

на. При бомбардировке тяжёлыми ионами с энергиями в десятки и сотни МэВ на нуклон ядрам мишени может передаваться очень большой угл. момент и возбуждаться состояния со значениями спина до $80 \hbar$ (см. *Высокоспиновые состояния ядер*). Т. о. можно исследовать ядерные свойства в широком диапазоне энергий возбуждения, спинов, изоспинов и др.

При разрядке высоколежащих состояний ядер происходит очень большое число γ -переходов. Для их анализа требуются спектрометры, объединяющие высокую эффективность регистрации с высоким энергетич. разрешением. Эти требования осуществляются в системах, состоящих из многих сцинтилляционных и полупроводниковых Ge-детекторов. На рис. 3 показана схема спектрометра, установленного на пучке тяжёлых ионов (англ. ядерный центр Дэрсбери). В нём использованы 50 сцинтилляционных спектрометров с кристаллами германата висмута (BGO) и 6 германиевых детекторов высокого разрешения с антикомптоновской защитой из окружающих их больших кристаллов NaI (Tl). BGO-детекторы определяют множественность γ -переходов, разряжающих исходное состояние ядра, и суммарную энергию каскадных переходов. Энергия индивидуальных переходов определяется сборкой из Ge-детекторов. Кроме энергии γ -переходов такие сборки позволяют определять их угл. распределения (см. *Угловые распределения и угловые корреляции*), а также времена жизни изомерных состояний, к-рые могут возбуждаться в данной реакции (см. *Изомерия ядерная*).

Управление работой комплекса ускоритель — спектрометр и обработка получаемых массивов информации требуют применения развитой электронной системы обработки сигналов и быстродействующих ЭВМ с большими объёмами оперативной памяти (см. *Памяти устройства*). Результат, полученный на спектрометре, изображённом на рис. 3, показан на рис. 4; это — схема уровней деформированных ядер ^{168}Hf , возбуждаемых в реакции $^{124}\text{Sn} (^{48}\text{Ti}, 4n)^{168}\text{Hf}$ при энергии ионов титана 216 МэВ, к-рую удалось проследить до энергии возбуждения более 10 МэВ и спинов $I > 30$.

Измерение электромагнитных моментов ядер в возбуждённых состояниях. Для этого развиты методы, основанные на наблюдении прецессии ядерного спина за счёт *сверхтонкого взаимодействия* магн. дипольного момента ядра с внеш. магн. полем или электрич. квадрупольного момента с градиентом электрич. поля, создаваемого внешними по отношению к ядру полями, напр. *внутрикристаллическим полем*. Для состояний с временами жизни более 10^{-12} с частота прецессии может быть измерена методами возмущённых угл. распределений γ -квантов и угл. корреляций. По частоте прецессии может быть определён соответств. ядерный момент, если внеш. поле известно из независимого эксперимента. С др. стороны, ядра с известными магн. дипольными и электрич. квадрупольными моментами изомерных состояний интенсивно используются как зонды в конденсир. средах для определения действующих на эти ядра электрич. и магн. полей, создаваемых электронами атомных оболочек, и их зависимости от внеш. параметров (темп-ры, давления и др.).

Изучение бета-распада ядер (в частности, *двойного бета-распада*). Для этого создаются детекторы, содержащие значит. массу нуклида, ядра к-рого могут претерпевать 2β -распад (^{76}Ge , ^{100}Mo , ^{130}Te и др.). Целью таких исследований явл., в частности, поиск безнейтринного 2β -распада или определение ниж. границы его вероятности.

Данные о свойствах возбуждённых состояний атомных ядер и методы Я. с. используются в физике твёрдого тела, химии, биологии, материаловедении и др. *Активационный анализ* опирается на данные о схемах распада радиоакт. ядер. В значит. степени на эти же данные опираются *дозиметрия* ионизирующих излучений и методы защиты от их воздействия, а также диагностика и терапевт. использование радионуклидов в медицине.

Лит.: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия, пер. с англ., в. 1—4, М., 1969; Ejiri H., de Voigt M. J. A., Gamma-ray and electron spectroscopy in nuclear physics, Oxf., 1989. А. А. Сарокин.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА — наука о строении, свойствах и превращениях атомных ядер. В 1911 Э. Резерфорд (Е. Rutherford) установил в опытах по рассеянию α -частиц при их прохождении через вещество, что нейтральный атом состоит из очень компактного положительно заряж. ядра и сравнительно «рыхлого» отрицательного электронного облака; размер ядра $\sim 10^{-13}$ — 10^{-12} см, в то время как размер атома $\sim 10^{-8}$ см. Сразу после открытия атомного ядра стали создаваться его модели, в к-рых ядро пытались строить из известных тогда элементарных частиц — протонов и электронов. Однако началом Я. ф. можно считать 1932, когда, вскоре после открытия Дж. Чедвиком (J. Chadwick) нейтрона, В. Гейзенберг (W. Heisenberg) и Д. Д. Иваненко (независимо) высказали гипотезу о том, что ядро состоит из нейтронов и протонов. При этом заряд ядра Z (в единицах заряда электрона) равен числу протонов, а его масса приближённо равна массе протона, умноженной на массовое число A — полное число протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре.

В 30-х гг. шло накопление эксперим. данных об осн. свойствах ядер: размерах, энергиях связи, магнитных и *квадрупольных моментах* ядер. Исследование радиоактивности и простейших ядерных реакций (под воздействием электронов, протонов, α -частиц, нейтронов) позволило получить данные о возбуждённых состояниях ядер. Наиб. долгоживущие из этих состояний получили название ядерных изомеров (см. *Изомерия ядерная*). В этот период выделились осн. направления эксперим. Я. ф.: *ядерная спектроскопия*, изучающая γ -переходы в ядрах, α - и β -распады, а также энергии, спины и др. свойства основных и низколежащих возбуждённых состояний ядер, и *ядерные реакции*. В соответствии с этим развивались теоретич. представления, позволяющие объяснить свойства основного и возбуждённых ядерных состояний и описать механизмы взаимодействия частиц с ядрами. К этому же времени относятся и первые реалистич. модели ядра (модель жидк. капли, модель оболочек) и представления об осн. механизмах ядерных реакций: *прямые ядерные реакции* и реакции, идущие через *составное ядро*.

Капельная модель ядра отражает осн. свойство ядерных сил — короткодействие и связанное с ним свойство насыщения. Вследствие короткодействия нуклоны в ядре сильно взаимодействуют только с ближайшими соседями, из-за чего энергия связи ядра приближённо пропорциональна массовому числу A . Основанная на этой модели полуэмпирич. *Вайцеккера формула* (1935) передаёт осн. зависимости энергии связи от A и Z .

Открытие в 1939 О. Ганном (О. Hahn) *деления ядер* утвердило капельную модель. Она была успешно применена Н. Бором (N. Bohr) для объяснения деления как результата конкуренции поверхностной и кулоновской энергий деформирующейся, а затем и делящейся капли. Открытие деления послужило мощным толчком для развития Я. ф. Сама же физика деления выделилась в отд. область Я. ф., в к-рой используются специфич. эксперим. и теоретич. методы.

Анализ ядерных масс позволил обнаружить в лёгких ядрах ($A < 40$) повышенную энергию связи ядер с $N = Z = A/2 = 2n$ (n — целое число), к-рые как бы состоят из α -частиц. Этот факт интерпретировался с помощью возникшей также в 30-х гг. ядерной модели, согласно к-рой такие ядра состоят из α -частиц, взаимодействующих друг с другом. Повышенная энергия связи α -частиц объясняет большую (по сравнению с соседними ядрами) энергию связи α -частичных ядер. Усовершенствованный вариант этой модели наз. *нуклонных ассоциаций моделью*. Эта модель с успехом применяется, в частности, для объяснения свойств лёгких ядер (^8Be , ^{12}C и т. д.).

В т. н. *магических ядрах*, отвечающих нек-рым значениям N и Z (2, 8, 20, 50, 82, 126), наблюдались сильные отклонения от ф-лы Вайцеккера — аномально большие значения энергии связи. Для объяснения существования магич. ядер была выдвинута *оболочечная модель ядра*, согласно к-рой магич. числа отвечают заполнению нуклонных уровней в нек-рой потенц. яме — ср. ядерном поле.