Его радиоактивность экспериментально не обнаружена, период полураспада — как минимум 1015 лет, тогда как основное состояние ^{180}Ta бета-активно с периодом полураспада 8,15 часа. Спин и чётность основного состояния равны $1+$, изомера — $8-$. Изомерный уровень лежит выше основного состояния на 77 кэВ. Теоретически ^{180m}Ta может быть искусственно переведен в основное состояние посредством вынужденного излучения при облучении гамма-квантами с энергией, в точности равной разности энергий возбуждённого и основного состояний.

Другой, весьма интересный изомер — $^{178m2}\text{Hf}$ с периодом полураспада 31 год (индекс 2 означает, что существует также более низколежащий изомер $^{178m1}\text{Hf}$). Он имеет наибольшую энергию возбуждения среди изомеров с периодом полураспада больше года. Один килограмм чистого $^{178m2}\text{Hf}$ содержит примерно 1.32 ТДж энергии — эквивалент почти трети килотонны тротила. Вся эта энергия высвобождается в виде каскадных гамма-квантов и конверсионных электронов с суммарной энергией 2446 кэВ на ядро. Как и с ^{180m}Ta , идет обсуждение возможности искусственного перевода $^{178m2}\text{Hf}$ в основное состояние. Полученные (но неподтверждённые в других экспериментах) результаты говорят об очень быстром освобождении энергии (мощность порядка экзаватт). В принципе изомеры гафния могут быть использованы как для создания гамма-лазеров, устройств хранения энергии, так и для разработки довольно мощного ядерного оружия, не создающего радиоактивного заражения местности. Тем не менее, перспективы здесь остаются в целом довольно туманными, поскольку ни экспериментально, ни теоретически указанные результаты не подтверждаются, а наработка макроскопических количеств $^{178m2}\text{Hf}$ современной технике практически недоступна.

Литература

Л.И.Русинов. Изомерия атомных ядер. 1961

Материал из Википедии — свободной энциклопедии