

5. ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

Радиоактивность – свойство некоторых нуклидов подвергаться радиоактивному распаду.

Радиоактивные превращения протекают с изменением строения, состава и энергетического состояния ядер атомов, и сопровождаются испусканием или захватом заряженных или нейтральных частиц, и выделением коротковолнового излучения электромагнитной природы (кванты гамма-излучения). Эти испускаемые частицы и кванты носят общее название радиоактивных (или ионизирующих) излучений, а элементы, ядра которых могут по тем или иным (естественным или искусственным) причинам самопроизвольно распадаются, называются радиоактивными или же радионуклидами.

Нуклидом называют атомы или ядра с данным числом нуклонов и данным зарядом ядра. Нуклиды могут быть стабильными и нестабильными, т.е. радиоактивными.

Нуклид – разновидность атома, характеризующаяся числом протонов и нейтронов, а в некоторых случаях энергетическим состоянием ядра.

Радионуклид – нуклид, испускающий ионизирующее излучение.

Радиация, или ионизирующее излучение – это частицы или гамма-кванты, энергия которых достаточно велика, чтобы при воздействии на вещество создавать ионы разных знаков.

В более развёрнутом виде:

Ионизирующее излучение – поток заряженных или нейтральных частиц и квантов электромагнитного излучения, прохождение которых через вещество приводит к ионизации и возбуждению атомов или молекул среды. По своей природе делится на фотонное (гамма-излучение, тормозное излучение, рентгеновское излучение) и корпускулярное (альфа-излучение, электронное, протонное, нейтронное, мезонное).

Из 2500 нуклидов, известных в настоящее время, стабильными являются только 271 нуклид. Остальные нуклиды (90%!) нестабильны, т.е. радиоактивны; они превращаются путем одного или нескольких последовательных распадов, сопровождающихся испусканием частиц или γ -квантов, в стабильные нуклиды.

Важной проблемой является установка критерия понятия радиоактивности, т.е. критерия минимальной длительности распада. Раньше в число радиоактивных превращений включались попросту все акты α - и β -распадов измеримой длительности. Сейчас возможности измерений коротких времён чрезвычайно расширились: стало возможным измерение времён жизни $\tau \geq 10^{-11}$ сек. Времена жизни чрезвычайно коротких состояний определяются на основании соотношения неопределённости В. Гейзенберга:

$$\Gamma \tau \approx \hbar = 1,5054 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек} \quad (24)$$

связывающего время жизни неустойчивого ядра τ с возможным при этом интервалом значений его энергии распада, так называемой «естественной» шириной возбуждённого уровня Γ ($\Gamma = \hbar/2\pi$, где \hbar – постоянная Планка). Определяя на опыте величину Γ по «естественному» разбросу энергии радиоактивного распада, тем самым находят время жизни τ . Так, разброс энергий протонов, испускаемых при распаде ядра ${}^9\text{B}$ из основного состояния (${}^9\text{B} \rightarrow \text{p} + {}^8\text{Be}$), отвечает $\Gamma = 750$ эв, т.е. $\tau \approx 9 \cdot 10^{-19}$ сек.

Критерий «измеримости» времени распада меняется по мере развития техники эксперимента, повышения точности установления времени или энергии распада. Поэтому при определении понятия радиоактивности следует руководствоваться не этим критерием, а необходимостью чёткого разграничения стадий образования и последующего распада радиоактивных ядер. Прежде всего необходимо, чтобы радиоактивное ядро существовало гораздо дольше «характерного ядерного времени» $t_{\text{я}}$, необходимого для пролёта частицы со скоростью $v \approx 10^9 - 10^{10}$ см/сек сквозь ядро радиуса $R \approx 10^{-12}$ см/сек ($t_{\text{я}} = R/v \approx 10^{-21} - 10^{-22}$ сек).

Но этого ещё мало. Большинство ядерных реакций происходит в две стадии – вначале ядро-мишень А, поглощая бомбардирующую частицу (или квант) а, превращается в возбуждённое составное (компаунд) ядро C^* , а затем это ядро, испуская частицу (или квант) б, превращается в конечное ядро – продукт реакции В. Таким образом, реакция идёт по схеме: $\text{A} + \text{a} \rightarrow \text{C}^* \rightarrow \text{b} + \text{B}$.

Пусть ядро В, в свою очередь, неустойчиво и испытывает распад с испусканием частицы d и образованием ядра D: $\text{B} \rightarrow \text{d} + \text{D}$. Очевидно, что стадии образования и распада ядра В можно с уверенностью разделить, т.е. можно считать все характеристики распада В независимыми от свойств компаунд-ядра C^* лишь в том случае, если среднее время жизни составных ядер В (τ_{C^*}) много больше, чем среднее время жизни составных ядер C^* (τ_{C^*}), достигающих величин $\tau_i \approx 10^{-14} - 10^{-13}$ сек. Кроме того, нужно исключить возможность определения самого распада составного ядра $\text{C}^* \rightarrow \text{b} + \text{B}$, как радиоактивного распада. Поэтому целесообразно уточнить понятие радиоактивности, определив её, как самопроизвольное изменение состава атомного ядра, происходящее путём испускания элементарных частиц или ядер из основного состояния за время жизни возбуждённого составного ядра в ядерных реакциях, или из метастабильного состояния.

Понятие радиоактивности иногда распространяют и на те превращения элементарных частиц (мезонов, гиперонов), которые обусловлены так называемыми слабыми взаимодействиями и характеризуются относительно большой длительностью. Подобными превращениями элементарных частиц вызван и распад (за время $< 10^{-10}$ сек) так называемых гиперядер, в которых один из нуклонов заменён гипероном.

Мы рассмотрели ограничение понятия радиоактивности со стороны малых времён жизни. Не менее важен критерий со стороны высоких времён. В настоящее время, когда говорят, что элемент (или элементарная частица, например, протон) стабилен, то имеется в виду, что его распад не удалось обнаружить современными методами радиометрии (самый большой период полураспада, который сейчас детектируется составляет порядка 10^{20} лет).

Радиоактивность подразделяют на естественную (наблюдающуюся у существующих в природных условиях изотопов) и искусственную (связанную с радионуклидами, получаемыми в результате ядерных реакций, осуществляемых на ускорителях и ядерных реакторах). Принципиальной разницы между природной и искусственной радиацией не существует, ибо свойства изотопа не зависят от способа его образования, и радиоактивный изотоп, полученный искусственным путём, ничем не отличается от такого же самого природного изотопа.

**_*_

В заключение этой лекции перечислим известные к настоящему времени экспериментальные данные по строению и свойствам атомных ядер.

1. Ядра состоят из нуклонов - протонов и нейтронов примерно одинакового размера.
2. Протон и нейтрон имеют одинаковый внутренний момент количества движения.
3. Количество протонов в ядре (Z) определяет заряд ядра и порядковый номер химического элемента в Периодической системе.
4. Количество нуклонов в ядре определяет массовое число (A) химического элемента в Периодической системе.
5. Ядра бывают стабильными и нестабильными. В двумерном пространстве, где одно измерение – количество протонов, а другое – количество нейтронов, существует долина стабильности из двух параллельных тропинок.
6. По обе стороны от долины стабильности существуют области нестабильности, ограниченные линиями, за пределами которых существование ядер невозможно.
7. Ядра вблизи долины стабильности компактны, величина их радиуса определяется количеством нуклонов и изменяется в пределах от 2 до 10 Фм (Ферми).
8. В легких стабильных ядрах примерно равное количество нейтронов и протонов.
9. В тяжелых стабильных ядрах нейтронов в полтора раза больше, чем протонов.
10. Распределение протонов по объему ядра отлично от распределения нейтронов.
11. Плотность ядерной материи в центре ядра примерно одинакова у всех ядер.
12. Объем ядра пропорционален количеству нуклонов.
13. Толщина поверхностного слоя у всех ядер примерно одинакова, порядка 0.5 Фм, и характеризуется размытостью границ.
14. Энергия связи ядер приблизительно пропорциональна массовому числу.
15. Ядерные силы обладают свойством насыщения.
16. Удельная энергия связи ядер имеет пик в области железа-никеля.
17. Ядерные силы изотопически инвариантны (не зависят от типа нуклона).
18. Величина ядерных сил зависит от взаимной ориентации спинов нуклонов.
19. Радиус действия ядерных сил соизмерим с размерами нуклона ($a \sim 1$ Фм).
20. Притяжение между нуклонами на больших расстояниях ($r > 1$ Фм) сменяется отталкиванием на малых ($r < 0.5$ Фм).
21. Величина ядерных сил затухает с расстоянием по экспоненциальному закону.
22. Ядерные силы зарядово независимы.
23. Нуклоны в ядре не статичны, однако средняя скорость движения нуклонов в ядре не превышает десятой части скорости света, это означает, что для описания движения можно использовать нерелятивистскую механику.
24. Большинство ядер имеет вращательные спектры, что позволяет сделать вывод о наличии коллективных степеней свободы ядра.
25. Ядро может находиться в разных изомерных состояниях, одно из них считается основным состоянием, все остальные – возбужденные состояния. Существуют долгоживущие изомеры, которые могут сильно отличаться формой ядра.
26. При массовых числах $A=150-190$ и $A>200$ зависимость энергий нижних возбужденных состояний ядер от спина ядра поразительно похожа на зависимость энергии вращающегося волчка от его момента вращения.
27. Наблюдаемые значения значительно меньше теоретических значений моментов инерции сплошных твердотельных эллипсоидов вращения.
28. Существует периодичность свойств ядер, связанная с магическими числами количества протонов: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 114.

29. Существует периодичность свойств ядер, связанная с магическими числами количества нейтронов: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184. Наиболее устойчивы ядра, у которых магическое число протонов или нейтронов.
30. У магических ядер электрический квадрупольный момент близок к нулю.