

СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ В НИТРОМЕТАНЕ

А. Н. Дремин, С. Д. Савров

(Москва)

Получены спектры излучения детонационного фронта в нитрометане в области 3800—8000 Å на спектрографе средней дисперсии. Спектры оказались непрерывными без каких-либо линий и молекулярных полос.

Предварительные измерения показали, что распределение энергии в спектре отличается от планковского.

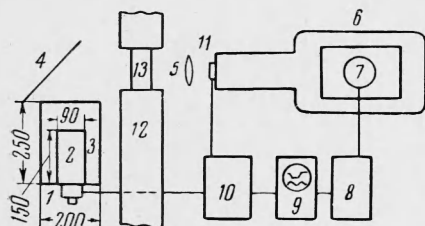
Первой работой, в которой удалось получить спектр излучения продуктов взрыва ВВ, следует считать работу М. Л. Аленцева, А. Ф. Беляева, Н. Н. Соболева и Б. М. Степанова [1]. В этой работе были получены спектры взрыва жидких нитроэфиров на спектрографе с малой дисперсией, и по ним была рассчитана цветовая температура. Для отсечки свечения ударной волны в воздухе, возникающей при разлете продуктов взрыва, использовалась водяная оболочка, контроль действия которой был затруднен из-за отсутствия в то время соответствующих приборов.

Впоследствии в работе В. А. Дементьева и В. Н. Кологривова [2] по предложению М. А. Садовского была предпринята попытка получения спектра излучения при взрыве твердого ВВ в вакууме. Спектры регистрировались при помощи спектрографа ИСП-51 с короткофокусной (120 мм) камерой. Вакуум (5—10 мм Hg) применялся для исключения свечения ударной волны в воздухе. Так как время свечения при выходе детонации на поверхность было порядка 1 мксек, спектры получились весьма слабыми, причем, помимо непрерывного фона, они содержат ряд молекулярных полос, большинство которых, возможно, относится к свечению ударной волны в разреженном воздухе.

По полученным спектрам была рассчитана цветовая температура. С появлением фотоумножителей для определения температуры детонации стала применяться также фотоэлектрическая методика, имеющая высокую чувствительность и большое временное разрешение. Так, в работах Гибсона [3] и И. М. Воскобойникова [4] регистрировалось свечение детонации при помощи фотоэлектрических установок, имеющих несколько каналов в различных областях спектра шириной порядка нескольких сот ангстрем. По измеренному отношению интегральных интенсивностей

в этих областях спектра была рассчитана цветовая температура в предположении, что излучаемый объект является серым телом. Несмотря на отмеченные достоинства, эта методика не позволяет наблюдать полное распределение энергии в спектре.

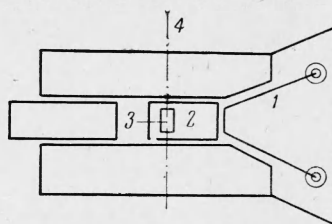
Настоящая работа посвящена получению спектра излучения детонационного фронта в нитрометане (НМ). Для получения спектров использовался спектрограф средней разрешающей силы (ИСП-51 с камерой, имеющей фокусное расстояние 270 мм). Спектры регистрировались на аэрофотоэмульсии (изопанхром тип 13).



Фиг. 2

Наблюдение свечения велось с торца, так как наблюдение сбоку затруднено наличием волн разрежения. Для отсечки свечения ударной волны в воздухе использовалась водяная оболочка, действие которой основано на том, что вода после ударного нагружения перестает пропускать свет, а также затрудняет разлет продуктов.

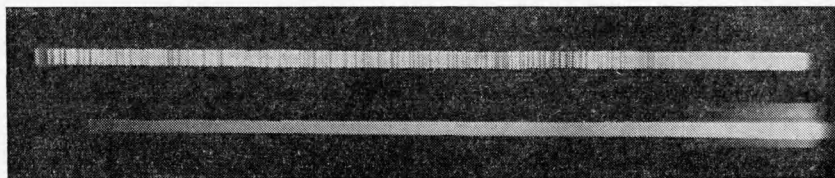
Предварительные опыты показали, что водяная оболочка не полностью исключает постороннее свечение. Если оболочка достаточно массивная, она надежно экранирует свечение продуктов в течение относительно длительного времени. Однако даже массивная оболочка разгоняется настолько, что образующаяся перед ней ударная волна вызывает свечение воздуха, в результате чего на пленке регистрируется непрерывный спектр с наложенными отдельными линиями и молекулярными полосами. Следует отметить, что одновременная регистрация этого процесса на СФР не позволяет обнаружить это свечение, поскольку скорость развертки СФР слишком велика. Для отсечки свечения был изготовлен быстродействующий затвор (фиг. 1), действие которого основано на быстром расширении нихромовой проволоочки 1 при разряде на нее батареи конденсаторов емкостью 25 мкф, заряженной до 2 кв. Синхронизация с процессом замыкания в замыкании взрывом контактов разрядной линии. В результате замыкания



Фиг. 1

на нихромовую проволочку подается короткий и мощный импульс тока, который нагревает ее и заставляет быстро расширяться. Проволочка толкает каретку 2 с прорезью 3 шириной 2 мм, которая закрывает щель спектрографа 4 (0.4 мм). Градуировка затвора производилась при помощи фотоэлектрической установки на выходе спектрографа. Время закрытия затвора оказалось равным 120–140 мксек.

Применение затвора в контрольных опытах показало, что непрерывный и линейчатый спектр, возникающий при разлете продуктов, полностью отсекается. После этого были поставлены опыты по получению спектра излучения детонационного фронта в НМ путем совместного применения водяной оболочки и затвора. Схема установки изображена на фиг. 2. Здесь 1 — активный заряд, 2 — сосуд с нитрометаном, 3 — вода, 4 — зеркало, 5 — линза, 6 — спектрограф, 7 — фотоумножитель, 8 — усилитель, 9 — осциллограф, 10 — пульт затвора, 11 — затвор, 12 — защитная стена, 13 — иллюминатор. Изображение сосуда 2 с НМ, полученное при помощи зеркала 4 и линзы 5 с фокусным расстоянием 90 мм на щели спектрографа, составляло 2 мм. В то же время диафрагма



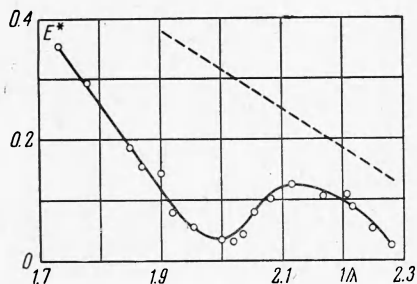
Фиг. 3

затвора 11 составляла по высоте 5 мм. Это необходимо для контроля свечения вне сосуда с НМ. Высота сосудов с НМ составляла от 100 до 200 мм и время свечения детонационного фронта — от 16 до 32 мксек соответственно.

Для уменьшения времени от начала детонации НМ до закрытия затвора иниципирование НМ задерживалось на 70 мксек относительно момента запуска схемы затвора при помощи детонирующего шнура.

В результате этих экспериментов были получены и обработаны несколько спектров излучения детонационного фронта в области от 3800 до 8000 Å. Типичная спектрограмма совместно с реперным спектром железа приведена на фиг. 3. Спектры оказались непрерывными и имеют хорошую плотность почернения. Контрольные участки диафрагмы затвора позволили убедиться, что посторонняя засветка от активного заряда, а также свечение продуктов сквозь ударно сжатую воду дают незначительный фон в длинноволновой области спектра.

Измерение распределения энергии в спектрах производилось по обычной методике гетерохромной фотометрии, описанной в [5]. В качестве эталонного источника использовалась вольфрамовая ленточная лампа со временем экспозиции 10^{-2} – 10^{-3} сек. Типичная спектрограмма в области 4200–6400 Å приведена на фиг. 4, на которой



Фиг. 4

$$E^* = \lg(E_1/E_2) + \text{const}$$

При этом E_1 и E_2 — монохроматические яркости эталонов и НМ, a/λ — величина, обратная длине волны, выраженной в мк.

Пунктирная линия соответствует относительному распределению интенсивности в спектре черного тела с температурой 3800° К (цветовая температура эталонной лампы составляла 2700–100° К). Из фиг. 4 видно, что распределение энергии в спектре излучения детонационной волны с торца заряда в НМ отличается от планковского. Однако такой результат не является неожиданным. По-видимому, он обусловлен спецификой источника излучения, а именно, детонационной волны. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Для уточнения уравнения состояния продуктов детонации необходимо экспериментальное определение температуры продуктов детонации (ПД) в плоскости Чепмена—Жуге T , т. е. в области, где химическая реакция практически закончилась. Определение температуры детонации оказывается возможным только на основании упрощенной оптической методики, обычно применяемой к излучателям, спектры которых являются непрерывными в исследуемом интервале длин волн. Для определения температуры по этой методике необходимо получить спектральное распределение энергии

в излучении и, кроме этого, определить независимым методом зависимость коэффициента поглощения излучающего объекта от длины волны. Совместное использование этих данных позволяет убедиться, что излучение является температурным и определить истинную температуру. Следует добавить, что этого достаточно для определения температуры только для однородных по температуре тел.

Применение этой методики к изменению T наталкивается на определенные трудности. В соответствии с вышеизложенным, для определения T необходимо получить спектр излучения ПД в плоскости Чепмена — Жуге и определить в них спектральное распределение поглощательной способности. Поскольку химическая реакция в плоскости Чепмена — Жуге практически закончилась и градиент температуры относительно невелик — условие однородности по температуре для ПД выполняется. Отсутствие значительных градиентов температуры и большое значение плотности позволяют также предположить, что для каждой длины волны оптический слой является толстым, и поэтому распределение энергии в спектре ПД должно соответствовать черному телу.

К сожалению, получить спектр ПД в плоскости Чепмена — Жуге непосредственно, например, сбоку от распространяющейся волны, не удастся, поскольку все прозрачные вещества не пропускают свет после сильного ударного нагружения. Поэтому приходится наблюдать свечение детонационной волны только с торца заряда, в результате чего, по существу, регистрируется свечение всей зоны реакции. Наличие в зоне быстрой химической реакции не исключает вероятности нетемпературного излучения отдельных областей зоны. Кроме этого, образующиеся продукты частично прошедшей реакции могут селективно поглощать излучение ПД из плоскости Чепмена — Жуге и тем самым искажать распределение энергии в их спектре.

Установлено [6], что ударно сжатый НМ даже при отсутствии химической реакции сильно поглощает свет, причем механизм и спектральная зависимость этого поглощения пока неизвестны.

Таким образом, даже в областях зоны, где реакция еще не началась, также возможно искажение спектра излучения из плоскости Чепмена — Жуге. Если даже предположить, что в зоне отсутствует селективное поглощение, наличие градиентов температур должно привести к явлению самообращения, которое также исказит этот спектр и приведет к занижению цветной температуры [7].

Наличие многофронтного характера детонации, установленное в [6, 8], еще более усложняет проблему определения температуры ПД в плоскости Чепмена — Жуге. Отметим, что в принципе не исключена возможность того, что для некоторых ВВ наложение излучения и поглощения различных областей может привести к тому, что полученный спектр будет иметь планковское распределение энергии в пределах точности эксперимента, однако, в свете вышеизложенного рассчитать по этому спектру температуру в плоскости Чепмена — Жуге представляется затруднительным.

Таким образом, точность определения температуры, приводимая в соответствующих работах, по-видимому, говорит о повторяемости опытов, чем о точности определения истинной температуры продуктов детонации в плоскости Чепмена — Жуге.

Авторы благодарят В. С. Трофимова за ценную дискуссию и А. Н. Андриевского и Е. Е. Чемагина — за помощь в проведении экспериментов.

Поступила 6 I 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Аленцев М. Н., Беляев А. Ф., Соболев Н. Н. и Степанов Б. М. Измерение температуры свечения взрыва взрывчатых веществ оптическим методом. *Ж. эксперим. и теор. физ.*, 1946, т. 16, вып. 11, стр. 990.
2. Дементьев В. А., Колотринов В. Н. Спектр излучения при взрыве твердого ВВ в вакууме. *Ж. физ. химии*, 1962, т. 36, № 3.
3. Gibson F. G., Bowser M. et al. Use of an Electro — Optical Method to Determine Detonation Temperatures in High Explosives. *J. Appl. Phys.*, 1958, vol. 29, p. 4.
4. Воскобойников И. М., Апин А. Я. Измерение температуры детонационного фронта взрывчатых веществ. *Докл. АН СССР*, 1960, т. 130, № 4.
5. Шилловский А. А. Прикладная физическая оптика. Физматгиз, 1961.
6. Буравова С. Н., Дремин А. Н., Розанов О. К., Трофимов В. С. Исследование гладкости фронта детонационной волны. *ПМТФ*, 1963, № 4.
7. Пеннер С. С. Количественная молекулярная спектроскопия и излучательная способность газов. *Изд. иностр. лит.*, М., 1963.
8. Дремин А. Н., Розанов О. К., Трофимов В. С. О механизме детонации жидких взрывчатых веществ. *ПМТФ*, 1963, № 1.