

Детонирующие метеориты и криогенная химия

Ивченков Геннадий, к.т.н.

kashey@kwic.com

Сейчас метеориты что-то разлетались. После знаменитого Тунгусского было достаточно много "прилетов" с приличными последствиями. И некоторые из них, например, Челябинский метеорит, свидетельствуют о недооценке метеоритной опасности. Причем, опасные метеориты фактически делятся на две группы:

1. Железо-каменные, которые достигают поверхности Земли и оставляют кратер. Наиболее известен метеорит, уничтоживший динозавров 66 миллионов лет назад. Кроме того, на Земле остались астроблемы (метеоритные кратеры) разных возрастов. Некоторые из них имеют огромный размер и очень трудно вообразить результат их падения. Но всех их объединяет источник энергии взрыва - кинетическая энергия, выделяющаяся при ударе о землю. Нетрудно подсчитать эту энергию, принимая во внимание то, что скорость метеорита при соударении составляет порядка 20 км/сек. В принципе, некоторая часть кинетической энергии теряется при движении в атмосфере, но она незначительна для массивных тел. Впрочем, бывают случаи, когда кинетическая энергия почти полностью теряется за счет торможения в атмосфере как, например, у Сихотэ-Алинского железо-никелевый метеорита.

2. Обломки комет - "ледяные метеориты", которые не оставляют кратера. С оценкой энергии взрыва таких метеоритов возникают проблемы. Энергия таких взрывов часто эквивалентна взрыву водородной бомбы. Например, мощность взрыва Челябинского метеорита составила порядка пары мегатонн, а энергия взрыва Тунгусского - десятки (сотни?) мегатонн. Особенностью таких взрывов является то, что они происходят в атмосфере и не оставляют кратера, а высота взрывов зависит от массы метеорита. Например, Челябинский метеорит взорвался на высоте где-то 20 км, а Тунгусский (масса больше) где-то на высоте 1 км. Но, так или иначе, все они никогда не долетают до земли (кратера нет). Недавно выяснили, что библейский "огонь", уничтоживший Содом был как раз таким метеоритом (кратера нет, но разрушения огромны). Причем, такие метеориты часто теряют скорость в атмосфере и рассчитывать энергию взрыва на основании кинетической энергии, которую имел метеорит при входе в атмосферу, нельзя. В частности, Тунгусский метеорит практически погасил скорость в атмосфере (траектория была пологой). Но эффект от таких взрывов не меньший, чем от падения железо-каменных метеоритов, а последствия сильно напоминают результат ядерного взрыва (Тунгусский метеорит даже считали взрывом инопланетного корабля - уж очень похоже). В частности, температурное воздействие в эпицентре сопоставимо с результатом ядерного взрыва (плавятся камни).

Раньше наличие таких метеоритов было основано на редких свидетельствах. Но когда появились спутники слежения за ядерными взрывами, то выяснилось, что таких метеоритов (взраающихся в атмосфере) достаточно много - ведь большинство взрывов происходит над океанами. Их, кстати, вначале приняли за испытания ядерного оружия в атмосфере - мощность взрывов была соответствующая. Только потом выяснилось их природное происхождение и обнаружилось, что вещество таких метеоритов **детонирует** как, например ТНТ, но на много порядков сильнее. То есть, они состоят из некоего метастабильного соединения, детонирующегося по действием некоего иницирующего воздействия (удар, тепловая волна и т.д.).

Для выяснения природы таких взрывов нужно вспомнить о составе таких метеоритов и их происхождении. Как известно, такие метеориты являются обломками комет, состоящих из водяного льда с примесью газового льда (замерзших газов). Образуются такие кометы где-то в поясе Койпера или даже дальше (облако Оорта) при температуре близкой к 0 К. Причем, замерзшие газы так и остаются в твердом состоянии при 0 К даже при сближении кометы с Солнцем - рубашка льда надежно сохраняет криогенную температуру внутри, а тепловой поток снимается сублимацией льда (комета газит). Кроме того, водяной лед при криогенных температурах становится твердым как камень (его прочность возрастает на порядки), что предохраняет осколки комет от рассыпания в атмосфере. Часто в состав кометного льда входят камни разных размеров, спаянные льдом (как например у Челябинского метеорита).

Так что же там взрывается? Как уже было отвечено выше, кометы образуются на окраине Солнечной системы при температуре, близкой к абсолютному нулю. При такой температуре нормальная (аренниусова) химия, основанная на тепловом движении, не работает (зависимость скорости химической реакции от температуры экспоненциальная). Эксперименты показывают, что при снижении температуры скорость реакции падает в

соответствии с формулой Арениуса $k_T = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$, где E_a - энергия активации. Но при уменьшении до некоторой температуре (криогенной) она начинает расти - начинает преобладать туннельный эффект, телепортирующий химические элементы через потенциальный барьер. Температура, при которой туннельный эффект преобладает над Арениусовым определяется из квантовой механики:

$$T = \frac{\hbar}{k_B \pi d \sqrt{2}} \sqrt{\frac{E}{m}},$$

где k_B - квантовый размер частицы, d - классический размер, m - масса частицы. Отвлекаясь, нужно отметить сомнительную применимость формул квантовой механики к туннельному эффекту - квантовой механике, в частности, не удалось описать классический случай туннельного эффекта - переход электронов через двойной слой окиси алюминия (скрутка двух алюминиевых проводов). Так или иначе, но эта граница существует и при более низких температурах скорость реакции выходит на плато и стабилизируется, оставаясь такой же и при 0 К.

Как показали эксперименты, в результате таких химических реакций создаются соединения - химеры, совершенно невозможные в нормальных условиях (вроде бы даже удалось создать "калистый натрий" - соединение металла с металлом). В частности, там может образоваться лед атомарного водорода и другие странные соединения. Это раздел химии называется "криохимией" (в России есть одна лаборатория, занимающаяся криохимией). Здесь еще может добавляться воздействие солнечного и галактического излучения, но это, впрочем, действует только на поверхностный слой, а основные реакции идут за счет "криохимии" внутри тела. Скорость таких реакция может быть очень мала, но время, отпущенное на них, измеряется миллионами лет. И это все, наработанное за миллионы лет в поясе Койпера, летит во внутреннюю часть Солнечной системы.

Насчет ледяных метеоритов - известно, что при таких взрывах ядерные реакции не идут (на месте падения Тунгусского метеорита много лет искал следы радиации, но так и не нашли). Тогда получается, что это чистая химия (?). Но где же найти такое соединение (хотя бы "химерное"), которое дает такое выделение энергии при детонации? И это вещество должно быть еще метастабильным, причем, инициируемым достаточно сильным воздействием (иначе бы кометы давно бы взорвались). Первое, что может подходить на эту роль - это атомарный водород, который может содержаться в кометном льду в приличных количествах. В принципе, кометный лед может быть состоять целиком из льда атомарного водорода. При переходе такого водорода в молекулярное состояние выделяется огромная энергия в 20 раз превышающая энергию соединения водорода с кислородом (которая составляет 120 МДж/кг). Можно оценить вес атомарного водорода, который при переходе в молекулярный выделит энергию эквивалентную взрыву мегатонной бомбы:

Энергия ионизации атома водорода равна 13.53 эВ. Тогда энергия ионизации килограмма водорода будет 4×10^{28} эВ или 6.4×10^9 Дж. Энергия, выделяемая при взрыве мегатонной бомбы равна 4.2×10^{15} Дж. Тогда вес ионизированного атомарного водорода такой же мощности составит 0.65×10^6 кг или 0.65×10^3 тонн (порядка 600 тонн). При удельном весе твердого водорода примерно 0.1, его объем примерно составит 6000 м³ и размер такого тела будет порядка 18 м - то есть это совсем небольшой. Скорее всего, атомарный водород может быть смешан с водяным льдом - что-то вроде участков из водорода в водяном льду. Если, например, концентрация водорода во льду составляет 10%, то объем такого метеорита составит порядка 60000 м³ и его размер будет порядка 40 метров, что вполне реально. Это для взрыва в одну мегатонну. Для более мощных взрывов масса и размер такого метеорита будет пропорционально больше. Инициирование детонации в основном происходит от теплового и ударного воздействия на высотах порядка 20-30 км (зависимость плотности воздуха от высоты - экспоненциальная). Это, кстати, спасло Челябинск.. Более тяжелые тела (Тунгусский метеорит) проникают глубже в атмосферу. Например, для Тунгусского метеорита можно предположить следующий механизм детонации: На некоторой высоте скорость полета уменьшается до дозвуковой, отошедшая ударная волна (она начинает обгонять метеорит) отражается от земли и ударяет по метеориту. В результате детонация и взрыв.

Впрочем, это только предположения, так как механизм создания метастабильного атомарного водорода, его горения и детонации неизвестны. Но вот результат падения таких метеоритов известен....

