

УДК 534.222.2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. Е. ГОРДЕЕВ, Ю. С. МАТВЕЕВ, Я. К. ТРОШИН

ИМИТАЦИЯ ДЕТОНАЦИОННОГО СПИНА В АЗОТЕ

(Представлено академиком Н. М. Эмануэлем 13 III 1973)

Представление о вращающемся изломе фронта ударной волны было положено в основу первой серьезной теории спиновой детонации ^(1, 2). Оно оказалось настолько важным и плодотворным, что с тех пор всегда используется во всех исследованиях спина. Излом, или трехударная конфигурация маховского отражения, оказался также наиболее существенным элементом структуры детонационных волн в газах ^(3, 4). Вопрос о возможности возникновения и распространения вращающегося излома в трубе с реагирующим газом пока не привлекал к себе внимания. Между тем такая возможность, интересная сама по себе, может существенно дополнить современные представления о природе спиновой детонации.

Опыты, в которых «искусственный спин» был создан в азоте, проводились следующим образом. Две круглые стеклянные трубки с внутренним диаметром 1,6 см разной длины (12 и 30 см) плотно соединяли одну с другой торцами под некоторым углом (от 10 до 45°). Торцы трубок предварительно обтачивали так, чтобы соединение не имело щелей. Свободный конец длинной трубки закрывали, а в короткую трубку вставляли пробку с двумя электродами и отверстием для откачивания воздуха и заполнения этой системы азотом (рис. 1). Внутреннюю поверхность длинной трубки предварительно покрывали сажей, всю систему герметизировали и заполняли азотом до давления 40—50 мм рт. ст.

Ударная волна создавалась в короткой трубке импульсным электрическим зарядом ($C = 12$ мф, $L = 3,5$ мкн, $V = 5$ кв) через искровой промежуток (длиной 1 см). Продолжительность разряда составляла около 100 мсек., плазменный факел распространялся по трубке с постоянной скоростью около 3 км/сек на расстояние 8 см. Фронт ударной волны становился практически плоским на расстоянии 7—8 см от искрового промежутка.

Плоская ударная волна при наклонном входе в длинную трубку отражалась от стенок, оставляя на них периодическую систему симметричных спиральных линий (рис. 1а, вид сбоку и сверху), которая в основных чертах совпадает со следовыми отпечатками двухголовного спина. Картина повторяется через каждые 6 см (хорошо различаются 2—3 периода, затем отпечатки становятся все более слабыми). С удалением от входа волна ослабевает и период несколько удлиняется.

Перекрывая плоской поперечной заслонкой одну из половин входного среза длинной трубки по большой оси эллипса (рис. 1б), можно получить только один спиральный след с тем же шагом (6 см). Переместив заслонку на другую половину эллипса, можно изменить вращение спирали на противоположное. Поперечные следы, всегда очень четкие в опытах без заслонки (рис. 1а), при одной спирали почти не проявляются и иногда вообще не заметны. Разумеется, никаких следов поперечной волны, характерной для спиновой детонации, на стенках не появлялось.

Аналогичные опыты с трубками диаметром 1 и 2,5 см показывают, что шаг спирали определяется в основном диаметром трубки и скоростью ударной волны, а от угла входа волны в длинную трубку зависит слабо. Торцовые отпечатки искусственного одноголового спина оказались идентичными отпечаткам детонационного спина, т. е. имели вид буквы Y. Совпали

с детонационными также и торцовые отпечатки двухголового спина в азоте. Они представляют собой те же комбинации двух Y, которые приведены, например, в монографии ⁽⁴⁾.

Были проведены также опыты, в которых искусственные спины сталкивались между собой. Для этого две ударные волны впускались в длинную трубку с противоположных концов под одинаковым наклоном к оси. В середине трубки на ее стенках возникало изображение кольца с изломами в тех местах, где оно пересекалось со спиральными следами. Это можно считать подтверждением существования изломов на ударных волнах, которые возникали в таких опытах. Напротив, две ударные волны, распространявшиеся в трубке навстречу друг другу, после столкновения всегда оставляли на стенке правильное кольцо без всяких изломов, если волны входили в трубку точно по ее оси и не отражались от стенок.

Проводились также опыты с трубками квадратного сечения, в которые волна входила с наклоном только к горизонтальным граням (рис. 2). Вдоль вертикальных граней она скользила без отражения, но на них оставались криволинейные следы концевых точек линии, вдоль которой пересекаются падающая, отраженная и маховская волны — пространственная трехударная конфигурация, которая возникает при каждом нерегулярном отражении от горизонтальных стенок. На последних видны следы в виде прямых

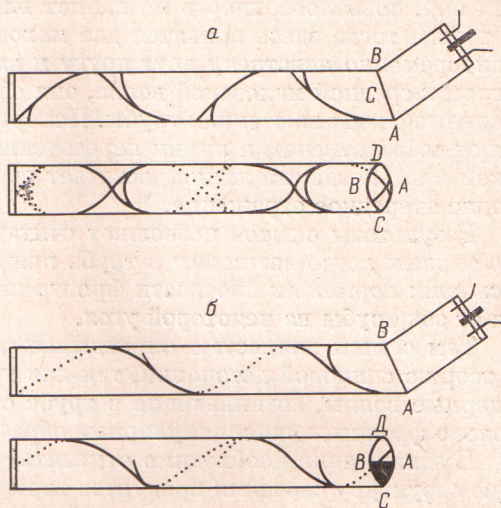


Рис. 1

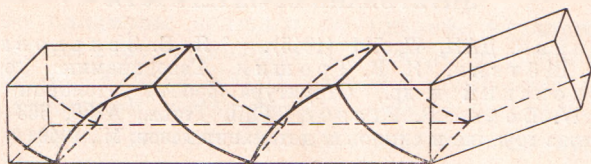


Рис. 2

линий, перпендикулярных ребрам. Это отпечатки, оставленные линией пересечения трех волн при ее выходах на нижнюю и верхнюю грани. В этих опытах не было вращения маховского излома, но прямолинейные следы на горизонтальных стенках трубы квадратного сечения делают более понятным происхождение поперечных следов в круглых трубках (рис. 1а). Несомненно, такие следы вызваны одним и тем же явлением — выходом линии тройной конфигурации на стенку при очередном отражении.

Обращает на себя внимание правильное чередование отражений от нижней и верхней граней. Это создает такую же четкую периодическую картину, как и на стенках круглых трубок.

Несмотря на то, что в опытах с квадратными трубками не обнаружено ничего неожиданного, с их помощью проще расшифровать более сложную картину отражений в круглых трубках, где возникают и распространяются вращающиеся маховские изломы.

Причина появления вращающихся изломов в круглой трубе при наклонном входе плоской ударной волны очевидна: уже в первый момент

волна встречается с поверхностью трубы в разных точках под существенно различными углами. В точке *A* (рис. 1а) волна падает на эту поверхность наиболее круто. Здесь появляется маховская волна, которая распространяется вдоль оси трубы. В точках *C* и *D*, напротив, в первый момент отражения не будет вообще, и волна станет скользить над поверхностью до тех пор, пока поверхность не начнет плавно подниматься на пути волны, и только тогда здесь появятся две маховские волны, распространяющиеся одновременно навстречу друг другу и вперед вдоль оси. Располагаясь под углом к средней маховской волне, они образуют изломы, оставляющие спиральные следы на стенках трубы. Поперечные же следы (рис. 1а) представляют собой отпечатки линии пересечения падающей, отраженной и маховской волн, когда эта линия достигает поверхности, от которой затем происходит очередное отражение.

Результаты опытов позволяют считать, что вращающийся излом ударной волны легко возникает в трубе при выполнении лишь одного простого условия: нормаль к плоскости фронта падающей волны должна отклоняться от оси трубы на некоторой угол.

Тем самым полностью оправдывается введение вращающегося излома в теорию спиновой детонации, так как трудно представить себе, чтобы все ударные волны, возникающие в трубе со взрывчатым газом, могли иметь только фронты, перпендикулярные образующим.

В заключение необходимо отметить, что Щёлкин⁽⁶⁾ наблюдал полосатую структуру свечения продуктов взрыва азида свинца в трубе, наполненной воздухом. Это свечение имело большое сходство со свечением спиновой детонации. Аналогичная картина при взрыве капсуля-детонатора в трубе с воздухом наблюдалась также Боном и Фрезером⁽⁵⁾. Но природа спиновой детонации в то время представлялась еще несколько загадочной, что связь этого наблюдения со спином категорически отвергалась даже самим автором модели вращающегося излома⁽⁶⁾.

Институт химической физики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
22 II 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. И. Щёлкин, ДАН, 47, 501 (1945). ² Я. Б. Зельдович, ДАН, 52, 147 (1946). ³ К. И. Щёлкин, Я. К. Трошин, Газодинамика горения, М., 1963. ⁴ Б. В. Войцеховский и др., Структура фронта детонации в газах, Новосибирск, 1963. ⁵ W. Bone, R. Fraser, Phil. Trans., A230, 363 (1931). ⁶ К. И. Щёлкин, Быстрое горение и спиновая детонация газов, М., 1949.