

**УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И УДАРНАЯ АДИАБАТА СРЕДЫ ИЗ
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НА РАССТОЯНИИ МОЛЕКУЛ**

Анисичкин В.Ф. , Прууэл Э.Р.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

**EQUATION OF STATE AND HUGONIOT OF MATTER WITH
DISTANCE INTERACTING MOLECULES**

ANISICHKIN V.F., PRUUEL E.R.

M.A. LAVRENTYEV INSTITUTE OF HYDRODYNAMICS SB RAS

К УРАВНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЫ

TO THE EQUATION OF STATE OF CONDENSED MATTER

$$p(V, T) = p_p(V) + p_h(V, T) + p_e(V, T). \quad (1)$$

("main stream" – широкодиапазонность, уточнение-усложнение
Не всегда необходимо, часто усложняет расчеты)

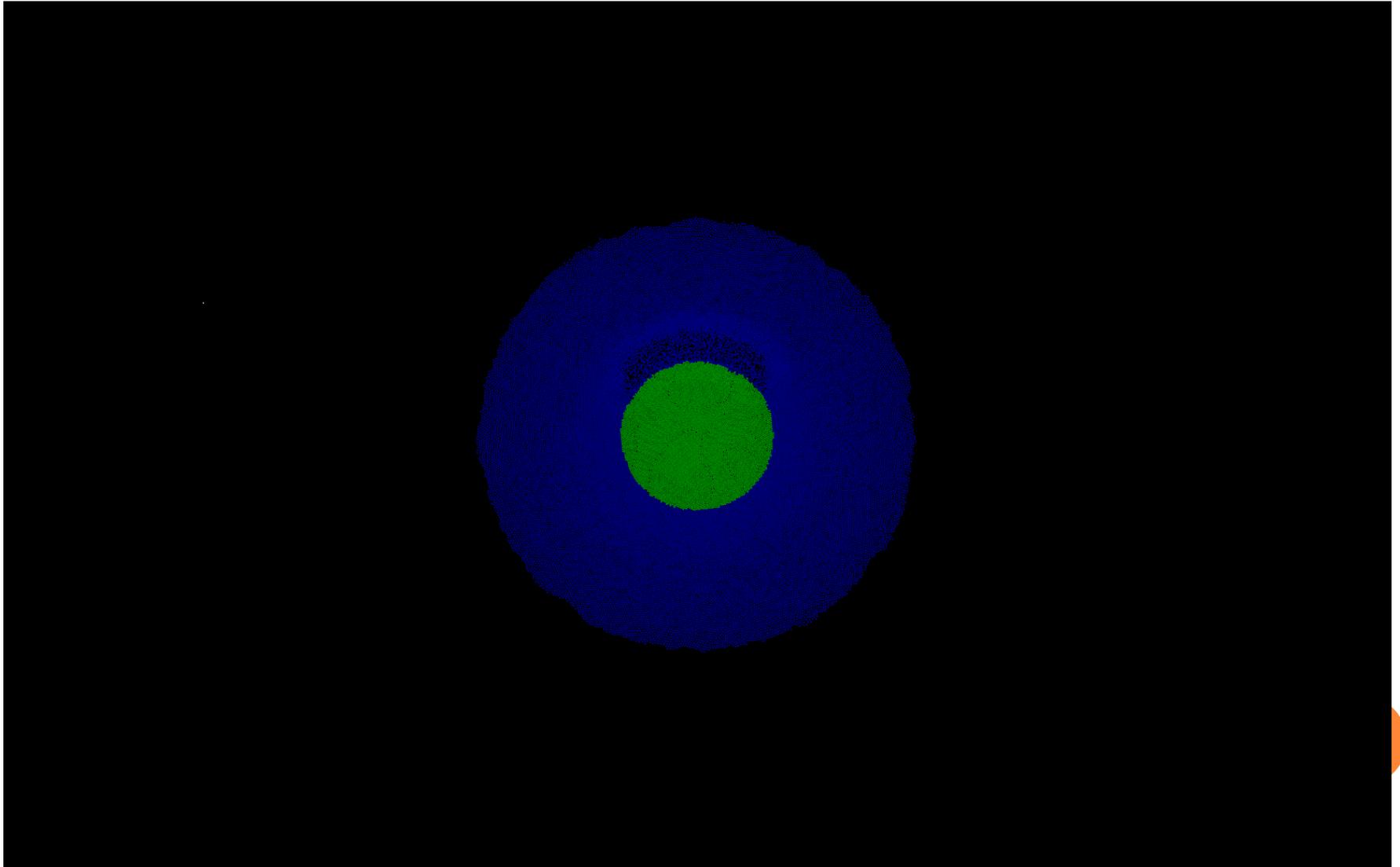
V – объем, p – давление, T – температура,

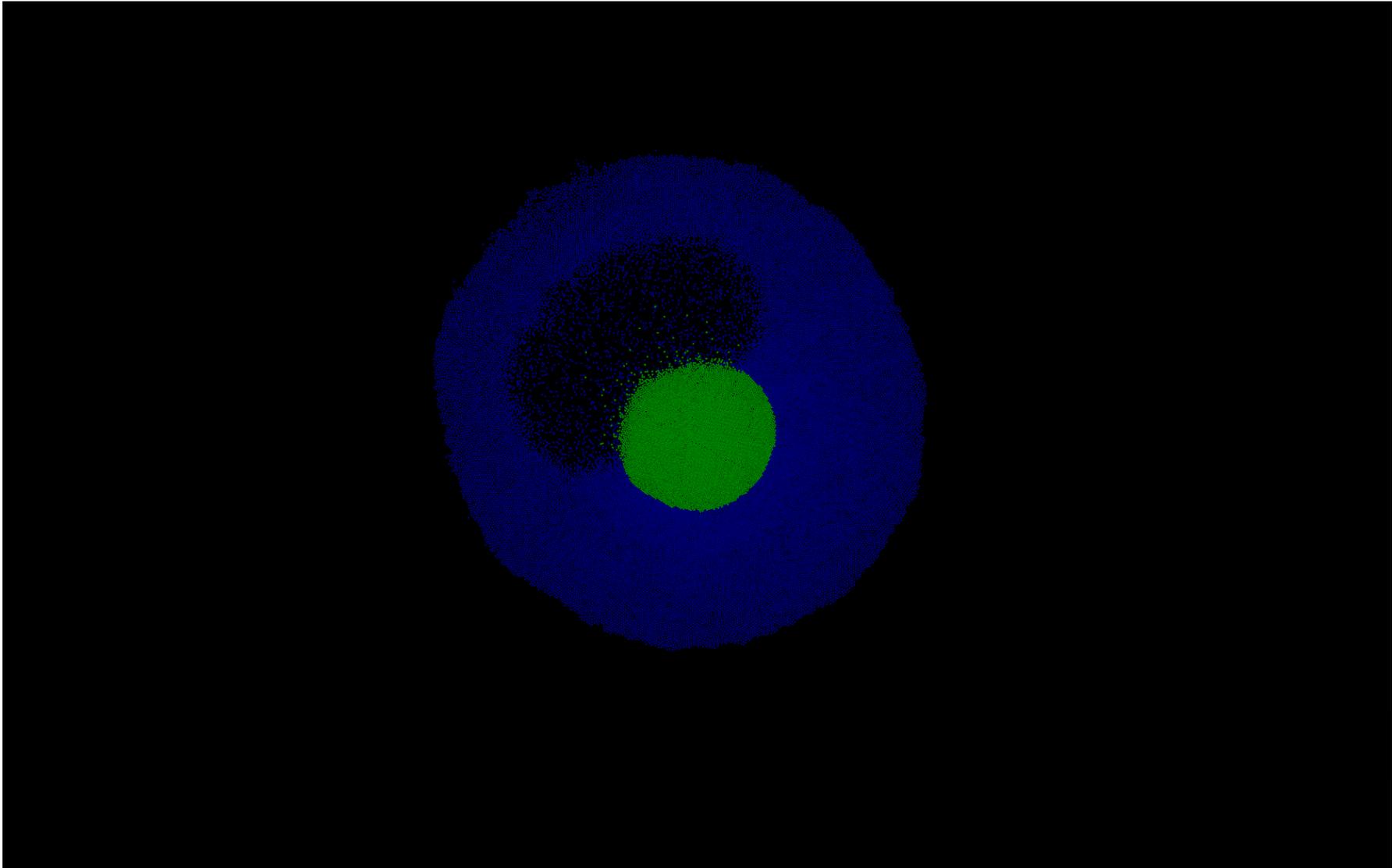
$$p(V, T) = p_p(V) + p_h(V, T). \quad (2)$$

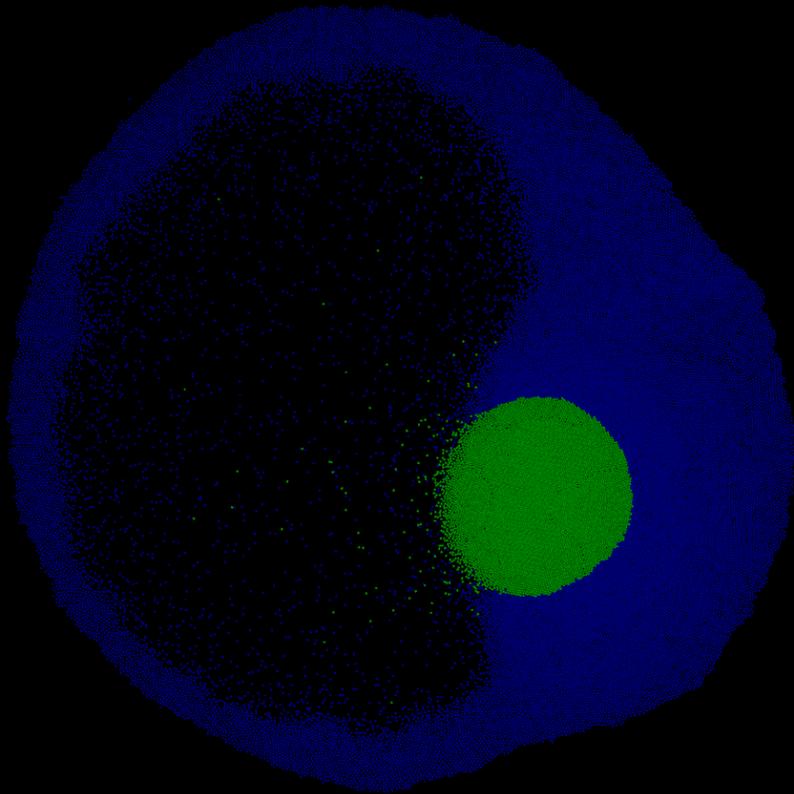
(упрощение - шаг назад, но шаг вперед в приложениях, сварка, синтез, взрыв?)

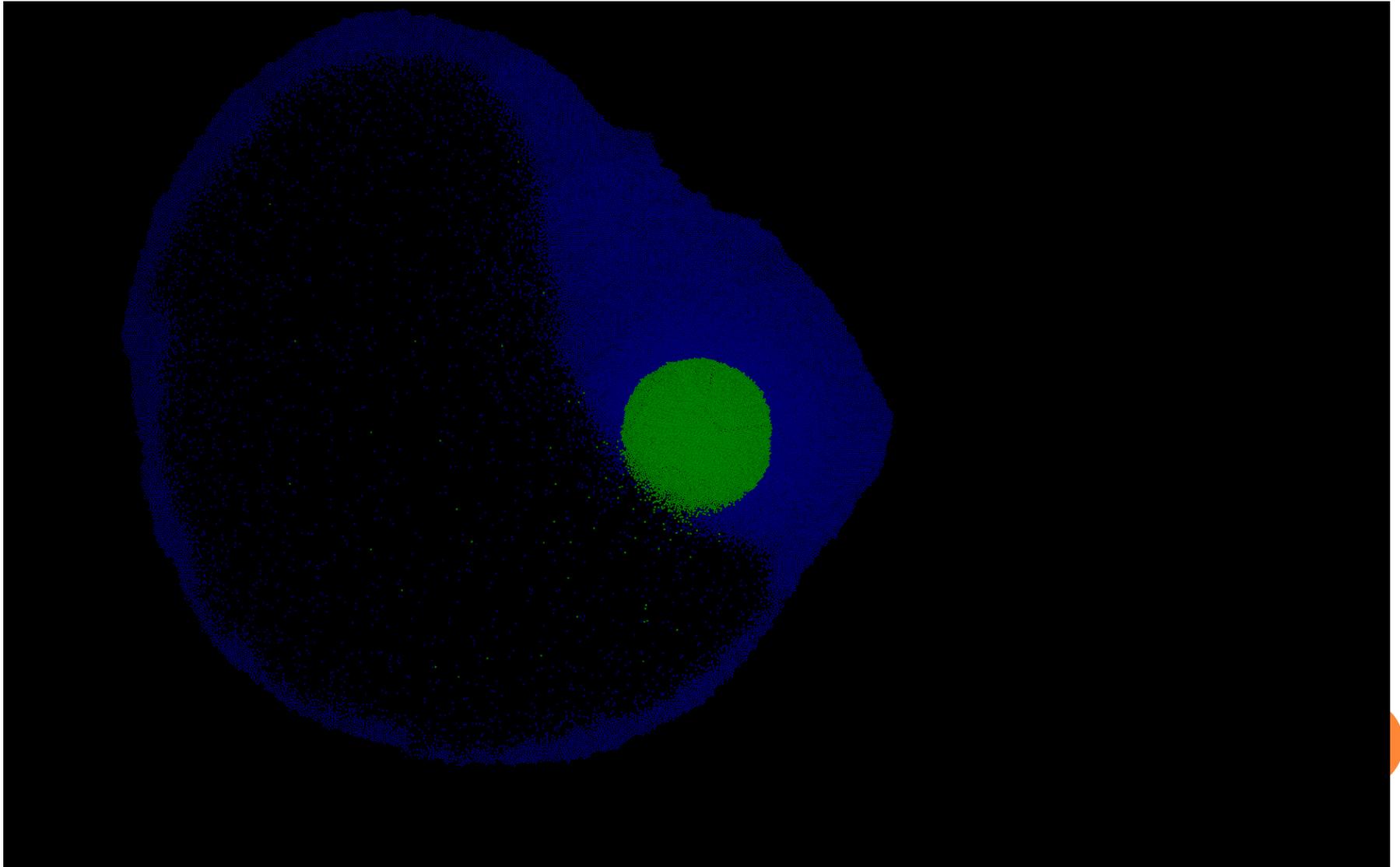
ВЗРЫВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ЯДРА ПЛАНЕТЫ EXPLOSION ON THE SURFACE OF SOLID PLANETS NUCLEUS

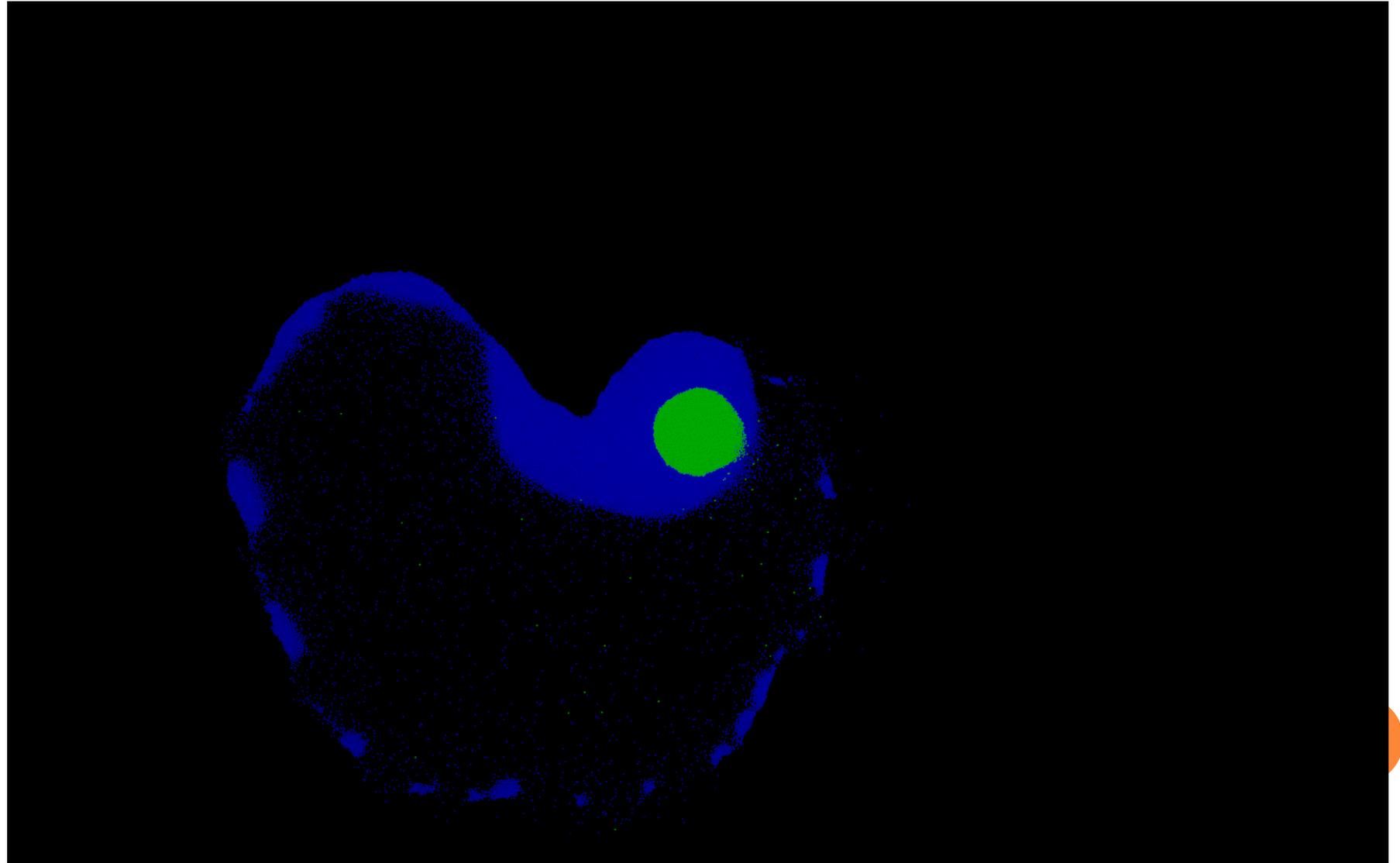
(образование спутника)

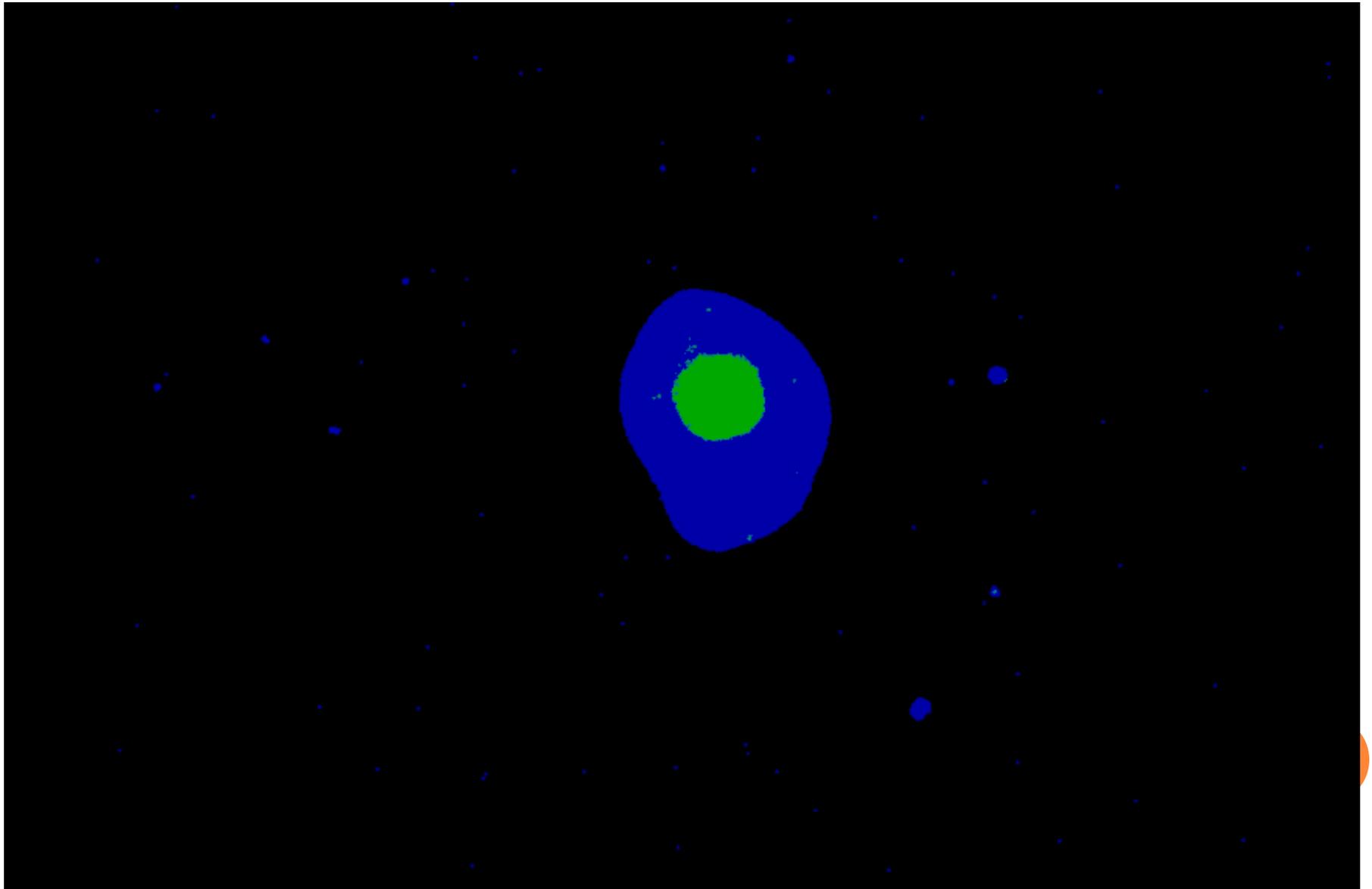








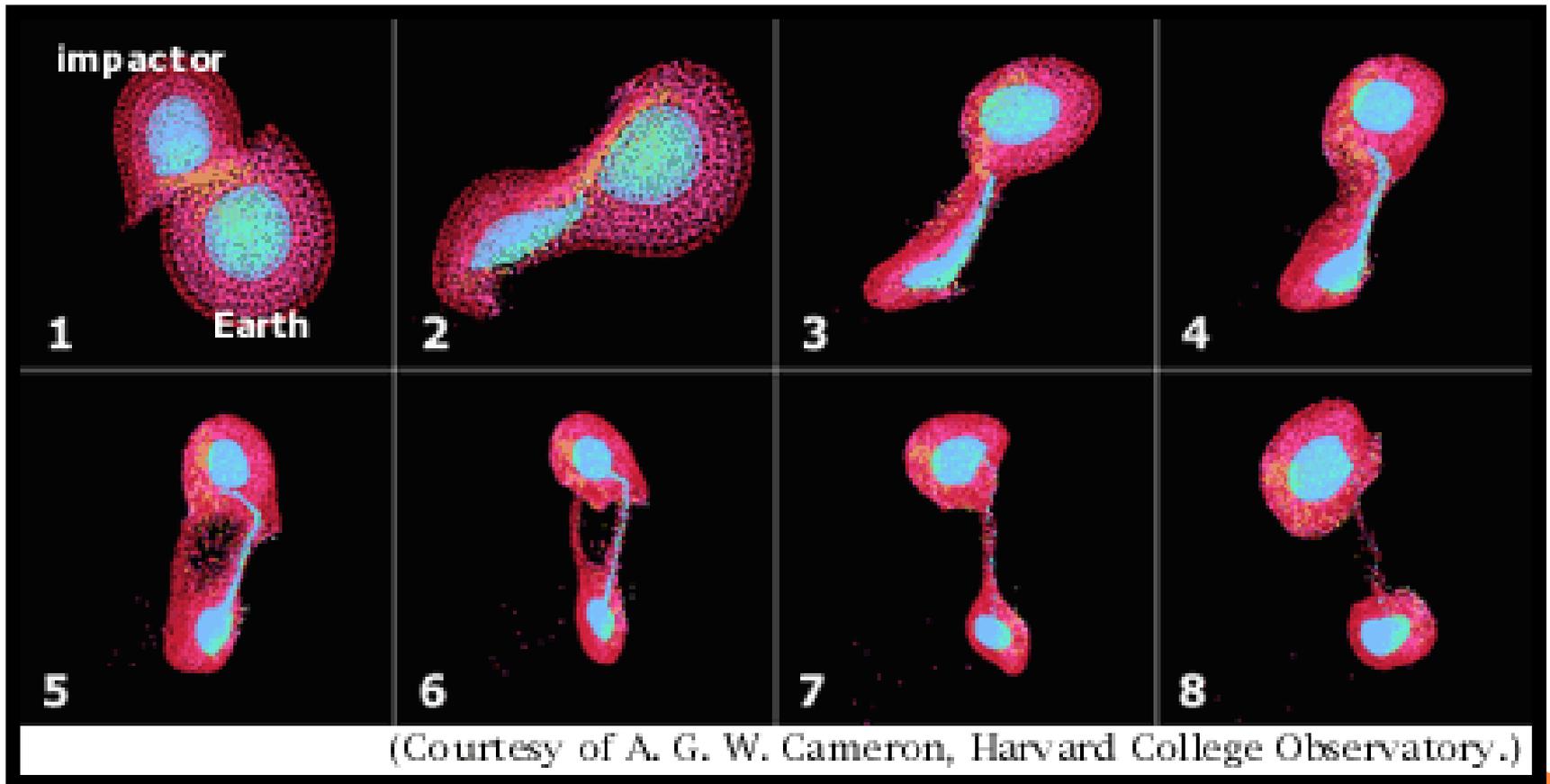






Коаккреция? «Мегаимпакт»???

“Megaimpact”???



(но получается в спутнике много железа и разный изотопный состав)



(мало железа, изотопная идентичность, сходство распределения с яд. взрывом)

АРГУМЕНТЫ

ARGUMENTS

Элементный и изотопный состав

Геонейтрино KamLAND Borexino

Оксиды, карбиды не растворяются оседают в
расплаве железа при высоких p , T

Изменения магнитного поля, климата

Происхождение спутников других планет

ДВУЧЛЕННОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЫ

TWO PARTS EQUATION OF STATE OF CONDENSED MATTER

(строим УрС в виде)

$$p(V, T) = p_p(V) + p_h(V, T). \quad (1)$$

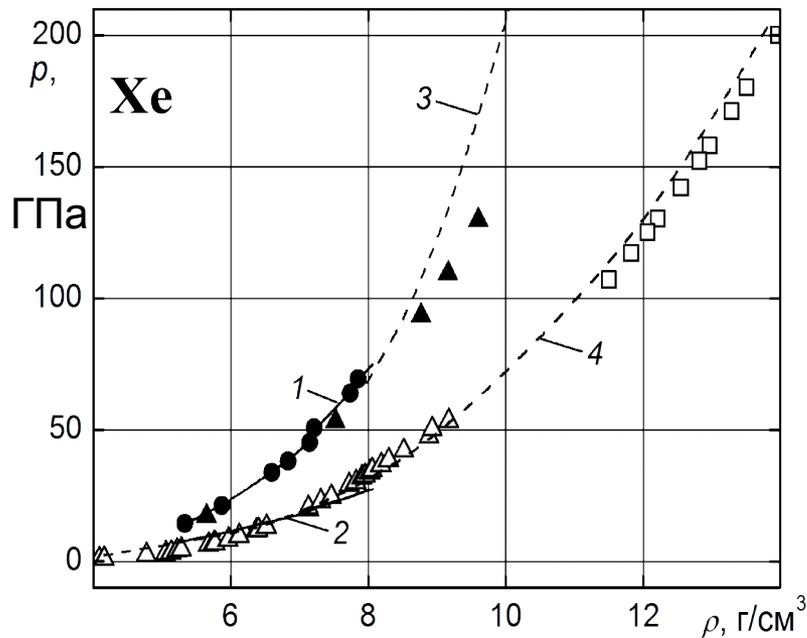
V – объем, p – давление, T – температура,

(но как найти эти составляющие?)

Из сравнения экспериментальных данных при не очень высоких давлениях):

$$p_h = p_p(V) \times (V_0/V) \quad (2)$$

СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ COMPARISON WITH EXPERIMENT

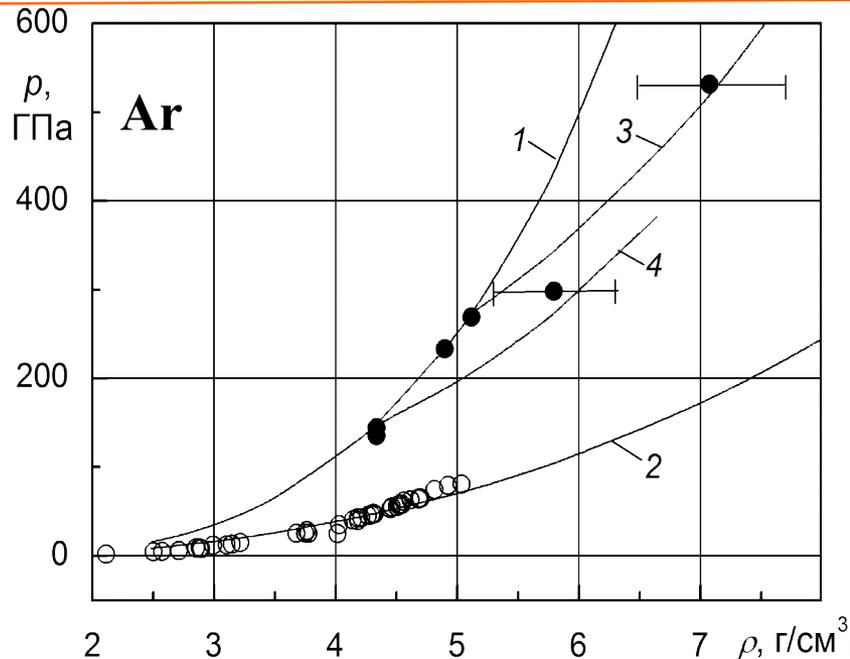


Ударная адиабата и изотермическая сжимаемость ксенона.

●, ▲ – ударная адиабата (Урлин, Nellis и др.)
 Δ, □ - низкотемпературные изотермы ксенона (Zisman, Goettel at al.)

1, 3 – расчет ударной адиабаты ксенона из кривой «холодного» сжатия 2, 4

по соотношению: $p_H = p_p \times (\rho/\rho_0)$.



Ударная адиабата, кривая «холодного» сжатия и отраженные ударные адиабаты аргона.

● - (Грязнов и др.), ○ – (Ross at al.); 1 – экстраполяция экспериментальной ударной адиабаты.

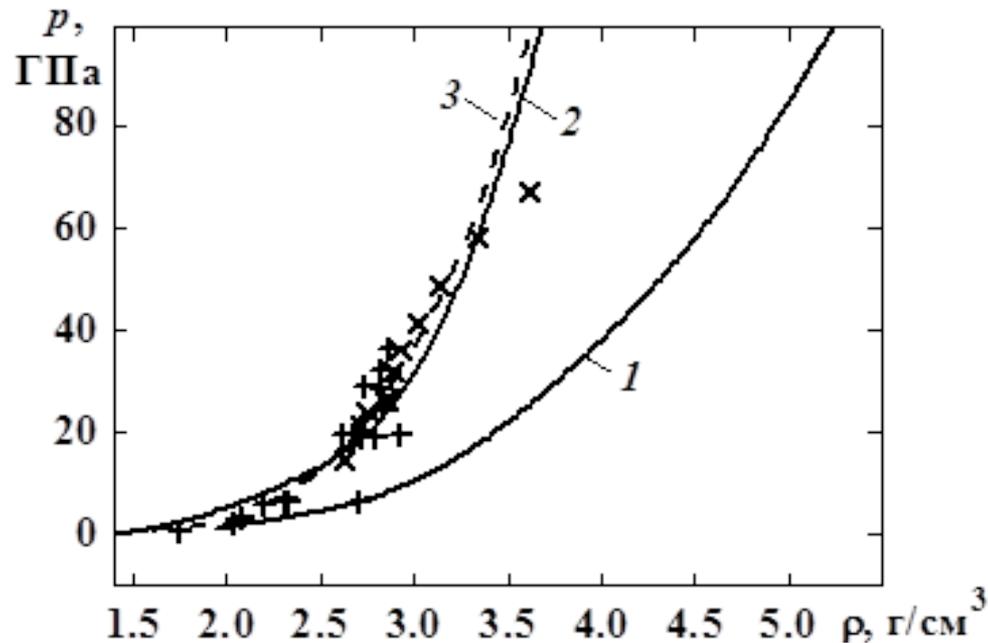
2 - кривая «холодного» сжатия аргона, рассчитанная из ударной адиабаты 1.

Отраженные ударные адиабаты аргона:

● – экспериментальные данные; 3 и 4 - расчет из ударной адиабаты 1 по соотношению:

$p_{отр.} = (p_p + p_{h1}) \times (\rho/\rho_1)$.

ПРОВЕРКА СООТНОШЕНИЯ $p_H = p_p \times (\rho/\rho_0)$ – ММД-МЕТОДОМ
PROBING OF $p_H = p_p \times (\rho/\rho_0)$. BY THE MMD-METHOD



1 – 0K изотерма*; 2 – расчет: $p_H = p_p \times (\rho/\rho_0)$.

3 – расчет p_H ММД; точки – эксперимент.

David A. Young, [Hyunchae Cynn](#), [Per Söderlind](#), and [Alexander Landa](#).
Zero-Kelvin Compression Isotherms of the Elements $1 \leq Z \leq 92$ to 100
Gpa. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 2016. V. 45. P
043101

МОДЕЛЬ СЖИМАЕМОГО КОВОЛЮМА MODEL OF THE COMPRESSIBLE COVOLUME

(*В. П. Копышев, А. Б. Медведев и др.*)

(как нати тепловую часть давления, температуру?)

$$V(p, T) - V_c(p) = RT/p \equiv V_{\text{ид.}}(p, T), \quad (1)$$

V – объем, p – давление, T – температура,

V_c – коволюм (собственный объем частиц).

$$p(V, T) = p_p(V) + p_h(V, T). \quad (2)$$

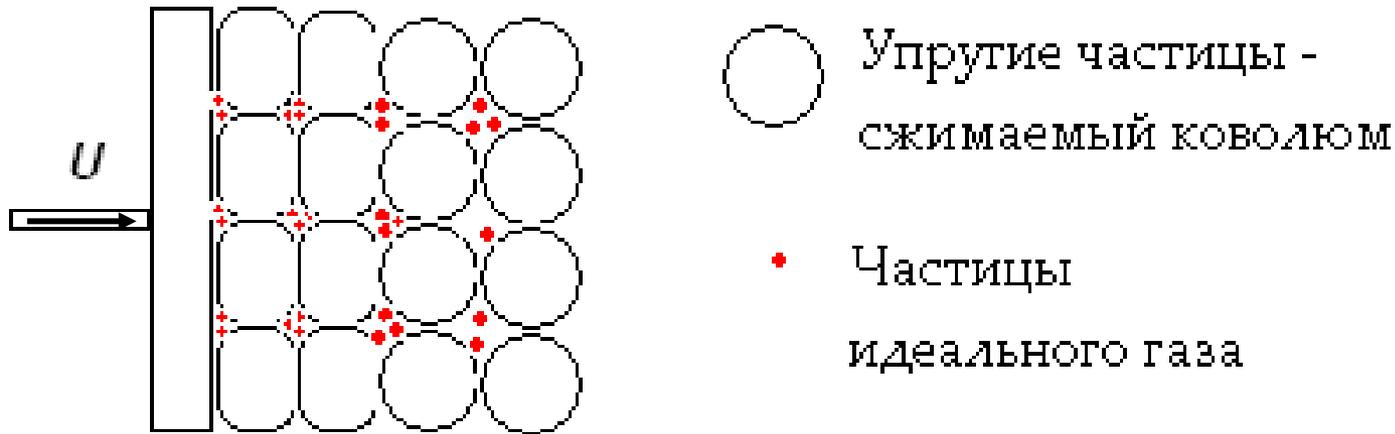
Сравнивая (1) и (2), будем искать уравнение состояния в виде суммы потенциального давления и теплового давления идеального газа, занимающего некоторый «свободный» объем V_F :

$$p(V, T) = p_p(V) + p_{\text{ид.}}(V_{\text{ид}}, T) \quad (3)$$

МОДЕЛЬ УДАРНОГО СЖАТИЯ СРЕДЫ

MODEL OF THE SHOCK WAVE COMPRESSION

(качественная интерпретация)



Если $D = U$ то: $p_h = \rho_0 U^2 \equiv p_{id}$. (4)

(Давление идеального многоатомного газа при ударном сжатии при $p_0 = 0$.)

Если $D > U$ то: $p_h = \rho_0 D U \equiv \rho_0 (D - U) U + \rho_0 U^2$ (5)

Сравнивая (4) и (5), получаем:

$p_h = p_p(\rho) + \rho_0 U^2$ или:

$p_h = p_p \times (\rho/\rho_0)$ (при $p_0 = 0$) (6)

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, АДИАБАТИЧЕСКОЕ
СЖАТИЕ, СКОРОСТЬ ЗВУКА
EQUATION OF STATE, TEMPERATURE, ADIABATIC COMPRESSION,
SOUND SPEED

$$p(V, T) = p_p(V) + \frac{RT}{V_i} \quad T = \frac{p_h V_i}{R} \quad \text{Уравнение состояния}$$

где выполняется условие $V_i = V - V_c$.

$$p_s = p_p + p_{h1} \frac{\rho}{\rho_1} \quad \text{Изоэнтропа}$$

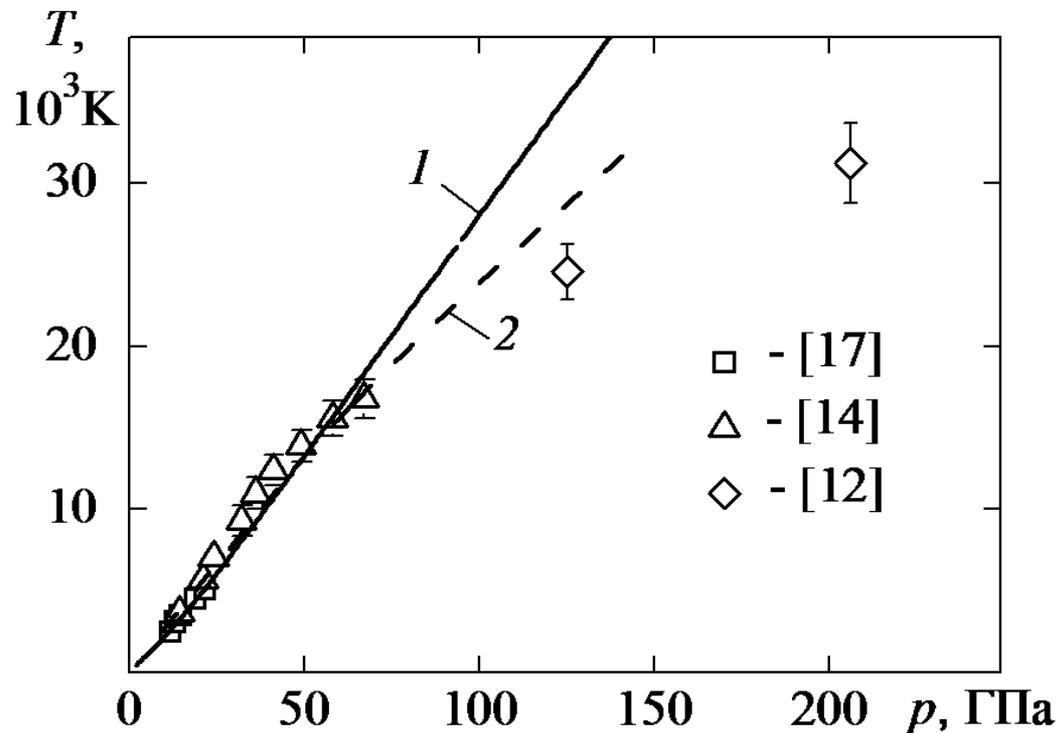
$$c_s^2 = \frac{dp_s}{d\rho} \quad \text{Скорость звука}$$

Для ударной адиабаты в виде: $D=A+BU$:

$$c_s^2 = (D - U)^2 \left[\frac{2(D - U)}{A} - 1 \right] \frac{\rho_1}{\rho_0} + \frac{p_h}{\rho}$$

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ В УДАРНО_СЖАТОМ ЖИДКОМ АРГОНЕ

CALCULATION OF TEMPERATURE BEHIND THE SHOCK FRON IN LIQUID ARGON

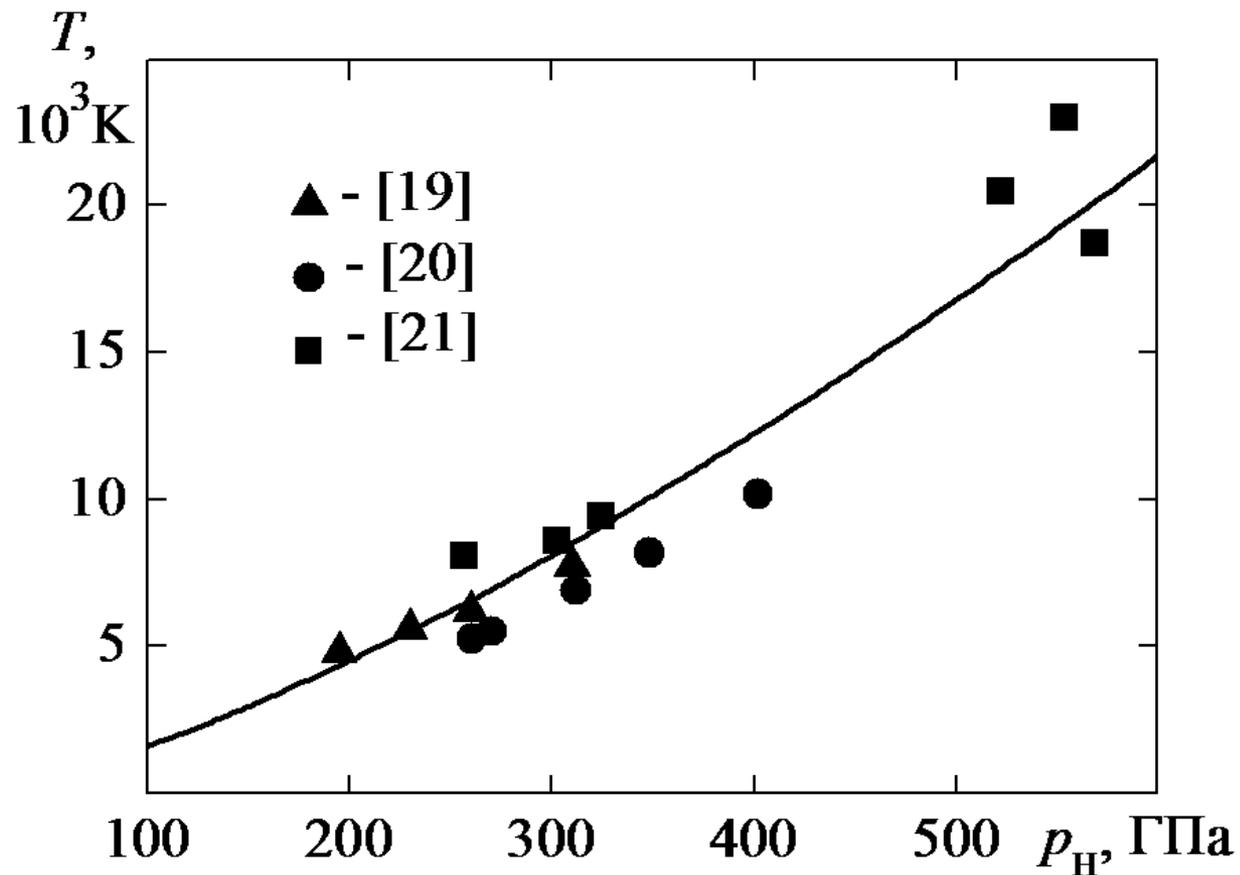


1 – наш расчет

(экранировка излучения при оптических измерениях)

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЖЕЛЕЗЕ ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

CALCULATION OF TEMPERATURE OF IRON BEHIND THE SW FRONT



ЗАКЛЮЧЕНИЕ CONCLUSION

○ Таким образом, успешная в построении уравнения состояния, апробированная идея о том, что тепловое движение плотной среды может моделироваться частицами идеального газа (*Копышев, Медведев*) модифицирована и применена в настоящей работе при анализе процессов ударного и адиабатического сжатия.

○ Вывод уравнения состояния не зависит от конкретных характеристик среды и поэтому результаты могут быть полезны, в частности, в приложениях при моделировании структуры и состава планет и ударно-волновых процессов в небесных телах.

END

