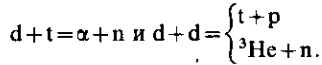


кол-во энергетически выгодных ядерных реакций синтеза, не развивающихся в земных условиях из-за низкой темп-ры (см. *Термоядерные реакции, Управляемый термоядерный синтез*). В звёздах, где темп-ры высоки, а разлёт вещества сдерживается гравитац. силами, протекают реакции синтеза, составляющие основу энергетич. циклов звёзд (см. *Эволюция звёзд*).

Кинетич. энергия частиц пропорц. темп-ре среды. Чтобы 2 ядра с атомными номерами Z_1 и Z_2 слились, их кинетич. энергия должна быть сравнима с энергией эл.-статич. отталкивания $\mathcal{E} = Z_1 Z_2 e^2 / r$ на расстояниях порядка размера ядра ($\sim 10^{-13}$ см). Распределение частиц по энергиям $N(\mathcal{E}) \sim \exp(-\mathcal{E}/kT)$. Это означает наличие нек-рого кол-ва частиц с энергией большей, чем ср. $\mathcal{E}_{cp} = 3/2 kT$, кроме того, возможно туннельное проникновение частиц через энергетич. барьер (см. *Туннельный эффект*). В результате возникает резкая зависимость скорости реакции от темп-ры, но порог отсутствует.

Т. к. скорость реакции синтеза пропорц. плотности вещества (число соударений в единицу времени), а время разлёта частиц тем больше, чем больше размер системы, выгорание термоядерного топлива зависит также от оптич. толщины (ρR) и для осуществления термоядерного взрыва необходимы высокие темп-ра и плотности. В термоядерном взрывном устройстве это создаётся при помощи ядерной бомбы (деления), служащей детонатором.

Для осуществления термоядерного взрыва используют реакцию



Скорость первой из них в 100 раз выше, но для неё необходим радиоакт. *третий*, период полураспада к-рого $T_{1/2} = 12,6$ лет. Поэтому наряду с реакцией $d+t$ используется реакция $d+d$, приводящая к образованию трития, а также реакция ${}^6\text{Li} + n = t + d$. Попадающий в смесь ${}^6\text{Li}$ и d нейтрон поглощается ядром ${}^6\text{Li}$ с образованием трития, к-рый вступает в реакцию с дейтерием, вновь образуется нейтрон, поглощающийся в ${}^6\text{Li}$, и т. д. Цепочка реакции может быть поддержана или усилена взаимодействием нейтронов с делящимся материалом (обычно природный уран, т. к. образующиеся нейтроны имеют энергию 14 МэВ, т. е. являются надпороговыми).

Преимущество термоядерных реакций синтеза над реакциями деления в Я. в. связано со значительно большим (в 5 раз) энерговыделением на 1 г вещества. Это обуславливает значительно большую мощность термоядерных взрывных устройств по сравнению с ядерными. Обычно энергия ядерных бомб $\sim 1-20$ кт тротилового эквивалента, энергия термоядерной бомбы порядка 10^5-10^6 т эквивалента.

При Я. в. в воздухе образуется мощная ударная волна, к-рая, достигая поверхности Земли, вызывает разрушения. Существ. поражение наземных сооружений происходит, если ударная волна несёт избыточное давление p порядка неск. десятых атм. Радиус поражения R прибр. определяется из соотношения $p = \frac{\mathcal{E}}{R^3} \approx 10^6$ эрг/см³, где \mathcal{E} — энергия,

выделяющаяся в Я. в. Для номинальной ядерной бомбы (1 кг сгоревшего урана) с энерговыделением 20 кт тротилового эквивалента $R \sim 1$ км. Выделившаяся энергия по истечении неск. мкс передаётся окружающей среде. Образующийся ярко светящийся огненный шар расширяется вначале за счёт лучистой теплопроводности, а затем вместе с распространением *ударной волны*. По мере расширения темп-ра шара падает, через $10^{-2}-10^{-1}$ с шар достигает макс. радиуса 150 м (для бомбы в 20 кт), $T = 8000$ К (ударная волна далеко впереди). За время свечения (до неск. с) в эл.-магн. излучение переходит 10—20% энергии Я. в., излучение вызывает пожары, ожоги. Разреженный нагретый воздух, несущий радиоакт. продукты Я. в., поднимается вверх и через неск. мин достигает высоты 10—15 км. После этого облако Я. в. распадается на сотни и более км. Радиоакт. частицы выпадают на поверхность Земли,

образуя т. н. радиоактивный след Я. в. Особенно опасен приземный Я. в., когда огненный шар, касаясь поверхности Земли, поднимает вверх пыль, радиоакт. частицы прилипают к частицам земли и выпадают вблизи эпицентра Я. в. в концентрации, летальной для человека.

При Я. в. образуется мощный поток нейтронов и γ -лучей (1% всей выделяющейся энергии). Если Я. в. произведён на высоте ~ 1 км, радиация может достигнуть поверхности Земли (атмосфера ослабляет поток вдвое на расстоянии 150 м), создавая летальную дозу.

В зависимости от конкретного устройства отд. факторы поражения могут быть усилены или ослаблены в неск. раз. Напр., в случае взрыва т. н. нейтронной бомбы (разновидности термоядерной бомбы с энерговыделением ~ 1 кт тротилового эквивалента) усилено нейтронное излучение.

Лит. см. при ст. *Ядерные цепные реакции*. Л. П. Феоктистов.

ЯДЕРНЫЙ ГИРОСКОП — *квантовый гироскоп*, чувствительным элементом к-рого является ансамбль ориентированных атомных ядер, обладающий макроскопич. магн. моментом M (см. *Ядерный парамагнетизм*). Принцип действия Я. г. основан на зависимости частоты прецессии вектора M в пост. магн. поле H от угл. скорости вращения Я. г. Так как ядра с чётными числами протонов Z и нейтронов N имеют нулевой магн. момент (см. *Ядро атомное*), то в Я. г. используются изотопы с нечётным массовым числом $A = N + Z - \frac{3}{2}\text{He}, \frac{83}{36}\text{Kr}, \frac{129}{54}\text{Xe}, \frac{199}{80}\text{Hg}, \frac{201}{80}\text{Hg}$. Эти атомы имеют также замкнутую электронную оболочку, и их полный магн. момент определяется только магн. моментом ядра. Для ослабления влияния релаксац. процессов в Я. г. используются газообразные активные среды.

В криогенных моделях Я. г. ядерные спины ориентируются однородным пост. магн. полем H при темп-ре $T \approx 4,2$ К. Макроскопич. магн. момент M определяется разностью числа спинов, ориентированных вдоль (n_+) и против (n_-) поля: $n_+/n_- = \exp(2\mu H/kT)$, где μ — магн. момент атома. Момент M существует и после снятия магн. поля в течение времени $\sim T_1$, где T_1 — время продольной релаксации. Напр., для ${}^3\text{He}$ (практически единственного вещества, остающегося газообразным при 4,2 К) $T_1 > 1$ дня. Сверхпроводящие магн. экраны из Nb позволяют получить высокую стабильность и однородность поля ($< 10^{-8}$ Э/см). Однако при статич. методе ориентации величина $(n_+ - n_-)_{\text{отн}} = \text{th}(\mu H/kT)$ невелика ($\sim 0,01\%$), что препятствует получению высокого отношения сигнала к шуму S/N . Увеличение же M за счёт увеличения давления газа (> 7 атм) уменьшает время поперечной спин-спиновой релаксации T_2 , что также уменьшает величину S/N .

В большинстве моделей Я. г. применяется динамич. ориентация ядер, заключающаяся в изменении равновесной населённости в системе ядерных спинов с помощью *оптической накачки* циркулярно-поляризованным излучением на частоте, соответствующей переходу между зеемановскими подуровнями электронов, находящихся в слабом пост. поле H (см. *Зеемана эффект*). Ориентация ядерных спинов происходит за счёт передачи момента импульса фотонов от электронов к ядрам (см. *Ориентированные ядра*). При лазерной накачке степень ориентации ядер может достигать 70%, что даёт высокое отношение сигнала к шуму S/N (> 75 дБ).

Регистрация изменений M , вызванных вращением Я. г., также осуществляется с помощью динамич. методов — явления *ядерного магнитного резонанса* и эффектов модуляции величины поглощения или фарадеевского вращения плоскости поляризации оптич. излучения, проходящего через активную среду Я. г. с прецессирующим магн. моментом M . Процесс прецессии обеспечивается за счёт работы Я. г. в режиме спинового генератора (СГ). Для этого Я. г. помещают в перем. магн. поле H_1 , перпендикулярное пост. полю H_0 . В результате в Я. г. возбуждается *Лармора прецессия* магн. момента M . В инерц. системе координат вектор M прецессирует вокруг поля H_0 с частотой $\omega_{L0} = |j| H_0$, где j — *магнитомеханическое отношение*. Если Я. г. вращается вокруг направления поля H_0 с угл. скоростью $\pm \Omega$, то частота прецессии ω_L определяется