

Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт
системных исследований РАН

Аэрокосмические исследования

Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф.

Эволюция космического мусора

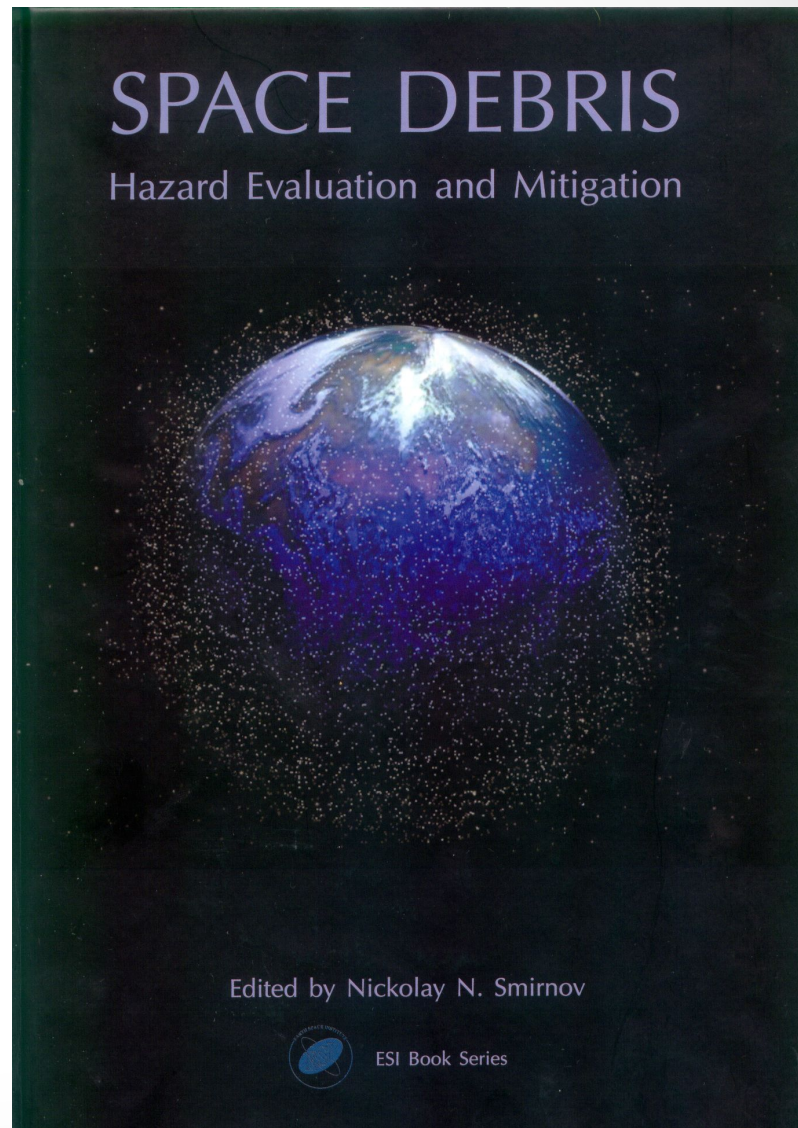
1957 -

~~метастабильной~~ ~~переходы~~ -
образование ~~переходы~~ -
сферического слоя «космического мусора» на низких околоземных орбитах, уже представляющего значительную угрозу для пилотируемых полетов.

Эволюция космического мусора определяется его

а) постепенным
вымыванием при
взаимодействии с верхней
атмосферой и

б) производством в
результате космической
деятельности.



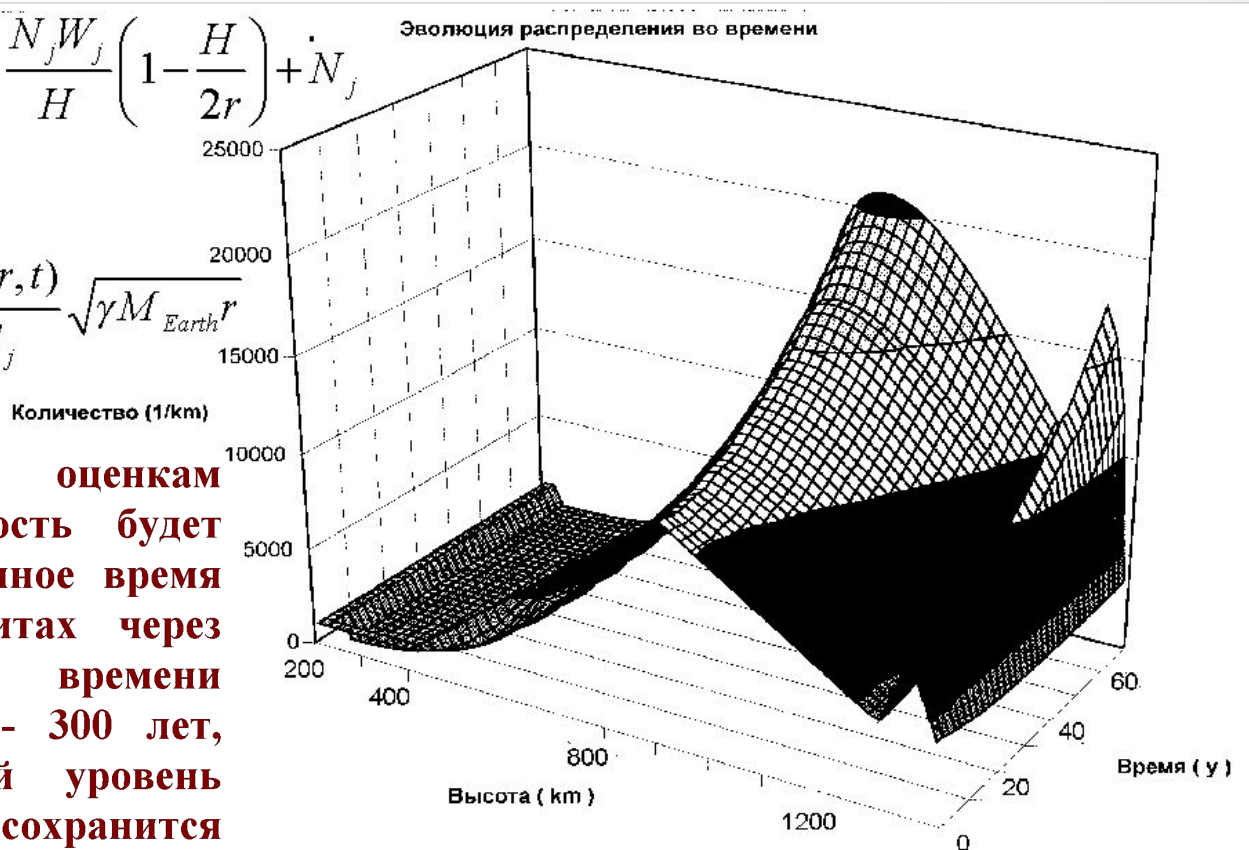
Долгосрочный прогноз заселенности околоземных орбит

Выход из данного метастабильного состояния возможен при достижении сверхкритической плотности, при которой начнется неконтролируемый цепной процесс саморазмножения мусора в результате взаимных столкновений частиц на орбитах.

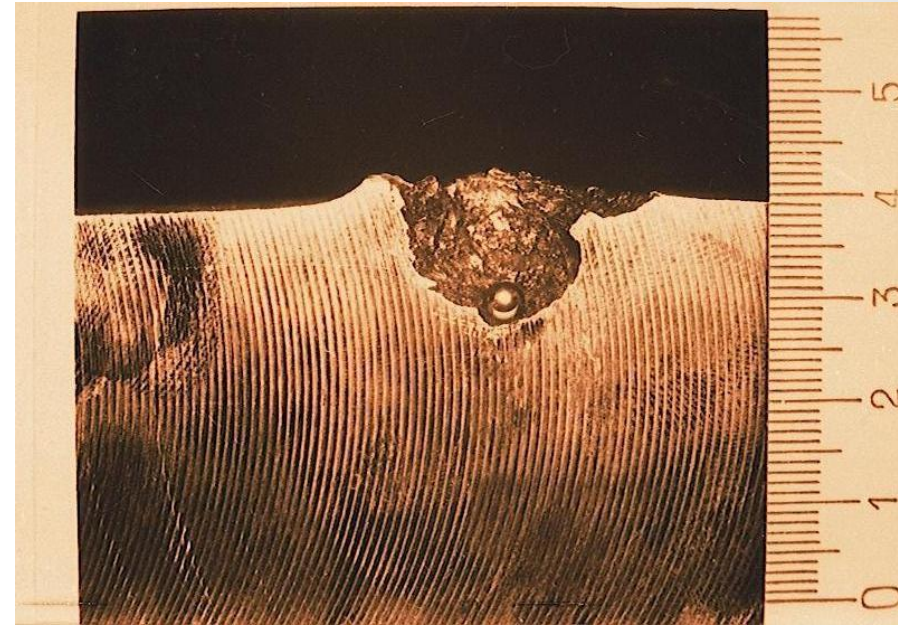
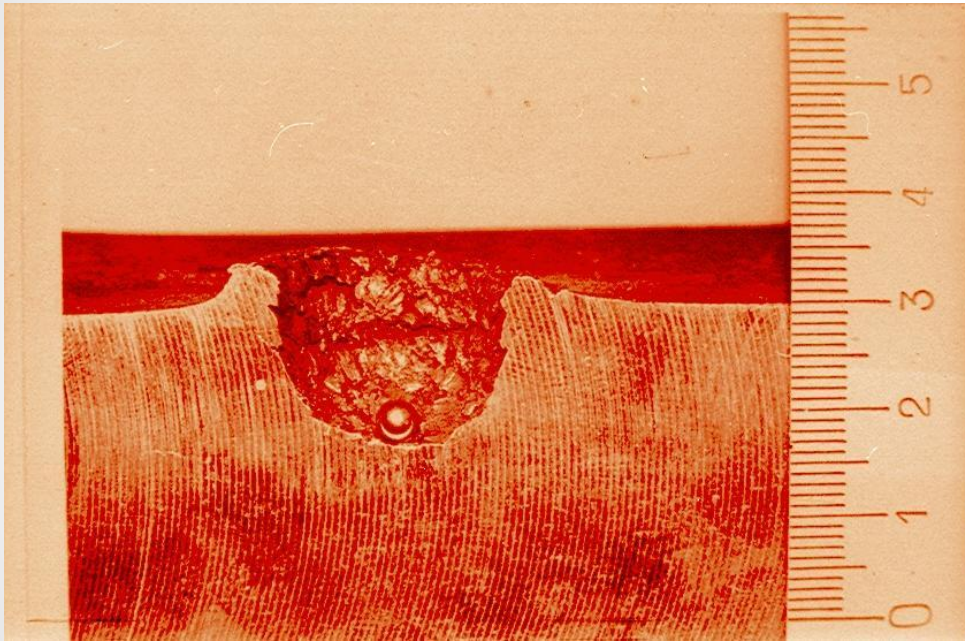
$$\frac{\partial N_j}{\partial t} = -W_j \frac{\partial N_j}{\partial r} + \frac{N_j W_j}{H} \left(1 - \frac{H}{2r} \right) + \dot{N}_j$$

$$\dot{r} = W_j = - \frac{3 c_f^j \rho_a(r, t)}{2 \rho_j d_j} \sqrt{\gamma M_{Earth} r}$$

По нашим оценкам критическая плотность будет достигнута в различное время на различных орбитах через промежуток времени составляющий 200 - 300 лет, если существующий уровень производства мусора сохранится неизменным.

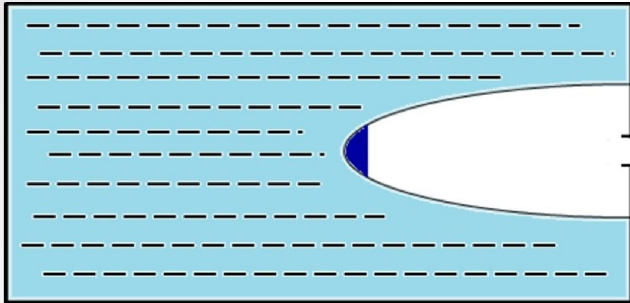


Защита от высокоскоростных осколков (скорости 8 – 10 км/сек)



- Кратер в результате соударения стального шарика со стальной мишенью.

Перфорация осколком контейнера, наполненного жидкостью

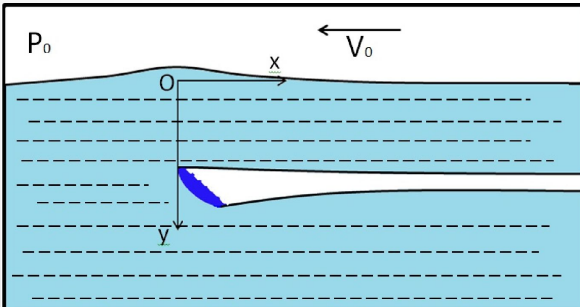


$$v_{rel} = v_{rel}^0 \exp\left(-\frac{3}{8} C_d \frac{\rho}{\rho_c} \frac{x}{r_0}\right)$$



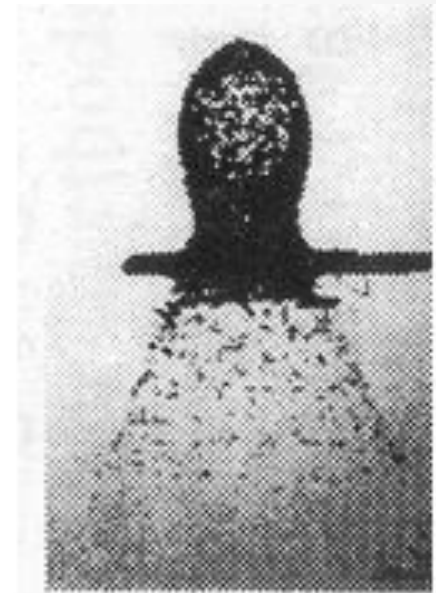
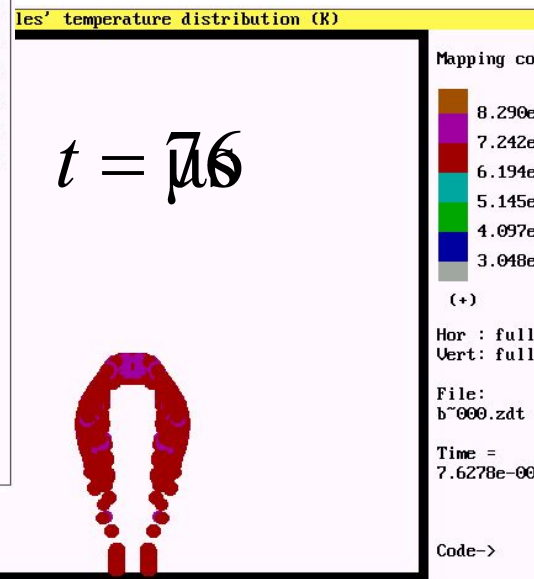
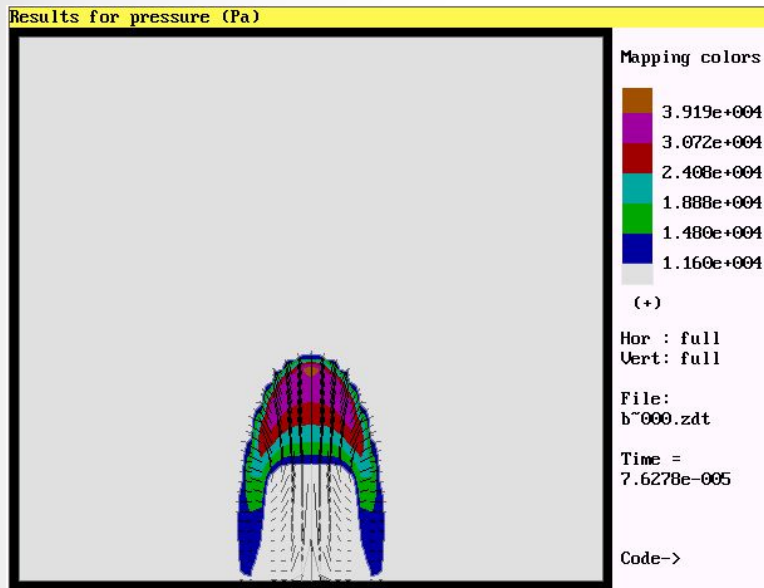
(а) Передняя стенка

(б) Задняя стенка



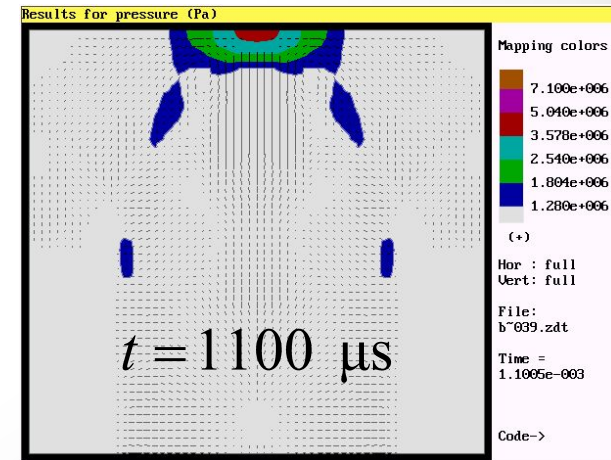
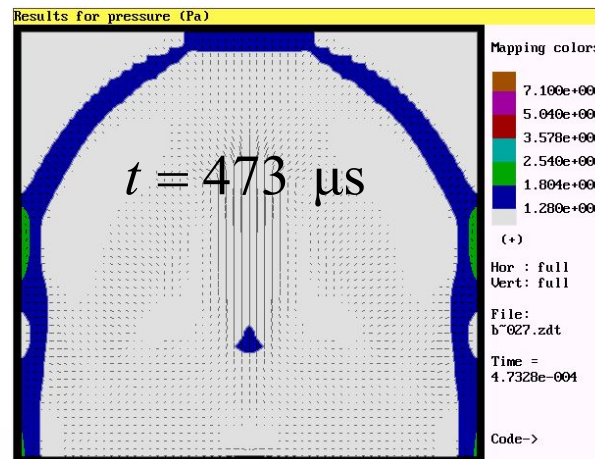
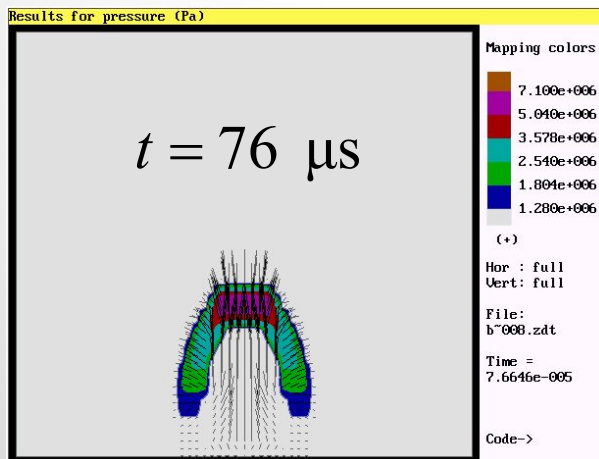
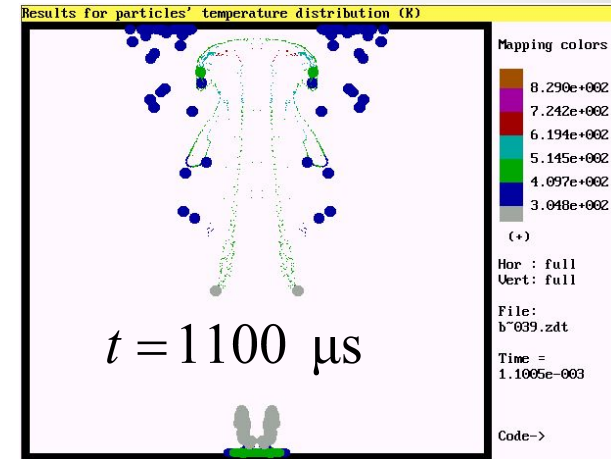
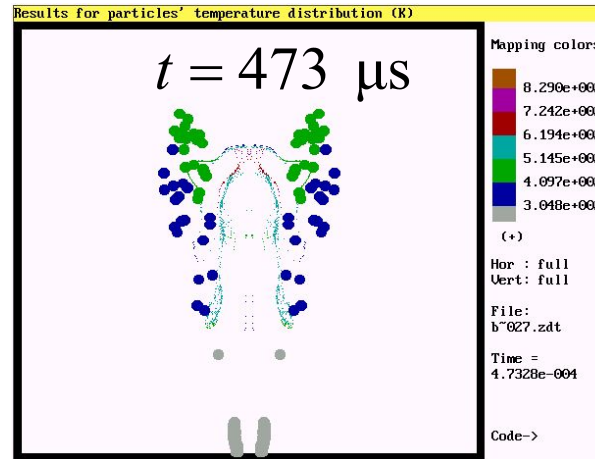
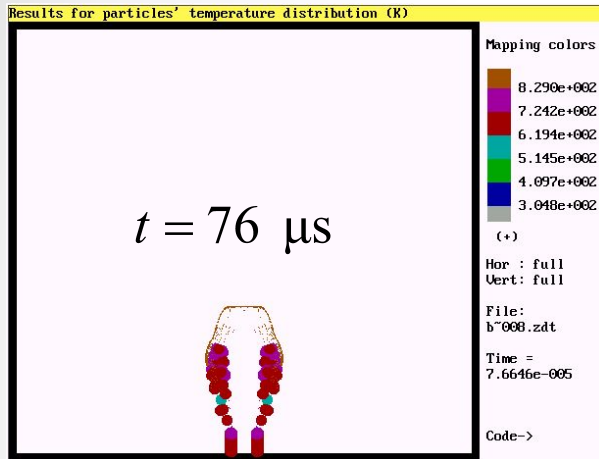
$$\Theta = \frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} e^{-\frac{B}{m} 2x} = \frac{mV_0^2}{2} \left(1 - e^{-\frac{3}{8} C_d \frac{\rho}{\rho_c} \frac{x}{r_0} (1 - \exp \frac{h}{L})} \right)$$

Взаимодействие облака фрагментов с газонаполненным контейнером



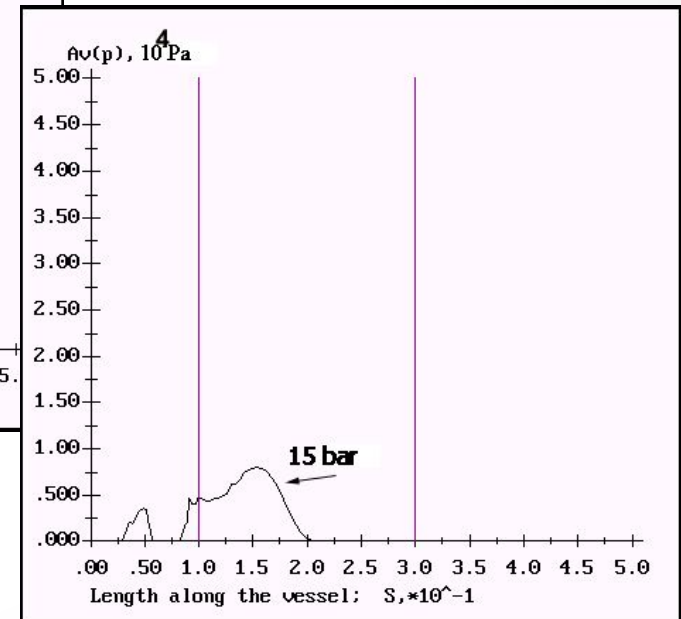
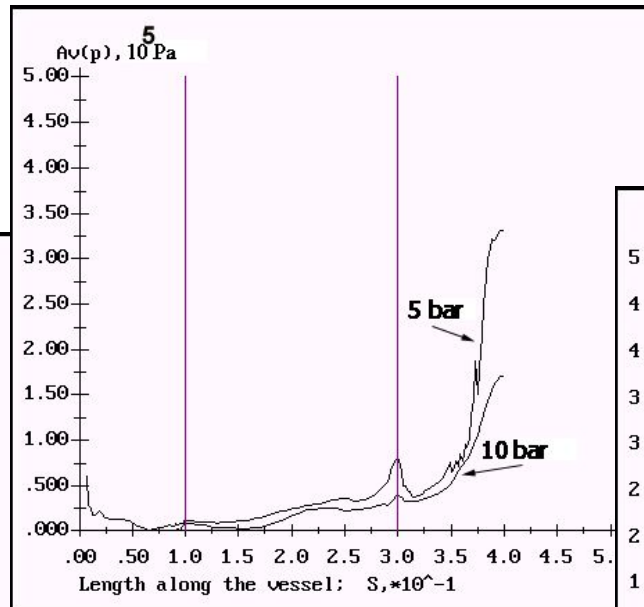
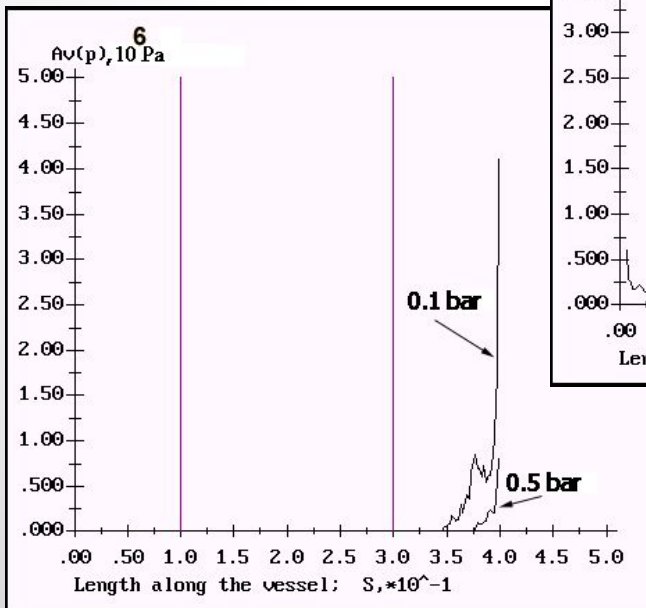
- Удар 5 mm частицы со скоростью 5 km/s в дно цилиндрического контейнера радиусом 0.1 m и высотой 0.2 m, толщина стенок 2 mm. .

Взаимодействие облака фрагментов с газонаполненным контейнером (давление 1 bar)

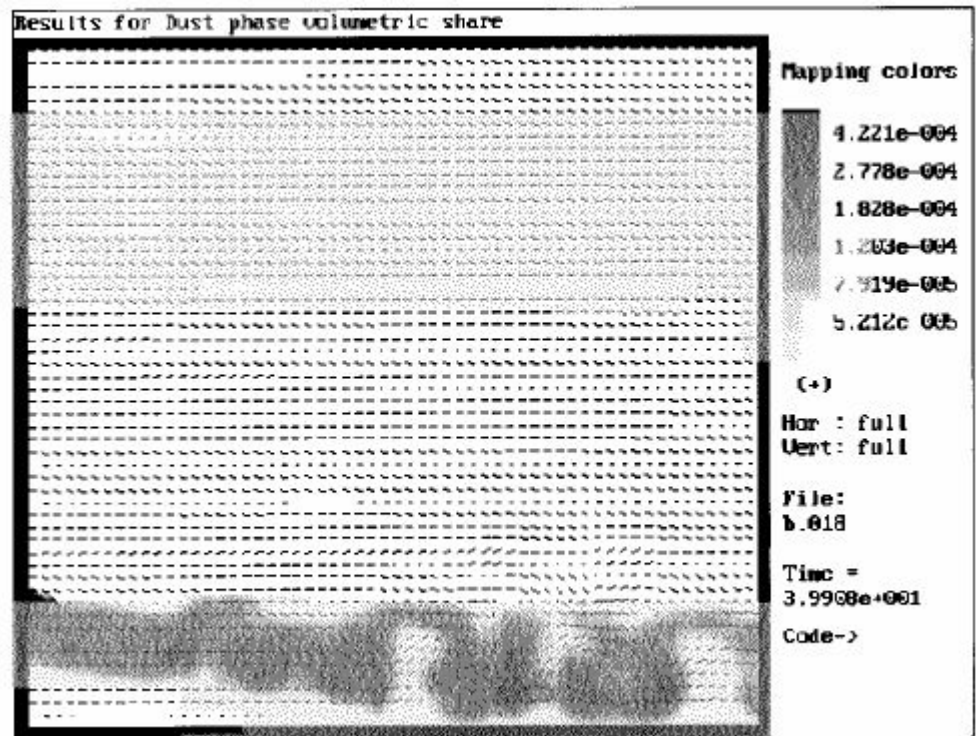
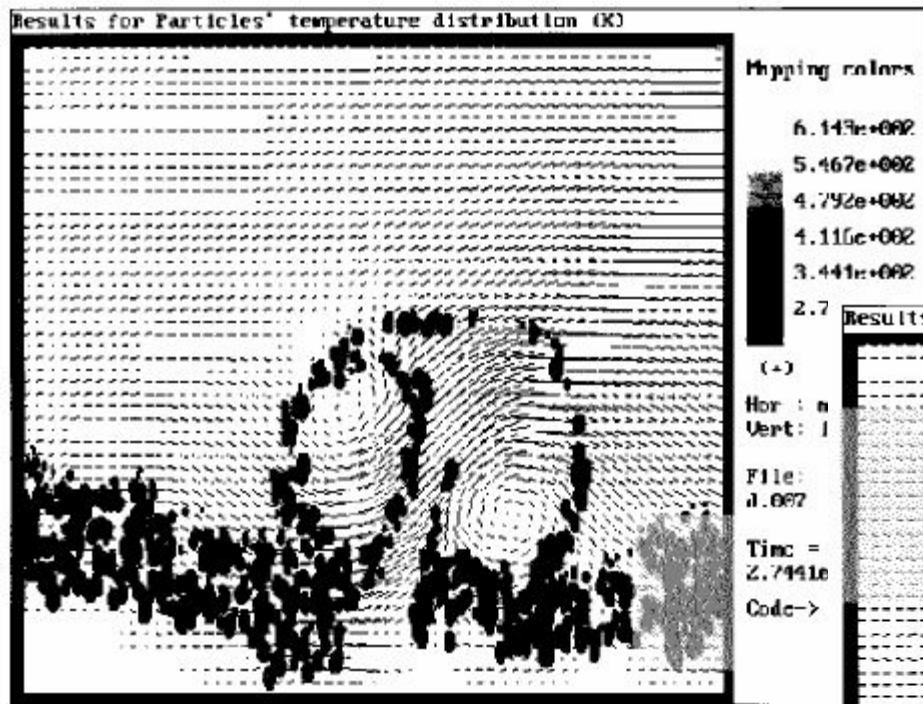


Нагружение внутренних стенок

$$Av(p) = p - p_0 + \sum_{i=1}^{N(\tau_*)} m_i V_i \bar{n} / \tau_* \quad \tau_* = \frac{2h}{c_s}; \quad c_s = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)\rho_{s0}}}$$



Взаимодействие облака фрагментов с газонаполненным контейнером



Brussels Capital Region,
Solvay