

**Численное моделирование
инициирования и
распространения волн
детонации в горючих газовых
смесях**

академик В.А. Левин

к.ф.-м.н. Т.А. Журавская

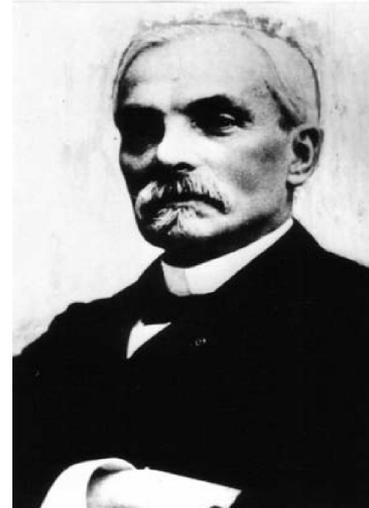
Детонационные волны в газах были обнаружены экспериментально в конце XIX в.



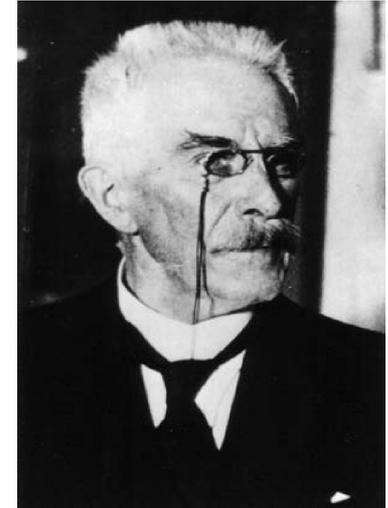
M. Berthelot
(1827–1907)



Paul Vieille
(1854–1934)



Ernest Mallard
(1833–1899)



Henry Le Châtelier
(1850–1936)

Основные режимы горения

Опыты Бертло, Вьейля, Малляра и Ле Шателье (1881 – 1883)

Медленное горение

скорость определяется
процессами переноса

скорость: $0.1 \div 10$ м/с

Детонационное горение

сжатие и нагрев горючей смеси,
приводящие к ее воспламенению,
осуществляются ударной волной

скорость: $1.5 \div 3.5$ км/с

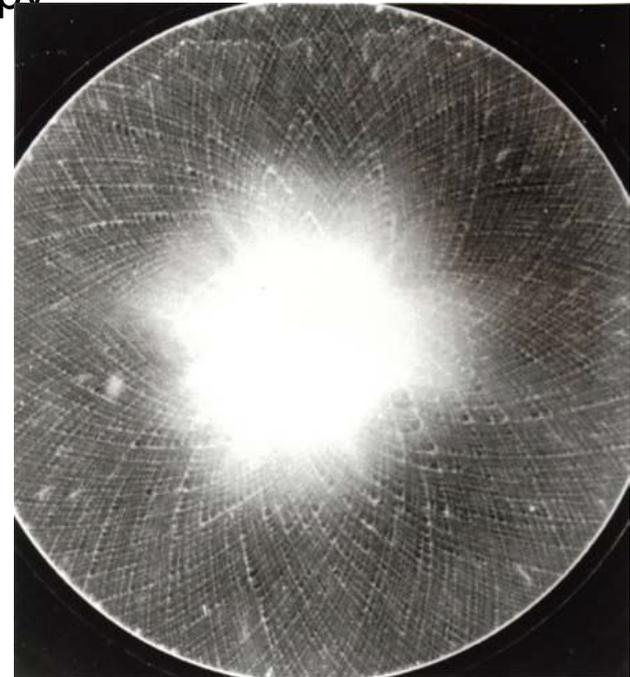
Детонация активно изучается: первоначально интерес к ней определялся необходимостью обеспечения

взрывобезопасности

Экспериментально установлено: волны детонации в плоских каналах, в трубах (в случаях, когда давление и состав смеси далеки от предельных для инициирования детонации значений), сферические и цилиндрические детонационные волны имеют ячеистую структуру



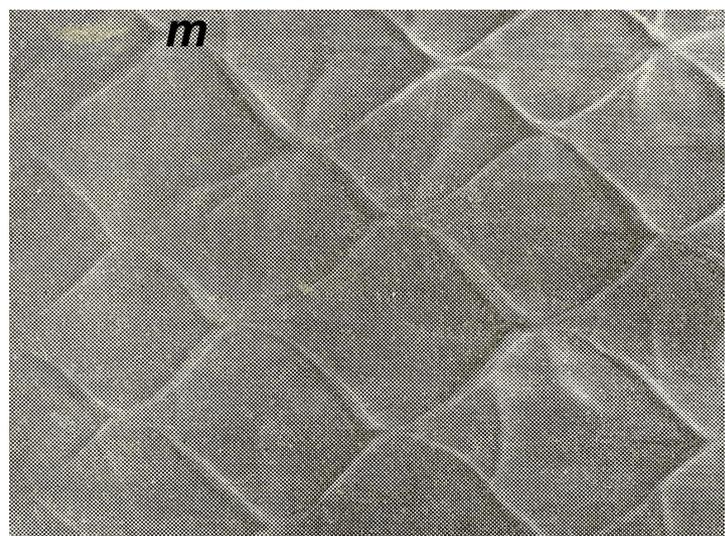
Мгновенное изображение сферической детонации в $C_2H_2-O_2$ смеси (J.H.S. Lee, 2008)



Фотография (следовый отпечаток) расходящейся цилиндрической детонации, инициируемой подводом энергии (J.H.S. Lee, 2008)

Ячеистая структура волны детонации в плоском канале

эксперимен



Отпечаток следа волны на закопченной пластине (Р.И. Солоухин, 1963)

численное

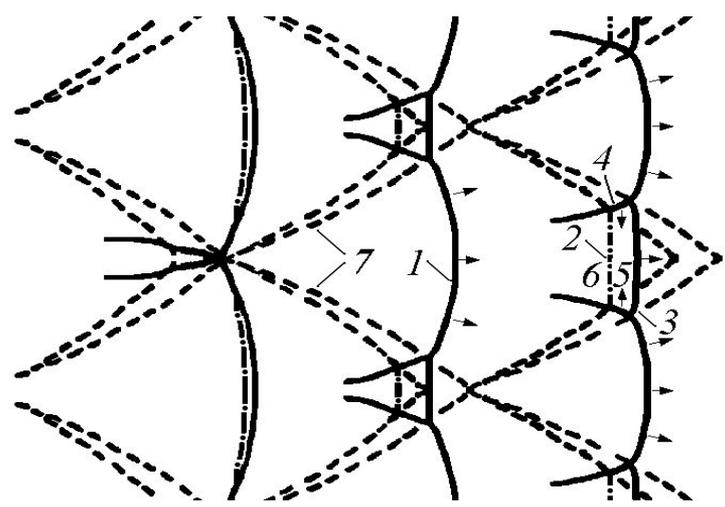
моделирование

Формирование ячеистой детонационной волны в плоском канале впервые было получено в работах: **Таки С., Фудзивара Т., 1978; В.В. Марков, 1981** с использованием модельной кинетики химического взаимодействия, предложенной в работе **В.П. Коробейникова, Р.А. Перина 1969**

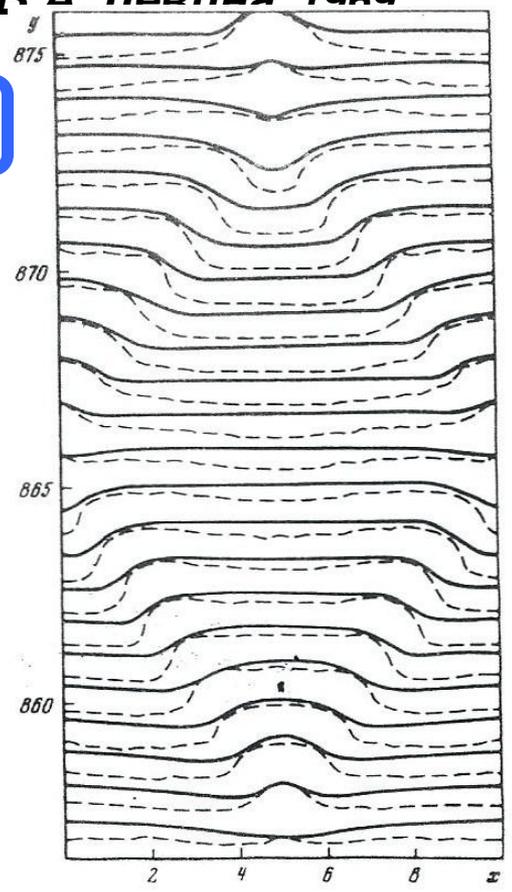
Марков В.В., 1981

схем

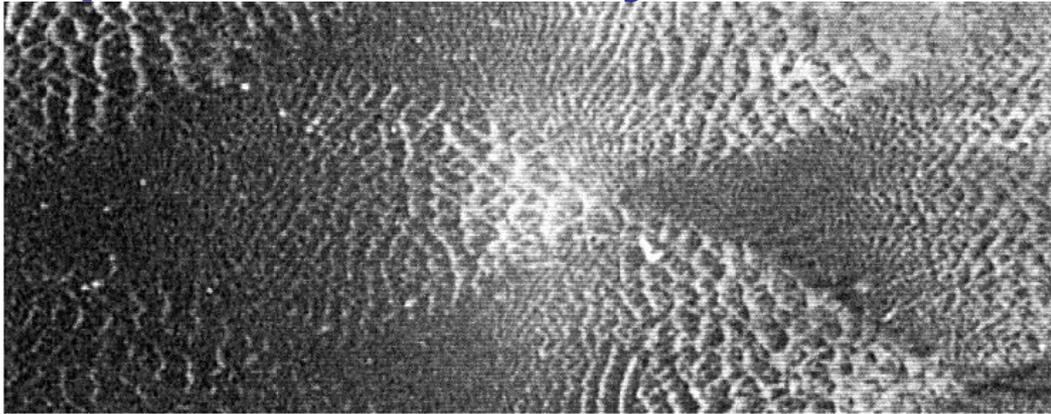
а



1 – детонационный фронт; 2 – фронт горения; 3 – ударный фронт; 4 – поперечная волна; 5 – зона индукции; 6 – продукты горения; 7 – след, наблюдаемый в эксперименте

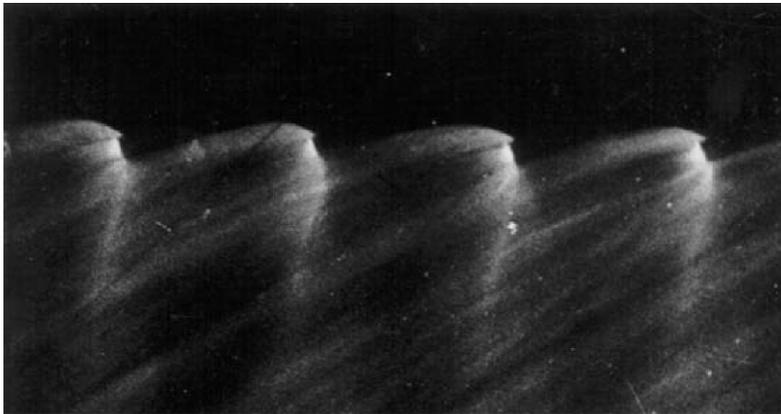


У некоторых горючих смесей обнаружена нетрадиционная двухмасштабная ячеистая структура

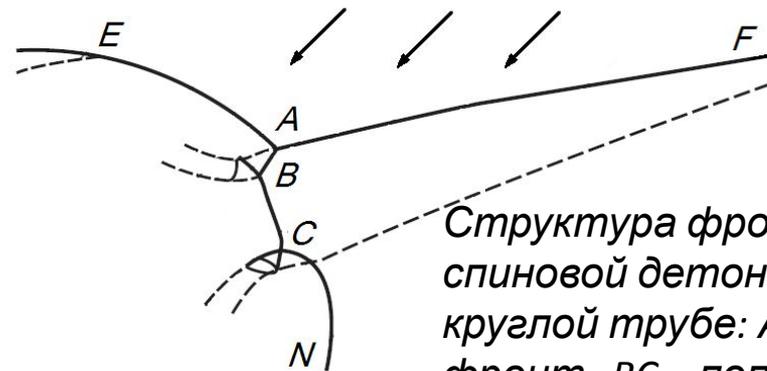


Смесь $H_2 - NO_2/N_2O_4$: на следовом отпечатке видны два характерных размера ячейки (Joubert F., Desbordes D., Presles H.-N., 2003)

В круглых трубах в условиях, близких к предельным, формируется спиновая детонация (Campbell & Woodhead, 1927, Campbell & Finch, 1928)

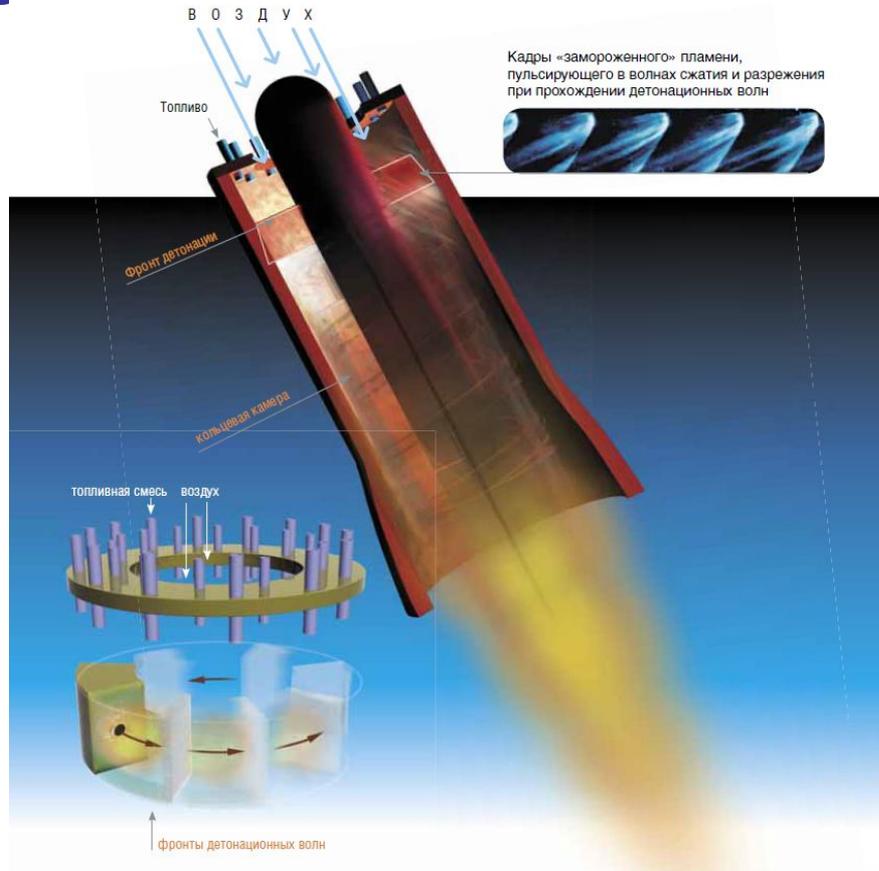


Свечение газа при спиновой детонации в смеси $2CO + O_2$ (Б.Е. Войцеховский, 1966)



Структура фронта спиновой детонации в круглой трубе: AF – ударный фронт, BC – поперечная волна, CN – шлейф, E – точка отделения фронта свечения от ударного фронта (Б.Е. Войцеховский, 1966)

Последнее время интерес к детонации обусловлен желанием использовать детонационное горение в различных энергетических установках



*Модель камеры сгорания
детонационного двигателя (из
статьи Быковского Ф.А., Ждана С.А.,
Ведерникова Е.Ф.)*

***Несмотря на огромный прогресс в изучении
детонационного горения газов, осталось еще
очень много нерешенный интереснейших задач!***