

НЕЙТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Авторы: Л. Б. Пикельнер

НЕЙТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ, раздел *нейтронной физики*, в котором изучаются энергетич. зависимость эффективных сечений взаимодействия нейтронов с ядрами и свойства образующихся при этом возбуждённых состояний ядер. Начало Н. с. было положено Б. *Брокхаузом* с сотрудниками, которые создали первый кристаллич. трёхосный нейтронный спектрометр (1952) и с его помощью исследовали неупругое рассеяние нейтронов (1955).

Отсутствие у нейтрона электр. заряда (препятствующего сближению с ядром заряженных частиц) делает его уникальным инструментом для изучения ядерного взаимодействия. Сблизиться с ядром могут нейтроны любой энергии, результат взаимодействия зависит от энергии нейтрона и свойств ядра. При взаимодействии медленных нейтронов с веществом наблюдается упругое рассеяние нейтронов, а также некоторые экзотермич. ядерные реакции. К последним относится радиационный захват нейтронов, сопровождающийся испусканием γ -квантов (эта реакция наблюдается для всех ядер, кроме He_4). На некоторых лёгких ядрах с большей вероятностью идут реакции с вылетом заряженных частиц, напр. реакции $3He + n \rightarrow 3H + p$; $6Li + n \rightarrow 3H + \alpha$; $B_{10} + n \rightarrow 7Li + \alpha$, широко применяемые для регистрации нейтронов. Захват нейтронов отд. изотопами урана и трансурановых элементов (U_{233} , ^{235}U , ^{239}Pu и др.) вызывает деление ядра на два (реже три) осколка.

Характерной чертой взаимодействия нейтронов с ядрами является наличие резонансов в энергетич. зависимости эффективных сечений реакций (рис. 1). При захвате нейтрона с энергией ϵ ядром с массовым числом

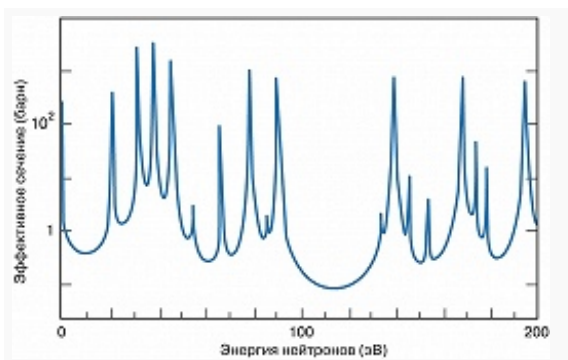


Рис. 1. Энергетическая зависимость эффективного сечения реакции захвата нейтронов нуклидом ^{127}I .

А образуется ядро с массовым числом $A + 1$ в возбуждённом состоянии с энергией возбуждения, равной энергии связи нейтрона в ядре плюс величина

$$\varepsilon_0 A / (A + 1), \text{ где}$$

ε_0 – кинетич. энергия нейтрона, при которой сечение реакции максимально. Энергетич. зависимость сечения

σ_c реакции образования составного ядра в окрестности резонанса описывается формулой Брейта – Вигнера:

$$\sigma_c = \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_n \Gamma}{(\varepsilon - \varepsilon_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}},$$

где

$\lambda = \lambda / 2\pi$, λ – длина волны нейтрона,

Γ – полная ширина резонанса, характеризующая его энергетич. форму,

Γ_n – нейтронная ширина резонанса (доля от

Γ , определяющая вероятность захвата нейтронов).

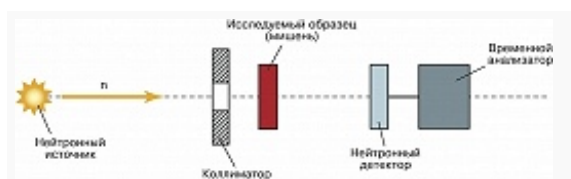


Рис. 2. Принципиальная схема нейтронного спектрометра по времени пролёта.

Для измерений эффективных сечений реакций применяют нейтронные спектрометры разл. типов. Наибольшее распространение получили т. н. нейтронные спектрометры по времени пролёта (рис. 2). В таких спектрометрах импульсный нейтронный источник генерирует короткие (длительностью

τ) импульсы (вспышки) со сплошным энергетич. спектром. Нейтроны, прошедшие через мишень, регистрируются нейтронным детектором, а спец. электронный временной анализатор фиксирует интервал времени между вспышкой и моментом регистрации нейтрона детектором. Разрешающая способность спектрометра характеризуется

отношением

τ/L , где

L – расстояние от источника до детектора. В лучших совр. нейтронных спектрометрах в качестве нейтронных источников применяют электронные или протонные

ускорители с длительностью вспышки 1–100 нс и интегральным выходом до 10^{15} нейтронов в секунду. Полное эффективное сечение

σ_t реакции определяют, регистрируя показания детектора при положении мишени в пучке

(N) и вне пучка

(N_0), с использованием соотношения:

$$N/N_0 = \exp(-n\sigma_t), \text{ где}$$

n – толщина мишени, выраженная в количестве ядер на 1 см^2 .

Существенно расширяет информацию о свойствах ядер измерение парциальных сечений реакций, т. е. вероятности разл. реакций, идущих по тому или иному каналу (γ -распад, деление ядра и т. д.). Для этого используют соответствующие детекторы, которые располагают рядом с изучаемой мишенью. Обработка эксперим. данных позволяет получить все осн. характеристики возбуждённых уровней составного ядра:

энергию, полные и нейтронные ширины резонансов, спины, чётность. Для

большинства стабильных ядер эти характеристики (по крайней мере

ε_0 и

Γ_n) измерены для десятков, а иногда исотен энергетич. уровней. Обширная информация, полученная методом Н. с., позволяет найти распределение нейтронных ширин резонансов и интервалов между резонансами. Измерены магнитные моменты ряда ядерных уровней, обнаружены аномально большие эффекты нарушения пространственной чётности при взаимодействии поляризов. нейтронов с ядрами.

Информация о свойствах атомных ядер, полученная методами Н. с., играет существенную роль не только в науке, но и в совр. пром-сти (в первую очередь в ядерной энергетике). Реакторы атомных электростанций, силовых установок ледоколов и подводных лодок невозможно разрабатывать, не имея данных Н. с., причём требования к объёму и точности этих данных постоянно повышаются.

Литература

Лит.: Юз Д. Д. Нейтронные эффективные сечения. М., 1959; Пикельнер Л. Б., Попов Ю. П., Шарапов Э. И. Светосильная нейтронная спектроскопия ядер // Успехи физических наук. 1982. Т. 137. № 1; Low energy neutrons and their interaction with nuclei and matter. В., 2000. Pt. 1.