

Теплофизика и физическая гидродинамика - 2016
Ялта, Крым, 19-25 сентября

Моделирование разрушения жидкого кубика методом SPH

Давыдов М.Н.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

SPH — бессеточный лагранжевый численный метод.

Основные области применения:

- Высокоскоростное соударение.
- Интенсивное динамическое нагружение.
- Существенное изменение топологии (разлет, перемешивание).
- Сильные деформации границ расчетной области.
- Изменение связности и «перехлест» расчетных областей.

Аппроксимация функций и производных ядром (kernel)

Функция $f(r)$ известна в N точках области Ω . $i = 1, 2, \dots, N$.

$r_i = (x_1, \dots, x_D)$. D — размерность пространства.

W — сглаживающее ядро (h — длина сглаживания).

$$\int_{\Omega} W(r - r', h) dr' = 1, \quad \lim_{h \rightarrow 0} W(r - r', h) = \delta(r - r')$$

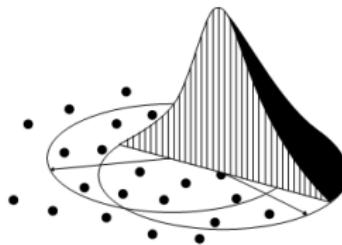
$$\langle f(r) \rangle = \int_{\Omega} f(r') W(r - r', h) dr'$$

$$\langle \nabla f(r) \rangle = - \int_{\Omega} f(r') \nabla W(r - r', h) dr'$$

Данная аппроксимация имеет порядок $O(h^2)$.¹

¹Monaghan J. J. "Smoothed particle hydrodynamics" (2005)

Аппроксимация частицами



С каждой частицей соотносится некоторый объем среды V_i массы m_i ($\rho_i = m_i/V_i$). Замена интеграла на сумму по частицам:

$$\langle f(r) \rangle = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{\rho_i} f(r_i) W(r - r_i, h)$$

$$\langle \nabla f(r) \rangle = - \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{\rho_i} f(r_i) \nabla W(r - r_i, h)$$

Физический смысл плотности:

$$\rho_i = \sum_{j=1}^N m_j W(\bar{r}_i - \bar{r}_j, h)$$

Основные уравнения

Физический смысл плотности:

$$\rho_i = \sum_{j=1}^N m_j W(\bar{r}_i - \bar{r}_j, h)$$

Уравнение импульсов:

$$\frac{d\bar{v}_i}{dt} = - \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{p_i}{\rho_i^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} + \Pi_{ij} \right) \nabla W(\bar{r}_i - \bar{r}_j, h)$$

Основные уравнения

Физический смысл плотности:

$$\rho_i = \sum_{j=1}^N m_j W(\bar{r}_i - \bar{r}_j, h)$$

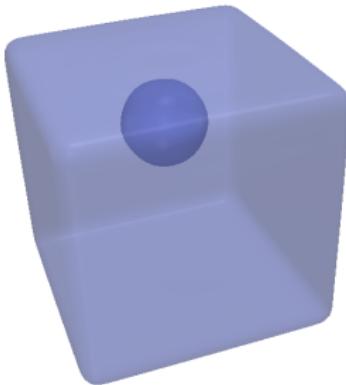
Уравнение импульсов:

$$\frac{d\bar{v}_i}{dt} = - \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{p_i}{\rho_i^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} + \Pi_{ij} \right) \nabla W(\bar{r}_i - \bar{r}_j, h)$$

Уравнение состояния:

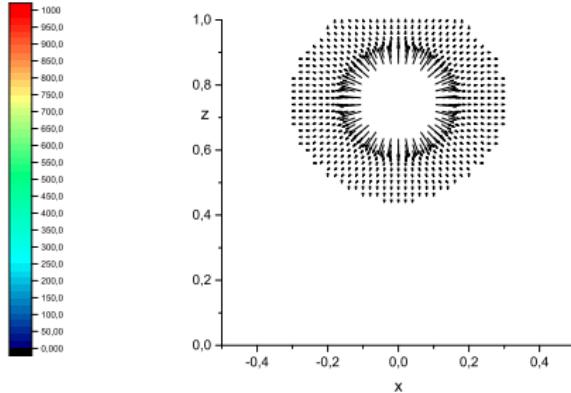
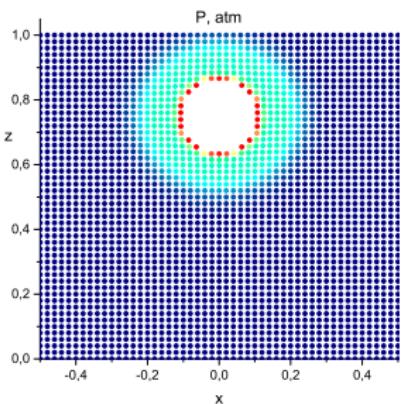
$$p = p_0 + \frac{c_0^2 \rho_0}{n} \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right]$$

Постановка задачи

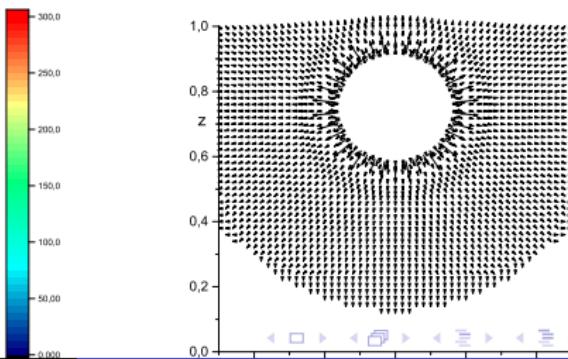
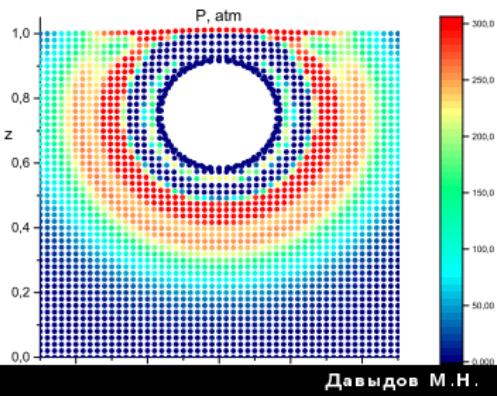
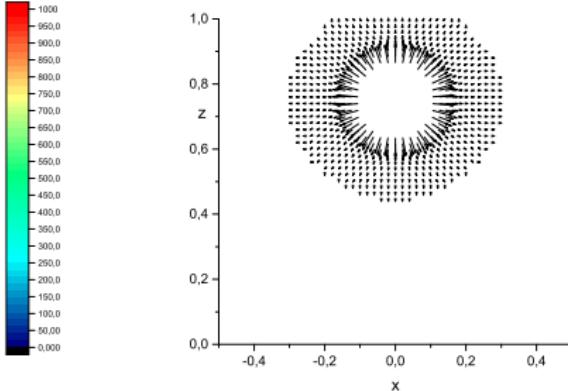
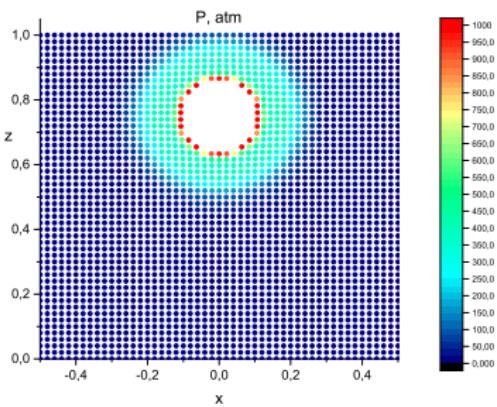


- Давление в кубе — $p_0 = 1$ атм.
- Давление в полости — $p = 10000$ атм.
- Сторона куба 1 см.
- Диаметр полости — 2 мм.

Центральное сечение кубика (1 и 3 мкс)



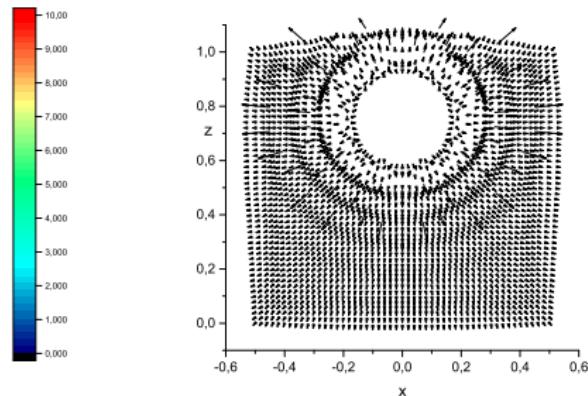
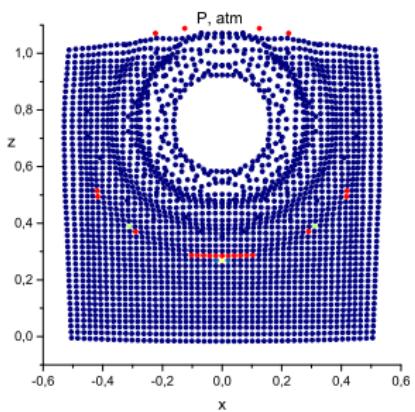
Центральное сечение кубика (1 и 3 мкс)



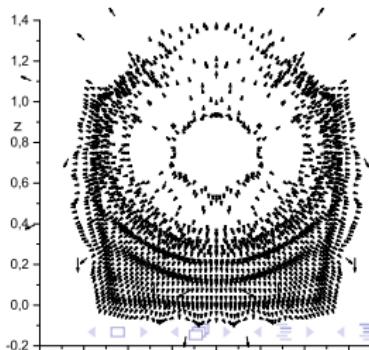
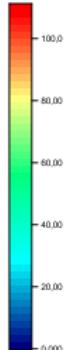
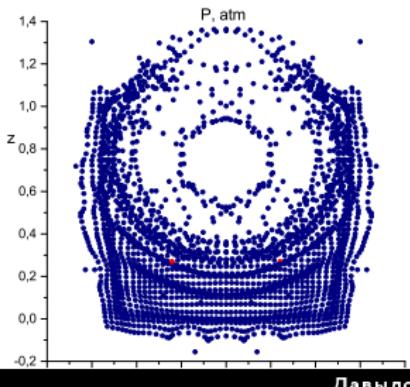
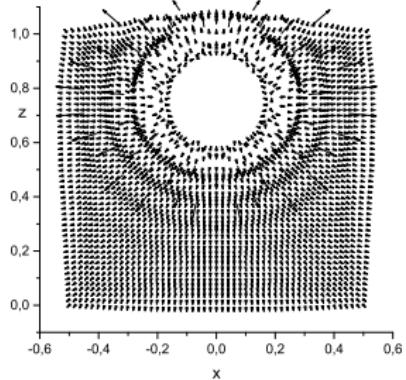
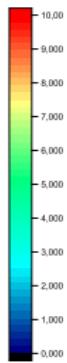
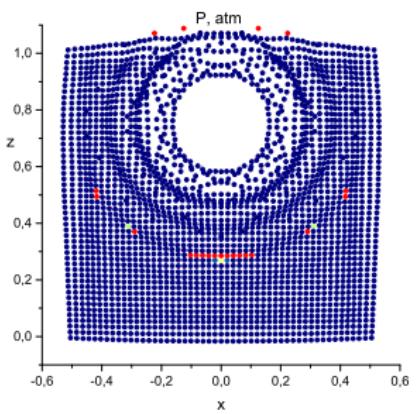
Давыдов М.Н.

Моделирование разрушения жидкого кубика методом SPH

Центральное сечение кубика (25 и 300 мкс)



Центральное сечение кубика (25 и 300 мкс)

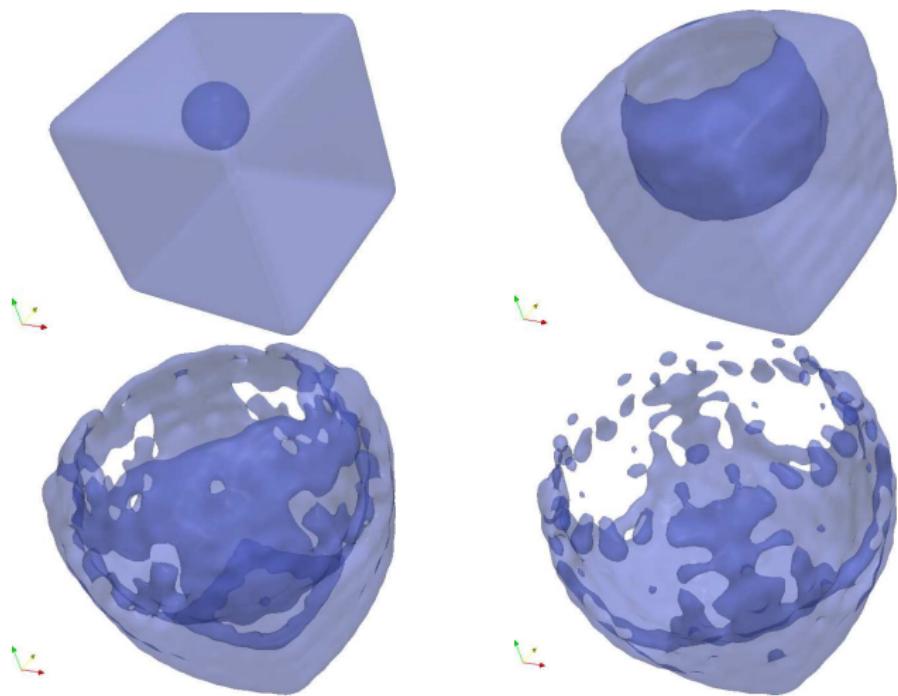


Давыдов М.Н.

Моделирование разрушения жидкого кубика методом SPH

Изоповерхность плотности ($\rho = 0.55 \text{ г/см}^3$)

Моменты времени 0, 3, 7.5 и 10 мс



Благодарю за
внимание!