

Можно получать энергию как за счет управляемого распада ядер некоторых элементов, так и за счет слияния мелких ядер в более крупные в процессе так называемой реакции термоядерного синтеза.

Согласно теории относительности, масса представляет собой особую форму энергии, о чем и свидетельствует известная формула Эйнштейна $E = mc^2$. Из нее следует возможность преобразования массы в энергию и энергии в массу. И такие реакции на внутриатомном уровне вещества реально имеют место. В частности, часть массы атомного ядра может превращаться в энергию, и происходит это двумя путями. Во-первых, крупное ядро может распадаться на несколько мелких — такой процесс называется реакцией

спада

. Во-вторых, несколько более мелких ядер могут объединиться в одно более крупное — это так называемая реакция

синтеза

. Реакции ядерного синтеза во Вселенной распространены очень широко — достаточно упомянуть, что именно из них черпают энергию звезды. Ядерный распад сегодня служит одним из основных источников энергии для человечества — он используется на атомных электростанциях. И при реакции распада, и при реакции синтеза совокупная масса продуктов реакции меньше совокупной массы реагентов. Эта-то разница в массе и преобразуется в энергию по формуле

$$E = mc^2$$

Распад

В природе уран встречается в форме нескольких изотопов, один из которых — уран-235 (^{235}U) — самопроизвольно распадается с выделением энергии. В частности, при попадании достаточно быстрого нейтрона в ядро атома ^{235}U последнее распадается на два крупных куска и ряд мелких частиц, включая, обычно, два или три нейтрона.

Однако сложив массы крупных фрагментов и элементарных частиц, мы недосчитаемся определенной массы по сравнению с массой исходного ядра до его распада под воздействием удара нейтрона. Эта-то недостающая масса и выделяется в виде энергии, распределенной среди получившихся продуктов распада — прежде всего,

кинетической энергии

(энергии движения). Стремительно движущиеся частицы разлетаются от места распада и сталкиваются с другими частицами вещества, разогревая их.

Они представляют собой стремительно разлетающиеся от места распада частицы, при этом далеко они не улетают, врезаюсь в соседние атомы вещества и разогревая их. Таким образом, энергия, порождаемая ядерным распадом, преобразуется в теплоту

окружающего вещества.

В уране, добываемом из природной урановой руды, изотопа урана-235 содержится всего 0,7% от общей массы урана — остальные 99,3% приходятся на долю относительно устойчивого (слабо радиоактивного) изотопа ^{238}U , который просто поглощает свободные нейтроны, не распадаясь под их воздействием. Поэтому для использования урана в качестве *топлива* в ядерных реакторах

его нужно предварительно *обогатить* —

то есть довести содержание радиоактивного изотопа ^{235}U

до уровня не менее 5%.

После этого уран-235 в составе обогащенного природного урана в атомном реакторе распадается под воздействием бомбардировки нейтронами. В результате из одного ядра ^{235}U выделяется в среднем 2,5 новых нейтрона, каждый из которых вызывает распад еще 2,5 ядер, и запускается так называемая *цепная реакция*. Условием для продолжения незатухающей реакции распада урана-235 является превышение числа выделяемых распадающимися ядрами нейтронов числа нейтронов, покидающих урановый конгломерат; в этом случае реакция продолжается с выделением энергии.

В атомной бомбе реакция носит умышленно неконтролируемый характер, в результате чего за доли секунды распадается огромное число ядер ^{235}U и выделяется колоссальная по своей разрушительности взрывная энергия. В атомных реакторах, используемых в энергетике, реакцию распада необходимо строго контролировать с целью дозирования выделяемой энергии. Хорошим поглотителем нейтронов является кадмий — его-то обычно и используют для управления интенсивностью распада в реакторах АЭС. Кадмиевые стержни погружают в активную зону реактора до уровня, необходимого для снижения скорости выделения свободной энергии до технологически разумных пределов, а в случае падения энерговыделения ниже необходимого уровня частично выводят стержни из активной зоны реакции, после чего реакция распада интенсифицируется до необходимого уровня. Выделившаяся тепловая энергия затем в обычном порядке (посредством турбогенераторов) преобразуется в электрическую.

Синтез

Термоядерный синтез — реакция прямо противоположная реакции распада по своей сути: более мелкие ядра объединяются в более крупные. Самая распространенная во Вселенной реакция вообще — это реакция термоядерного синтеза ядер гелия из ядер водорода: она непрерывно протекает в недрах практически всех видимых звезд. В

чистом виде она выглядит так: четыре ядра водорода (протона) образуют атом гелия (2 протона + 2 нейтрона) с выделением ряда других частиц. Как и в случае реакции распада атомного ядра совокупная масса образовавшихся частиц оказывается *меньше* массы исходного продукта (водорода) — она и выделяется в виде кинетической энергии частиц-продуктов реакции, за счет чего звезды и разогреваются.

В недрах звезд реакция термоядерного синтеза происходит не одновременно (когда сталкиваются 4 протона), а в три этапа. Сначала из двух протонов образуется ядро дейтерия (один протон и один нейтрон). Затем, после попадания в ядро дейтерия еще одного протона, образуется гелий-3 (два протона и один нейтрон) плюс другие частицы. И наконец, два ядра гелия-3 сталкиваются, образуя гелий-4, два протона, а также другие частицы. Однако по совокупности эта трехэтапная реакция дает чистый эффект образования из четырех протонов ядра гелия-4 с выделением энергии, уносимой быстрыми частицами, прежде всего фотонами (см. Эволюция звезд).

Естественная реакция термоядерного синтеза происходит в звездах; искусственная — в водородной бомбе. Увы, человек до сих пор не сумел найти средств для того, чтобы направить термоядерный синтез в управляемое русло и научиться получать за счет него энергию для использования в мирных целях. Однако ученые не теряют надежды на достижение положительных результатов в области получения «мирной и дешевой» термоядерной энергии уже в обозримом будущем — для этого главное научиться удерживать высокотемпературную плазму либо посредством лазерных лучей, либо посредством сверхмощных тороидальных электромагнитных полей (см. Критерий Лоусона).