

## СПЕКТР СВЕЧЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ НИТРОМЕТАНА

B. C. Трофимов, A. B. Троян

(Москва)

Количество работ, посвященных исследованию спектра свечения детонации конденсированных взрывчатых веществ (ВВ), невелико [1—6]. В части этих работ [1, 5, 6] спектр свечения детонации регистрируется с помощью спектрографа на фотографической пленке. В другой части работ [2—4] спектр детонации записывается по точкам фотоэлектрическим методом с помощью осциллографа. Основным достоинством спектрографического метода является возможность регистрации всего спектра в одном опыте. Однако помимо недостатков, присущих гетерохромной фотометрии, этот метод требует громоздкого монтажа каждого опыта, необходимого для экранирования фотопластики от свечения разлетающихся продуктов детонации. Этих недостатков лишен

фотоэлектрический метод записи спектра, но он требует большого числа опытов для получения всего спектра. В настоящей работе описывается простой фотоэлектрический сканирующий спектрометр, позволяющий использовать преимущества фотоэлектрического метода и записывать весь видимый спектр в одном опыте.

Спектрометр состоит из двух широко распространенных приборов: сверхскоростной камеры СФР в варианте фоторегистра и монохроматора УМ-2. На рис. 1 представлена его оптическая схема. Движущееся по пленке изображение входной щели СФР является одновременно входной щелью монохроматора (его стационарная входная щель заменена конденсором, который строит изображение зеркала СФР на коллиматорном объективе). Для пропускания света в монохроматор в пленке прорезается отверстие по специальному шаблону. Таким образом, сканирование спектра осуществляется за счет движения входной щели монохроматора. Данная оптическая схема обладает тем достоинством, что позволяет одновременно с записью спектра фотографировать изучаемый процесс на пленке в соответствии с прямым назначением камеры СФР. Следовательно, после каждого опыта можно проверить, действительно ли фиксировался спектр детонации, что невозможно было сделать в предыдущих работах [1—6].

Рис. 1. Оптическая схема скоростного спектрометра:  
Узлы камеры СФР: 1 — объектив, 2 — щель, 3 — второй объектив, 4 — врачающееся зеркало, 5 — фотоаппарат; узлы монохроматора УМ-2: 6 — входная щель (движущееся изображение щели СФР), 7 — конденсор, 8 — коллиматоры, 9 — прозрачные зеркала, 10 — выходная щель; прочие элементы спектрометра: 11 — отверстие в пленке, 12 — шкала для фокусировки, 13 — фотоумножитель ФЭУ-42, 14 — светофильтр, 15 — реперные зеркала, 16 — светопровод.

Для наведения спектрометра на исследуемый объект в фокусе камеры СФР установлена специальная шкала, которая при освещении сзади через объектив камеры СФР проектируется на заряд.

Фотоэлектрическая схема спектрометра состоит из ФЭУ-42, катодного повторителя и осциллографа ОК-17М. Для запуска развертки осциллографа и калибровки прибора по длинам волн служат специальные световые импульсы, которые формируются оптической схемой перед и после прохождения спектра. С этой целью перед входом в монохроматор установлены два зеркальца, направляющие свет на фотоумножитель через специальный светопровод.

При калибровке спектрометра по эталонному источнику света необходима большая точность в определении длины волн. Для ее достижения калибровка проводится при вращении зеркала СФР от руки с помощью специального микрометрического устройства. При этом фототок регистрируется электрометрическим усилителем.

Для выравнивания величины фототока при разных длинах волн перед катодом фотоумножителя устанавливаются специально подобранные светофильтры, коэффициент пропускания которых измеряется на этом же спектрометре.

При наиболее удобной для работы ширине входной щели СФР, равной 0,1 мм, спектрометр обладает следующими характеристиками: 1) нижний предел чувствительности соответствует температуре абсолютно черного тела 1900° К, он определяется

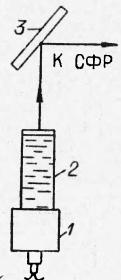
не шумом ФЭУ и радиосхемы, а дробовым эффектом фотокатода (при записи спектра за 10 мксек); 2) разрешающая способность равна  $100 \pm 200$ ; 3) средняя относительная квадратичная ошибка измерения распределения энергии в спектре излучения в одном опыте составляет 15% (основная погрешность вносится осциллографом); 4) спектрометр охватывает область видимого спектра от 16 000 до 25 000  $\text{cm}^{-1}$ , которая сканируется за один опыт.

Для калибровки спектрометра по длинам волн использовалась ртутная лампа, а при калибровке по чувствительности — черное тело, в качестве которого служил муфель электрической печки. Его температура устанавливалась равной  $1500 \pm 3^\circ\text{K}$  и контролировалась двумя платинородий-платиновыми термопарами.

С помощью описанного спектрометра был определен спектр свечения детонации нитрометана. Схема монтажа опыта представлена на рис. 2. Она ничем не отличается от опытов по регистрации детонации с торца заряда с помощью камеры СФР. Типичная картина, фиксируемая на пленке, изображена на рис. 3, а типичная осциллограмма спектра — на рис. 4.

Сосуды для нитрометана делались из стекла и алюминиевой фольги. Было замечено, что в стеклянных сосудах зарегистрированный спектр примерно в 2 раза интенсивнее, чем в алюминиевых. В связи с этим сде-

Рис. 2. Схема монтажа опыта.  
1 — активный заряд с линзой и капсулой-детонатором; 2 — сосуд с нитрометаном; 3 — зеркало.



лано предположение, что детонационный фронт рассеивает свет от ярко светящихся продуктов детонации активного заряда. Для устранения этого эффекта стеклянные сосуды стали заворачиваться в черную бумагу. В результате различие в свечении детонации в стеклянных и алюминиевых сосудах исчезло.

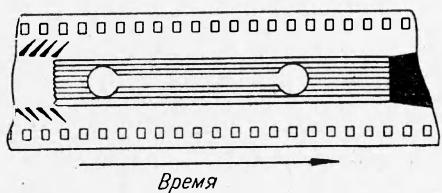


Рис. 3. Эскиз фоторазвертки свечения детонации нитрометана.

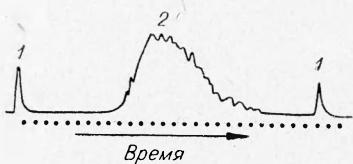


Рис. 4. Запись спектра свечения нитрометана.  
1 — реперные импульсы; 2 — измеряемый спектр.

Из полученных данных можно оценить коэффициент диффузного отражения детонационного фронта нитрометана  $K$ . Предполагая, что все рассеяние обязано именно ему (т. е. пренебрегая рассеянием невзорвавшегося нитрометана), получаем:

$$K = \frac{2\pi}{\Omega} \cdot \frac{(n-1) I_1}{I_2}, \quad (1)$$

где  $I_1$  — яркость собственного свечения детонационного фронта нитрометана;  $n$  — коэффициент увеличения яркости в прозрачном стеклянном сосуде;  $I_2$  — яркость продуктов детонации активного заряда;  $\Omega$  — телесный угол, под которым продукты видны из центра детонационного фронта в нитрометане. Полагая  $n \approx 2$ ,  $\frac{2\pi}{\Omega} \sim 1$ ,  $\frac{I_1}{I_2} \lesssim 0,01$  (что соответствует температуре в нитрометане  $3600^\circ\text{K}$ , а в продуктах  $3000^\circ\text{K}$ ), находим, что  $K \sim 0,01$ .

В том случае, когда коэффициент диффузационного отражения больше 0,1 (исходя из точности измерения спектрометра 15%), его можно оценить и другим способом, который заключается в сравнении яркости свечения детонационного фронта в стеклянных сосудах, обернутых черной и белой бумагой. В последнем случае на торец сосуда наклеивался белый кружок со щелью для пропускания света в спектрометр. Оказалось, что спектры свечения детонации нитрометана в обоих случаях идентичны. Но тогда несложная оценка показывает, что  $K \ll 0,1$ .

На рис. 5 даны два графика распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Все экспериментальные точки, соответствующие свечению детонационного

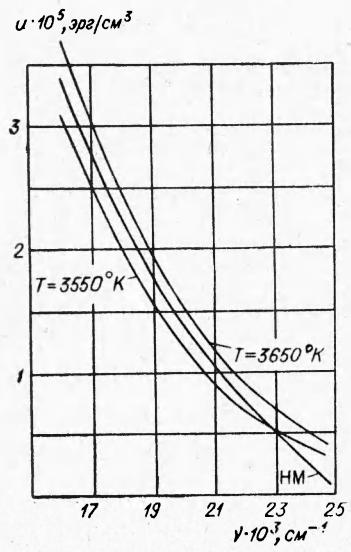


Рис. 5. Распределение энергии в спектре черного тела и детонации нитрометана.

ные температуры. Следовательно, измеренную температуру можно трактовать только как нижний предел для оценки максимальной температуры в детонационной волне в нитрометане.

фронта в нитрометане, легли внутри области, ограниченной этими графиками, если не считать точек в крайней фиолетовой области спектра. В этой области спектра, начиная примерно с  $23\ 000\ \text{см}^{-1}$ , свечение детонационного фронта соответствует более низкой температуре. Такое отклонение оказалось возможным объяснить тем, что нитрометан сильно поглощает лучи фиолетовой области спектра, и введение соответствующей поправки (с учетом коэффициента поглощения) позволяет сместить выпавшие точки в пределы отмеченной области.

Таким образом, распределение энергии в спектре излучения детонационного фронта нитрометана подобно распределению энергии в излучении абсолютно черного тела с температурой  $3600 \pm 50^\circ\text{K}$ . Сделанные выше оценки показывают, что детонационный фронт в нитрометане является черным. Однако эти факты еще не дают основания приписать измеренную температуру какой-то области в зоне реакции или за ее пределами, как это делается в работах [2—4]. Дело в том, что, согласно многочисленным данным (см., например, [7, 8]), детонационный фронт в нитрометане не является гладким и, следовательно, не может представлять собой гомогенного источника излучения. Тот факт, что этот источник обладает планковским спектром в пределах видимой области, как показывают простейшие оценки, можно вполне объяснить наложением планковских спектров нескольких источников, имеющих раз-

Поступила в редакцию  
27/VIII 1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Аленцев, А. Ф. Беляев и др. ЖЭТФ, 1946, 16, 11, 990.
2. F. G. Gibson, M. Bowser et al. J. Appl. Phys., 1958, 29, 4.
3. И. М. Воскобойников, А. Я. Апин. Докл. АН СССР, 1960, 130, 4.
4. И. М. Воскобойников. ПМТФ, 1960, 1.
5. В. А. Дементьев, В. Н. Кологрилов. ЖФХ, 1962, 36, 3.
6. А. Н. Дремин, С. Д. Савров. ПМТФ, 1965, 1.
7. С. Н. Буравова, А. Н. Дремин и др. ПМТФ, 1963, 4.
8. А. Н. Дремин, О. К. Розанов, В. С. Трофимов. ПМТФ, 1963, 1.

<sup>1</sup> Наблюдаемое в работе [6] отклонение спектра свечения нитрометана от планковского лежит в пределах нашей погрешности измерения.