

К Я. г. относятся такие нуклиды, к-рые при взаимодействии с нейтронами делятся с испусканием не менее двух нейтронов и, кроме того, обладают ядерно-физ. свойствами, обеспечивающими создание *критической массы* в реальных геом. размерах активной зоны реактора. Требованиям, предъявляемым к Я. г., удовлетворяют чётно-нечётные ядра актиноидов (с чётным числом протонов и нечётным числом нейтронов), в т. ч. природный изотоп ^{235}U , искусств. изотопы ^{233}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{243}Pu , к-рые делятся во всём спектре энергий нейтронов, начиная с тепловых, и способны создавать цепные реакции деления. Чётно-нечётные ядра актиноидов (природные изотопы ^{238}U , ^{232}Th , искусств. изотопы ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U , ^{240}Pu , ^{242}Pu и др.) могут делиться только на нейтронах с энергией ≈ 1 МэВ и более. Используя эти изотопы, невозможно создать цепную реакцию вследствие низких вероятности деления и ср. выхода нейтронов. Однако в процессе нейтронного захвата эти ядра способны превращаться в делящиеся изотопы. Т. о., открывается реальная возможность воспроизводства Я. г. и возвращения его в топливный цикл (замкнутый топливный цикл).

Наиб. значение для воспроиз-ва Я. г. имеют природные изотопы ^{238}U и ^{232}Th (рис. 1), к-рые при поглощении нейтронов образуют несуществующие в природе изотопы ^{239}Pu и ^{233}U (оборотное Я. г.). Природный уран в осн. состоит из ^{238}U и лишь на 0,714% по массе из изотопа ^{235}U . Природный торий состоит практически полностью из ^{232}Th . Как исходный материал для воспроиз-ва Я. г. изотопы ^{238}U и ^{232}Th получили назв. «топливного сырья». Эффективность воспроиз-ва Я. г. определяется коэф. воспроиз-ва K_{∞} , равным отношению кол-ва воспроизведён-

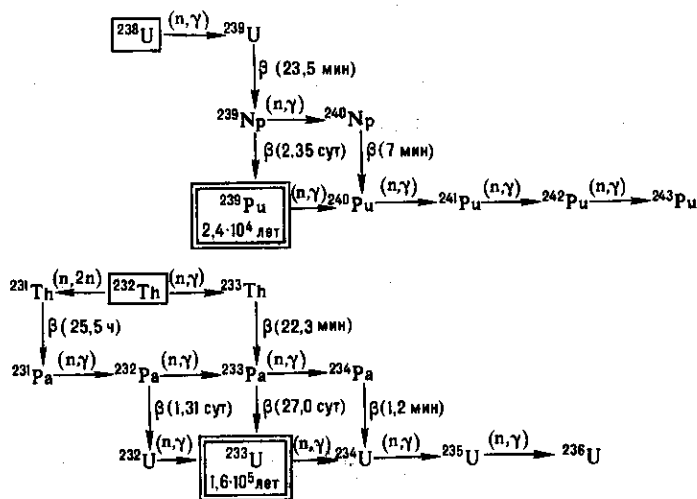


Рис. 1. Цепочки превращений ^{238}U — ^{239}Pu и ^{232}Th — ^{233}U .

ного Я. г. к кол-ву «выгоревшего» за то же время и существенно зависящим от нейтронного энергетич. спектра реактора. В реакторах на тепловых нейтронах K_{∞} не превышает 0,5—0,8. Повысить кол-во использованного природного урана за счёт воспроиз-ва в тепловых реакторах возможно не более чем на 2% по массе. В реакторах на быстрых нейтронах $K_{\infty} > 1$, что обеспечивает расширенное воспроиз-во Я. г. и практически полное использование всего добываемого урана, а в будущем и тория (см. *Реактор-размножитель*).

При делении ядер актиноидов выделяется энергия ≈ 200 МэВ на один акт деления. Эта энергия распределяется между разлетающимися осколками ядра и возникающими частицами. Ок. 90% энергии (кинетич. энергия осколков и частиц) превращается в тепловую. В результате деления

1 г ^{235}U выделяется ≈ 1 МВт·сутки энергии. Энергетич. эквивалент 1 г плутония соответствует 1 т нефти.

В земной коре содержится до 10^{14} т урана. Разведанные запасы урановых руд во всём мире, разработка месторождений к-рых экономически оправдана, составляют более 5 млн. т, что по энергетич. эквиваленту в десятки раз превышает запасы угля. Тория в земной коре в 4—5 раз больше, чем урана, однако разведанных запасов его руд не более 2 млн. т. Добыча и переработка урановых и в особенности ториевых руд — трудоёмкий и дорогостоящий процесс в связи с низким содержанием извлекаемых компонентов. Богатой считается руда, содержащая неск. процентов урана, а рентабельность добычи бедных руд при совр. уровне технологий ограничивается содержанием урана 0,02% по массе.

Торий (^{232}Th) как сырьевой материал для получения делящихся ядер ^{233}U пока не нашёл применения по неск. причинам: ^{232}Th не образует богатых месторождений, технология его извлечения из руд сложнее; кроме того, ^{232}Th наряду с ^{233}U даёт изотоп ^{232}U , к-рый при распаде образует γ -активные ядра (^{212}Bi , ^{208}Tl), ухудшающие радиац. свойства Я. г. (рис. 2).

Ядерное топливо. Я. г. в чистом виде в ядерном реакторе использоваться не может из-за низкой темп-ры плавления, хим. активности, коррозионной неустойчивости, высокого уд. энерговыделения и др. причин. Вещество, содержащее делящиеся нуклиды и размещаемое в виде сердечников тепловыделяющих элементов (*ТВЭЛов*) в активной зоне реактора, наз. **ядерным топливом**. Оно представ-

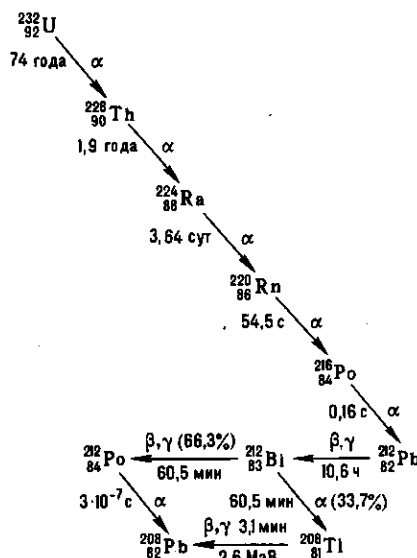


Рис. 2. Цепочка радиоактивного распада ^{232}U .

ляет собой радиационно и химически устойчивую композицию. Горючая компонента в топливе составляет сравнительно небольшую часть.

По хим. составу топливу может быть металлическим (U, Pu, сплавы) либо керамическим, с использованием стойких в реакторных условиях хим. соединений (оксиды, карбиды, нитриды и др.). По степени возрастания коэф. воспроиз-ва ядерное топливо располагается в след. порядке: (U, Pu) O_2 , (U, Pu)C, (U, Pu)N, сплавы. Преимущества керамич. топлива: высокая темп-ра плавления, совместимость с материалами оболочек ТВЭЛов и теплоносителем. К недостаткам относятся более низкая теплопроводность по сравнению со сплавами, повышенное поглощение нейтронов, низкая прочность и др. В табл. приведены нек-рые свойства топливных материалов при комнатной темп-ре.