

зики. Экстремальные физ. условия в Н. а. делают их уникальными естеств. лабораториями, представляющими обширный материал для исследования физики ядерных взаимодействий, элементарных частиц и теории гравитации.

Лит.: Гинзбург В. Л., О физике и астрофизике, 3 изд., М., 1980; Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Теория тяготения и эволюции звезд, М., 1971; Шакура Н. И., Нейтронные звезды и «черные дыры» в двойных звездных системах, М., 1976; Смит Ф. Г., Пульсары, пер. с англ., М., 1979; Манчестер Р., Тейлор Дж., Пульсары, пер. с англ., М., 1980; Шапиро С., Тьюколски С., Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, пер. с англ., ч. 1—2, М., 1985. Д. К. Набёжис.

НЕЙТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ — устройства для получения нейтронных пучков. Действие всех типов источников основано на использовании ядерных реакций, сопровождающихся вылетом нейтронов. Н. и. характеризуются интенсивностью (число нейтронов в 1 с), энергетических и угловых распределениями, степенью поляризации нейтронов (см. *Поляризованные нейтроны*) и режимом испускаемых (непрерывным или импульсным).

Простейшие Н. и. (радиоизотопные) содержат либо спонтанно делящиеся ядра (напр., ^{252}Cf), либо однородную смесь порошков Ве и α -активного нуклида (^{230}Po , ^{226}Ra , ^{238}Pu , ^{241}Am), излучающую нейтроны в результате реакции $^9\text{Be} + ^4\text{He} = ^{12}\text{C} + \text{n}$. Макс. мощность таких Н. и. ($\sim 10^8$ нейтрон/с) ограничена допустимой активностью радиоакт. препаратов. Достоинства радиоизотопных Н. и. — малые габариты, портативность и стабильность (хотя мощность источника плавно падает в соответствии с периодом полураспада радиоакт. нуклида). Их недостатки, кроме низкой мощности, — широкий энергетич. спектр нейтронов (0,1 — 12 МэВ) и высокий уровень сопровождающего γ -излучения.

Более мощные Н. и., испускающие $10^7 - 10^{13} \text{ с}^{-1}$, — небольшие эл.-статич. ускорители, в к-рых ядра дейтерия ^2H , ускоренные до энергии ~ 200 кэВ, бомбардируют мишень, содержащую тритий ^3H . В результате реакции $^2\text{H} + ^3\text{H} = ^4\text{He} + \text{n}$ образуются практически моноэнергетич. нейтроны с энергией ~ 14 МэВ. Такие Н. и. используются для нейтронного активационного анализа, нейтронного каротажа, нейтронно-графии.

Еще более мощными Н. и. являются исследовательские ядерные реакторы, испускающие $5 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ на каждый МВт мощности реактора. Реактор как Н. и. обычно характеризуется не полным кол-вом испускаемых нейтронов, а макс. плотностью N их потока (яркость) внутри активной зоны или замедлителя реактора. В исследовательских реакторах N достигает $10^{15} \text{ с}^{-1} \text{ с}^{-1} \text{ см}^2$. Хотя в реакции деления ядер ср. энергия образующихся нейтронов ~ 2 МэВ, в результате замедления нейтронов в конструкц. элементах и замедлителе спектр нейтронов обычно сильно обогащен тепловыми нейтронами (максимум в области 0,06 эВ). Ещё большая яркость $\sim 10^{17} \text{ с}^{-1} \text{ с}^{-1} \text{ см}^2$ (в импульсе длительностью 100 мкс) достигается в импульсных реакторах.

Высокая плотность потока нейтронов получается также при использовании мощных электронных или протонных ускорителей (см. *Нейтронный генератор*).

В. И. Луциков.

НЕЙТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР — установка для получения нейтронных пучков высокой интенсивности, состоящая из *сильноточного ускорителя* заряд. частиц (протонов, дейтронов, электронов) и мишени — конвертора. Интенсивные импульсные потоки нейтронов получают с помощью протонных ускорителей — т. н. *мезонных фабрик*, в к-рых нейтроны непосредственно выбиваются протонами из ядер. При энергии протонов 1 ГэВ каждый протон выбивает из урановой мишени до 30—50 нейтронов. Напр., Лос-Аламосская мезонная фабрика (США) с накопит. кольцом генери-

рует пучки нейтронов (при длительности импульса 250 нс и частоте повторения 12 Гц) интенсивностью ок. 10^{16} с^{-1} .

Генерирование мощных нейтронных потоков предусматривается также в нек-рых проектах коасных (адронных) фабрик. Так, в адронной фабрике в Японии планируется, в частности, получение потока нейтронов в надтепловой и холодной областях спектра (на единственный интервал энергии) в ср. более $10^{17} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ эВ}^{-1}$, а в ультрахолодной области более $10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

В электронных ускорителях нейтроны получаются в результате фотонейтронной реакции (γ, n) от тормозного излучения электронов, падающих на вольфрамовую или урановую мишень. При энергии электронов 30 МэВ генерируется 1 нейтрон на 100 электронов. Наиб. крупным электронным ускорителем, используемым для получения интенсивных импульсных потоков нейтронов (до $3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$), является линейный ускоритель «ORNL» (Ок-Ридж, США) с энергией электронов 140 МэВ, импульсным током до 20 А, длительностью импульса 7—20 нс, частотой повторения 10^3 Гц.

Перспективы Н. г. на основе мощных *линейных ускорителей* протонов и дейтронов на энергии 1—1,6 ГэВ с током 0,1 — 1 А. В мишенях таких Н. г. реализуются ядерные реакции расщепления дейтрона на протон и нейтрон, к-рые дают высокий выход нейтронов и возможность управления их потоками. Напр., при токах протонов ~ 100 мА энергии 1 ГэВ на мишенях из Pb, Bi, U генерируются потоки нейтронов до 10^{19} с^{-1} . Н. г. типа предполагается использовать для исследования радиационной стойкости материалов, исследований в области ядерной физики и химии. Обсуждаются возможности их применения с мишенями из делящихся материалов для получения ядерного горючего (^{239}Pu , ^{233}U) в пром. масштабах. Мощные Н. г. предполагается также использовать для перевода долгоживущих радионуклидов, содержащихся в «отходах» ядерных реакторов, в короткоживущие (трансмутация), для «наработки» трития (через мишень, содержащую отходы, прокачивают жидкий Li), а также для получения трансураниевых элементов (напр., ^{252}Cf).

Лит.: Технологические аспекты ядерных энергетических систем с воспроизводством топлива, под ред. Г. Бауэра, А. Макдональда, пер. с англ., М., 1988.

Б. П. Мушин.

НЕЙТРОНОВОД — канал, по к-рому распространяется направленный поток нейтронов. В простейшем случае Н. служит прямая вакуумированная труба, окружённая защитой для поглощения нейтронов, выходящих через боковые стенки Н. Надтепловые нейтроны (с энергией $\epsilon > 0,1$ эВ) практически не взаимодействуют с внеш. полями (магн., гравитационным) и поэтому распространяются по Н. прямолинейно по законам геом. оптики. Для формирования пучков внутри Н. устанавливаются коллиматоры из материалов, поглощающих нейтроны. Плотность потока нейтронов в таких Н. уменьшается как $1/r^2$, где r — расстояние от центра источника нейтронов. Обычно применяются Н. длиной 10—1000 м, диам. 5—50 см с входными и выходными окнами из Al, толщиной 1—2 мм, откаченные до давления 1—2 Па. Н. используются для вывода сформиров. пучков нейтронов из источника (реактор, ускоритель), а также в сочетании с импульсными нейтронными источниками в *нейтронной спектроскопии* по времени пролёта.

Для нейтронов с энергией $\epsilon < 0,1$ эВ используются зеркальные Н., основанные на полном отражении нейтронов от стенок Н. Упругое когерентное рассеяние нейтронов на атомных ядрах в стенках Н. эквивалентно действию на нейтроны небольшого отталкивающего потенциала $U \lesssim 2-3 \cdot 10^{-7}$ эВ (для Ni, Be, графита). Поэтому нейтроны с энергией ϵ_0 , падающие на гладкие (зеркальные) стенки Н. под углами $\alpha < (U/\epsilon_0)^{1/2}$,