

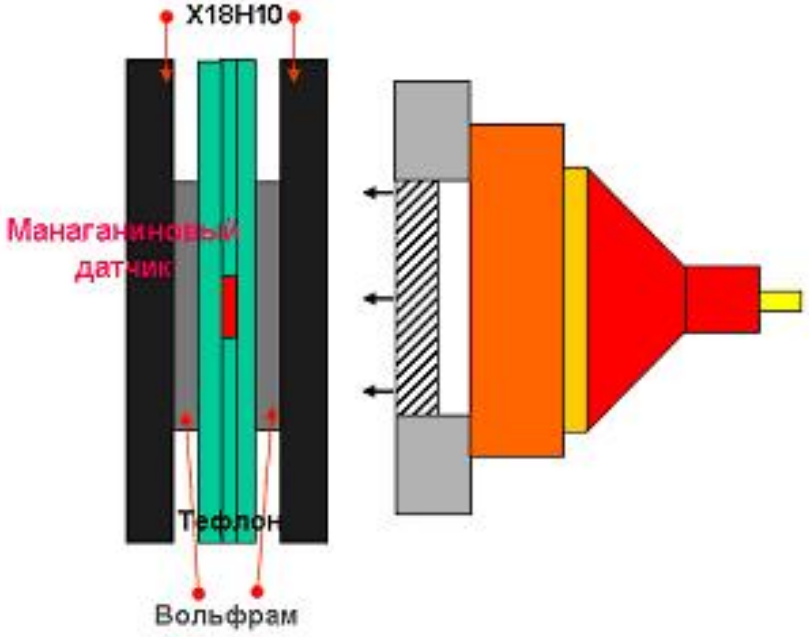
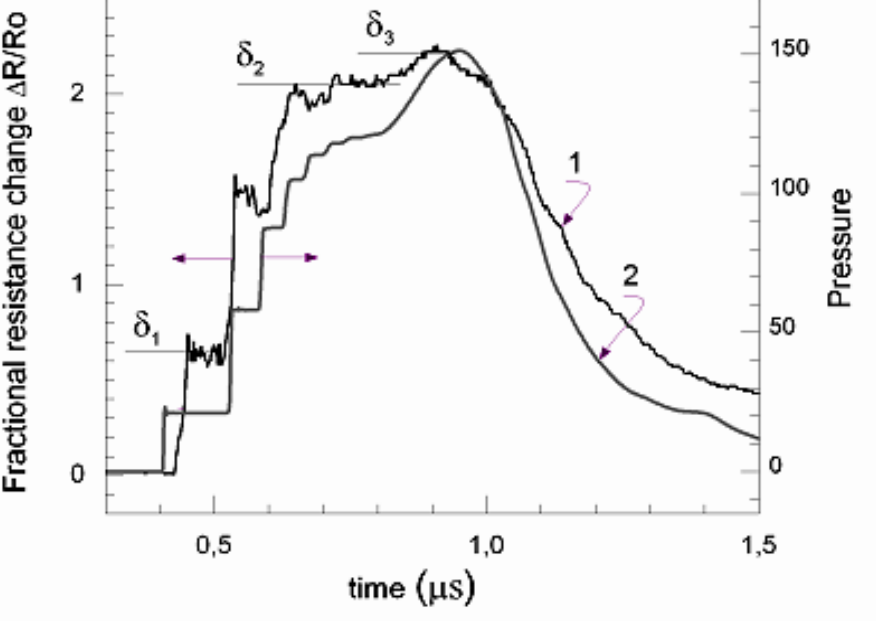
Научно-координационная Сессия "Исследования неидеальной плазмы"
Москва, Ленинский проспект 32а (синий зал)
1-2 декабря 2010

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГИДРИДА МАГНИЯ и ЖИДКОГО НАТРИЯ В
МЕГАБАРНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ**

А.М. Молодец, Д.В. Шахрай, А.А. Гольшев
Институт проблем химической физики РАН, 142 432 Черноголовка, Россия

Черноголовка-Москва

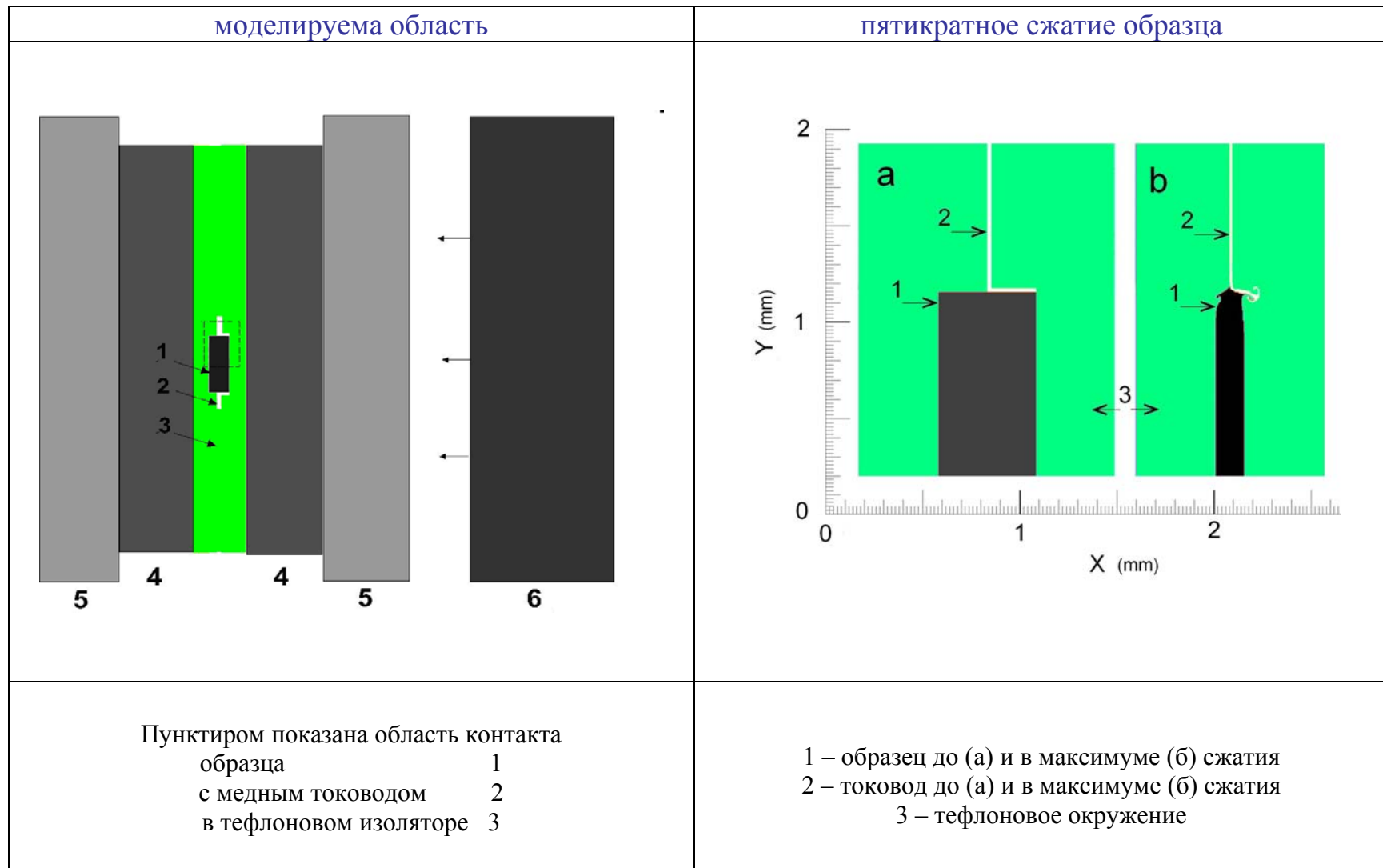
ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА и ПЕРВИЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ $R(t)$

постановка эксперимента	экспериментальная запись
	
<p>Схема ступенчатого ударного нагружения</p>	<p>1 - экспериментальная запись электросопротивления образца (манганина) 2 - одномерное моделирование ступенчатого ударного сжатия в специальном газодинамическом коде.</p>

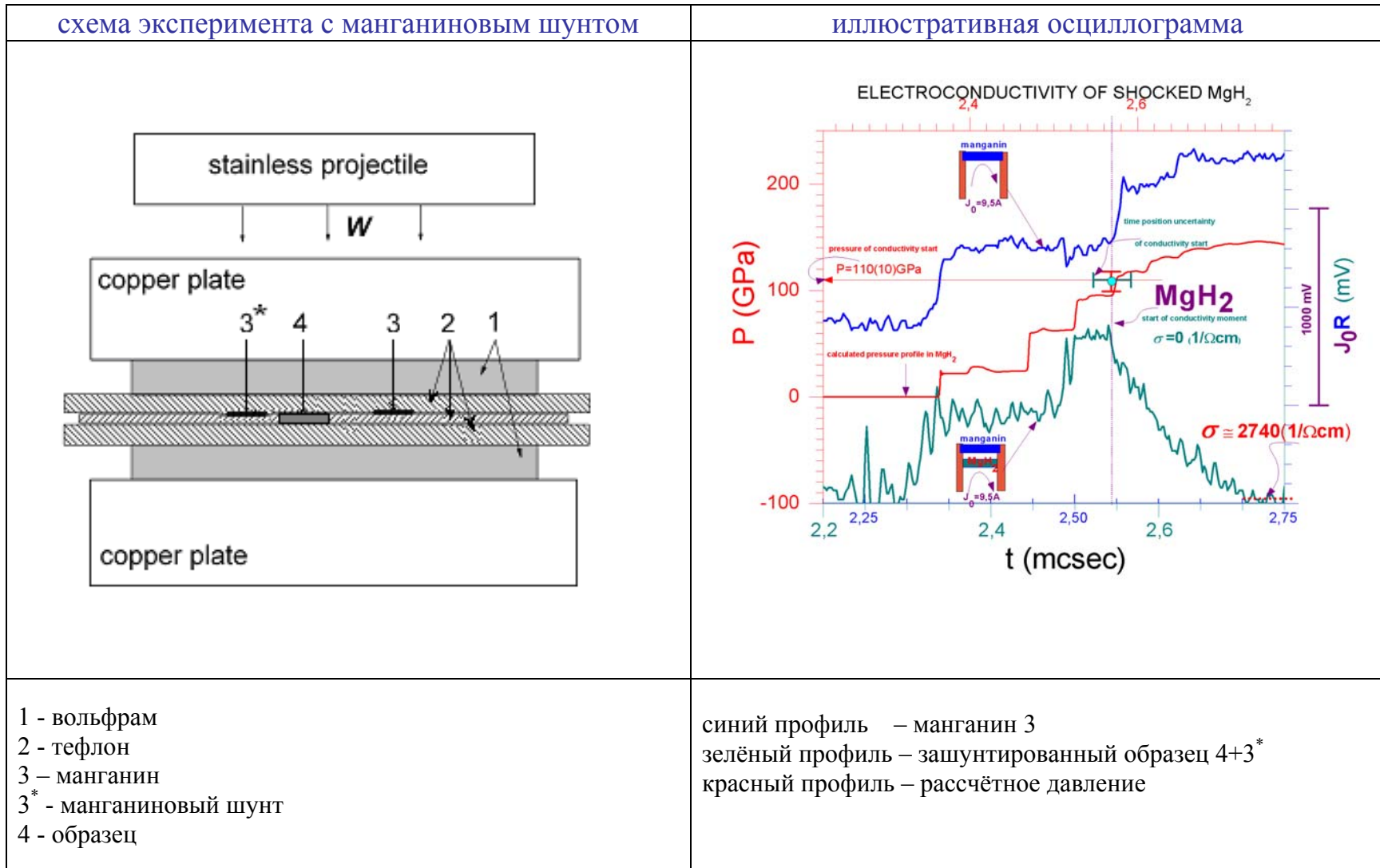
ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ТЕФЛОНА) В СУБМЕГАБАРНОЙ ОБЛАСТИ СТУПЕНЧАТОГО УДАРНОГО СЖАТИЯ

проводимость тефлона	датчики проводимости	иллюстративный эксперимент
<p style="text-align: center;">P (GPa)</p>		<p style="text-align: center;">t (mcs)</p>
<p>1 – сопротивление манганина в непроводящем (сапфировом) окружении</p> <p>2 – сопротивление манганина в частично проводящем (тефлоновом) окружении</p> <p>3 – сопротивление тефлонового окружения как разность 1 и 2</p>	<p>1 – образец</p> <p>2 – манганин</p> <p>3 – медные тоководы</p> <p>4 – окружающая среда</p>	<p>1 – образец</p> <p>2 – медные тоководы</p> <p>3 – манганин</p> <p>4 – окружающая среда</p>

КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ (численное двумерное моделирование)

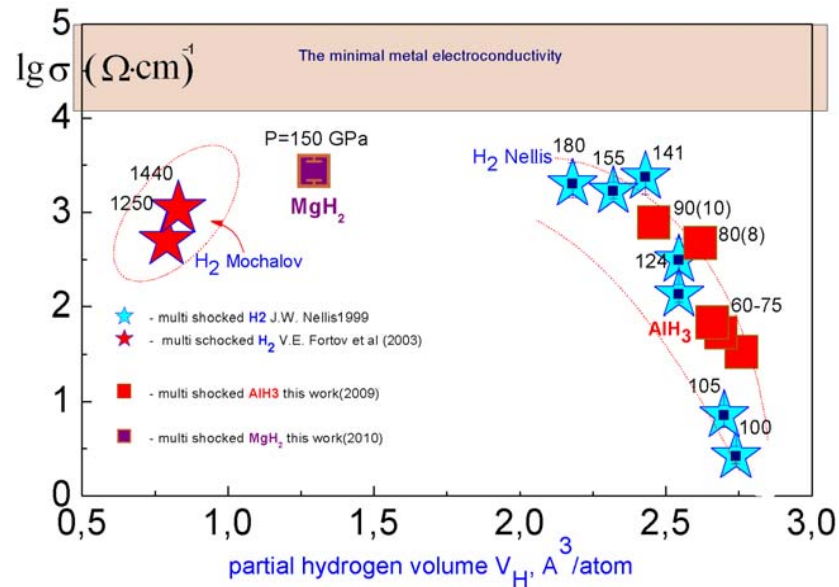


ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГИДРИДА МАГНИЯ



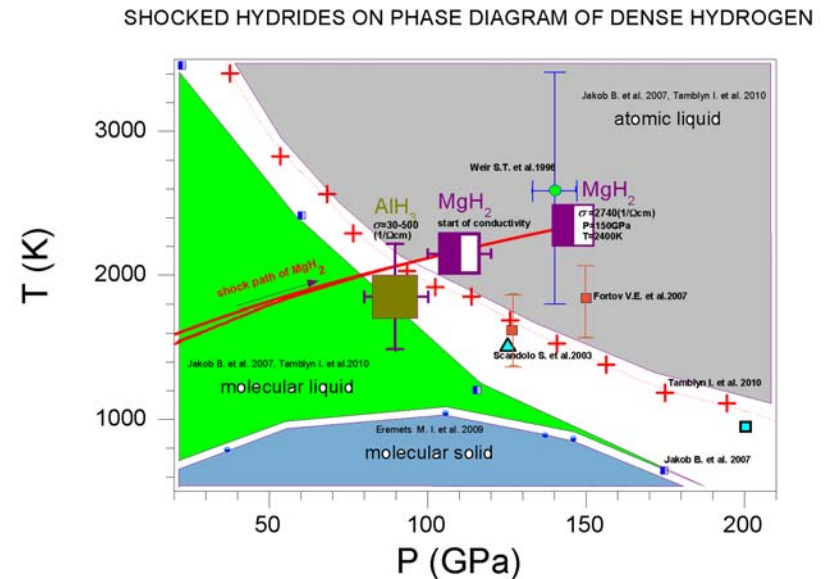
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГИДРИДА МАГНИЯ

Проводимость гидридов алюминия, магния и жидкого водорода как функции парциального объёма водорода V_H



Если значение $\sigma=3000(\text{Ohm} \cdot \text{cm})^{-1}$ соотнести парциальному объёму водорода V_H в гидриде при 145 ГПа и нанести полученную точку на данный рисунок, то окажется, что она разумно располагается в ряду наших предыдущих данных по алану [PRB, 79, 2009, p. 174108.] и литературных данных по водороду Мочалова и Неллиса

Точки проводимости MgH_2 в области жидкого атомарного плотного водорода



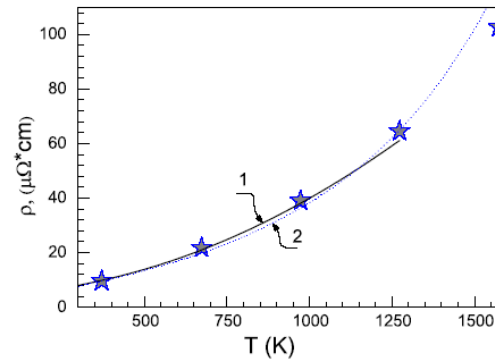
Давление и температура, при которых наблюдается начало проводимости ($P=110$ ГПа) и значение проводимости $\sigma=3000(\text{Ohm} \cdot \text{cm})^{-1}$ ($P=145$ ГПа) были нанесены на $(T-P)$ фазовую диаграмму плотного водорода из работы [Tamblyn I., et al. Structure and Phase Boundaries of Compressed Liquid Hydrogen PRL 104, 065702 (2010)]. Как видно, эти точки располагаются в области жидкого атомарного водорода

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГИДРИДА МАГНИЯ

<p>Расположение точки начала проводимости MgH_2 в области жидкого атомарного водорода, находящегося в металлическом состоянии</p>	<p>Интерпретация экспериментальных данных</p>
	<p>На рисунке показан теоретический прогноз металлизации водорода из [Tamblyn I., et al. A note on the metallization of compressed liquid hydrogen, JCP2010]. Согласно этому прогнозу, водород является металлом, если $r_s < r_{\text{metal}}$.</p> <p>Для парциального объема водорода в MgH_2 можно рассчитать параметр r_s как $r_s = (2.696 * V_H)^{1/3}$ где V_H значение парциального объема водорода, соответствующего началу проводимости при соответствующей температуре T гидрида магния.</p> <p>Полученная таким образом значения $\{r_s, T\}_{\text{MgH}_2}$ показаны квадратом на рисунке. Видно, что точка $\{r_s, T\}_{\text{MgH}_2}$ попадает в область жидкого атомарного водорода, где $r_s < r_H < r_{\text{H}_2}$, то есть в область жидкого атомарного водорода, находящегося в металлическом состоянии.</p> <p>Таким образом, точка попадает не только в область жидкого атомарного, но и металлического водорода, что позволяет истолковать проводимость ударно сжатого гидрида магния формированием квазиметаллического состояния водорода в образцах гидрида магния при высоких температурах.</p>
	<p>Водород в ударно сжатом до 150 ГПа гидриде магния подобен атомарному жидкому металлическому водороду</p>

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПЛОТНОГО РАСПЛАВА НАТРИЯ

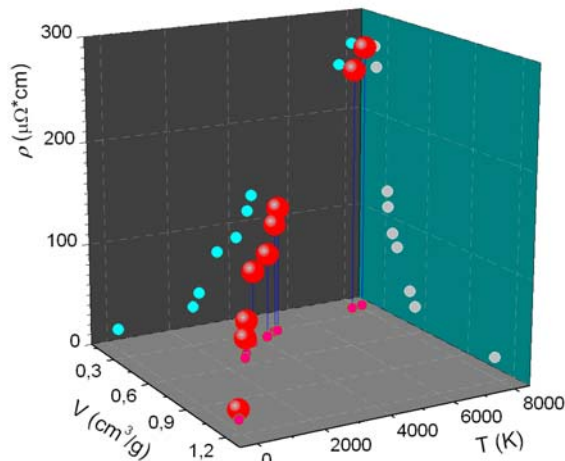
Экспериментальные данные:



Звёзды – данные [А.Н. Соловьёв «Температурная зависимость электрического сопротивления жидких металлов, Теплофизика высоких температур, 7, 177 (1969)»]

Модельные фазовые траектории электросопротивления плотного расплава натрия

1,3 – моделирование формулой Блоха-Грюнайзена $\rho \approx T / \Theta^2$; 2,4 – моделирование «объёмно-температурной» экспонентой

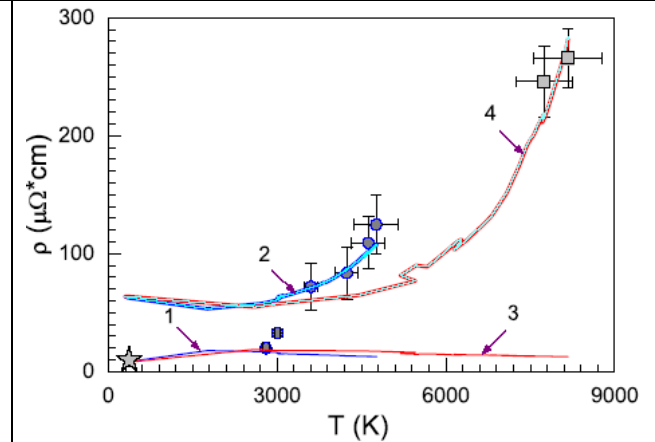


$$\rho \approx T / \Theta^2$$

$$\Theta = \Theta_0 \left(\frac{v_0 - V}{v_0 - V_0} \right)^2 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{2/3}$$

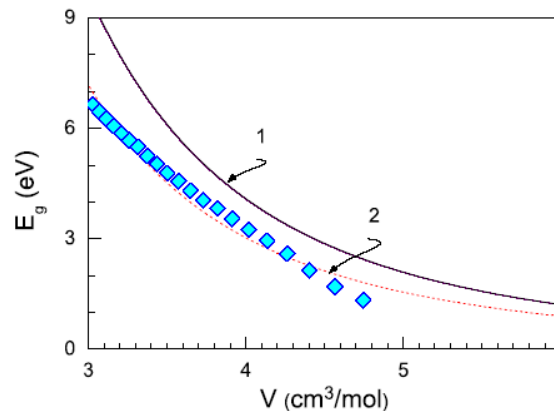
$$\rho = \rho_{0i} + (\rho_0 - \rho_{0i}) \left(\frac{T}{T_0} \right) \left(\frac{v_0 - V_0}{v_0 - V} \right)^4 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{4/3}$$

$$\rho = \rho_{0g} \exp \left(\frac{E_g(V)}{2T} \right)$$



Сопротивление натрия вдоль фазовых траекторий ступенчатого сжатия

ρ – удельное сопротивление
 V – удельный объём
 T – температура



В мегабарной области давлений состояние расплава натрия отличается от металлического состояния, характерного для этой жидкости при высоких температурах и нулевом давлении.

ВЫВОДЫ

ПЛОТНЫЙ РАСПЛАВ НАТРИЯ	ГИДРИД МАГНИЯ
<p>Измерена электропроводность расплава натрия в экстремальных условиях ударного сжатия 20-200 ГПа, 2000-8000 К и пятикратного уменьшения объёма. Сопротивление ударносжатого натрия, находящегося в жидком состоянии за фронтом ударной волны увеличивается с давлением и температурой и достигает нескольких сотен $\text{Ohm}\cdot\text{cm}$.</p> <p>В мегабарной области давлений состояние расплава натрия отличается от металлического состояния, характерного для этой жидкости при высоких температурах и нулевом давлении.</p>	<p>Измерена электропроводность ударносжатого гидрида магния MgH_2 в диапазоне 110-150 ГПа. Электропроводность гидрида магния возникает при 110 ГПа (на уровне $\sim 0,01(\text{Ohm}\cdot\text{cm})^{-1}$) и при 150 ГПа его проводимость достигает значений $\sigma \approx 3000(\text{Ohm}\cdot\text{cm})^{-1}$.</p> <p>Водород в ударно сжатом до 150 ГПа гидриде магния подобен атомарному жидкому металлическому водороду.</p>

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ

Свободная энергия расплава натрия

$$\Phi(V, T) = F(V, T) + F_e(V, T)$$

$$F = E_x + 3R \left[\frac{\Theta}{2} + T \ln \left(1 - \exp \left(-\frac{\Theta}{T} \right) \right) \right] - RT$$

$$\Theta = \Theta_0 \left(\frac{v_0 - V}{v_0 - V_0} \right)^2 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{2/3}$$

$$E_x = -v_x(C_1 H_x + C_2 x) + C_3 + E_m$$

$$H_x = 9 \left(\frac{1}{10} x^{-2/3} + 2x^{1/3} + \frac{3}{2} x^{4/3} - \frac{1}{7} x^{7/3} + \frac{1}{70} x^{10/3} \right)$$

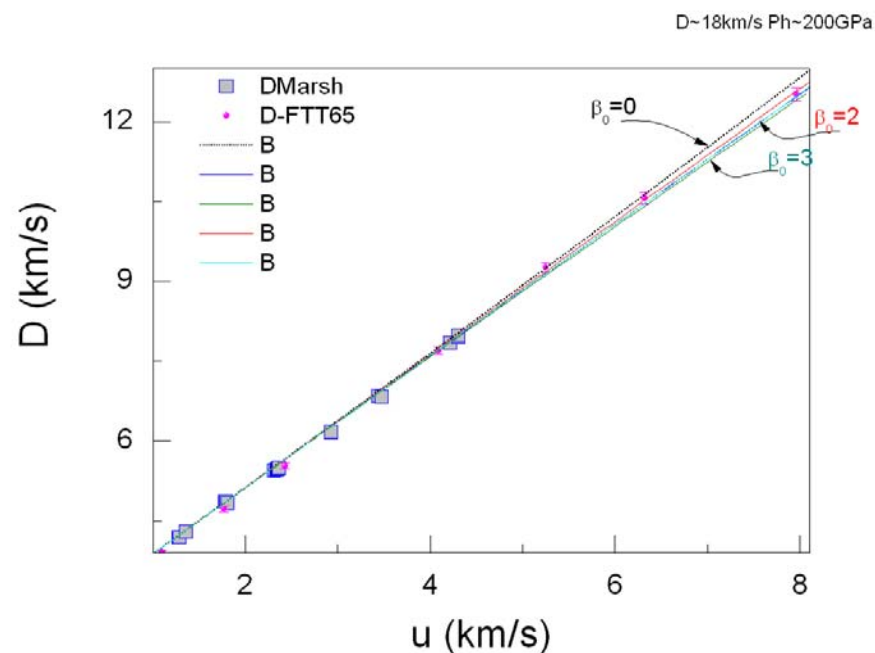
$$x = \frac{V}{v_x}$$

А.М. Molodets, High Press. Res. 30, 325 (2010).

$$F_e = -\frac{1}{2} \beta_0 T^2 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{1/2}$$

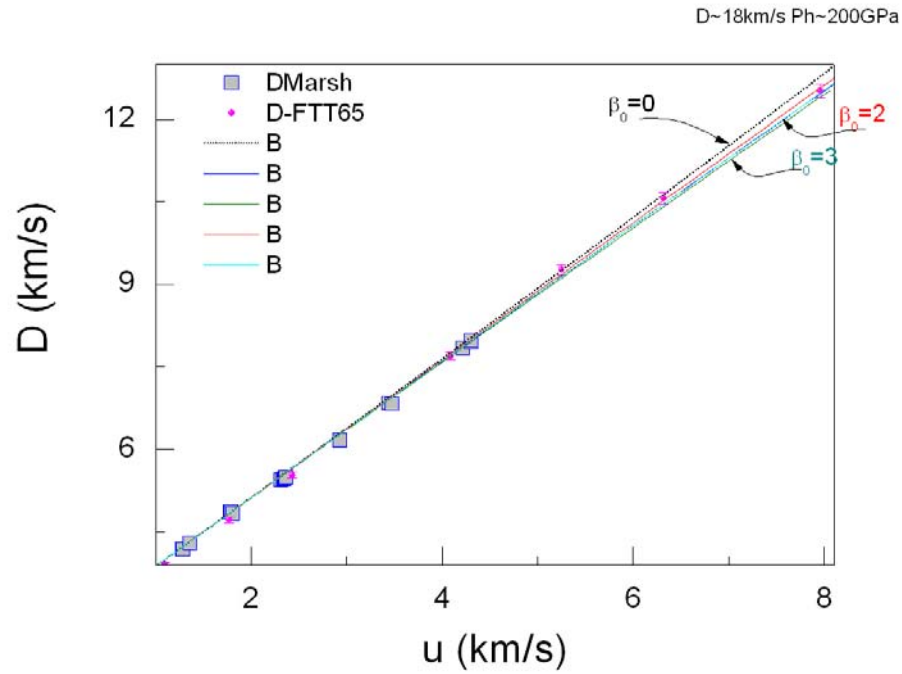
А.А. Баканова, И.П. Дудолодов, Р.Ф. Трунин, ФТТ, 7, 1307 (1965)

Нахождение свободного параметра β_0 подгонкой под экспериментальную ударную адиабату

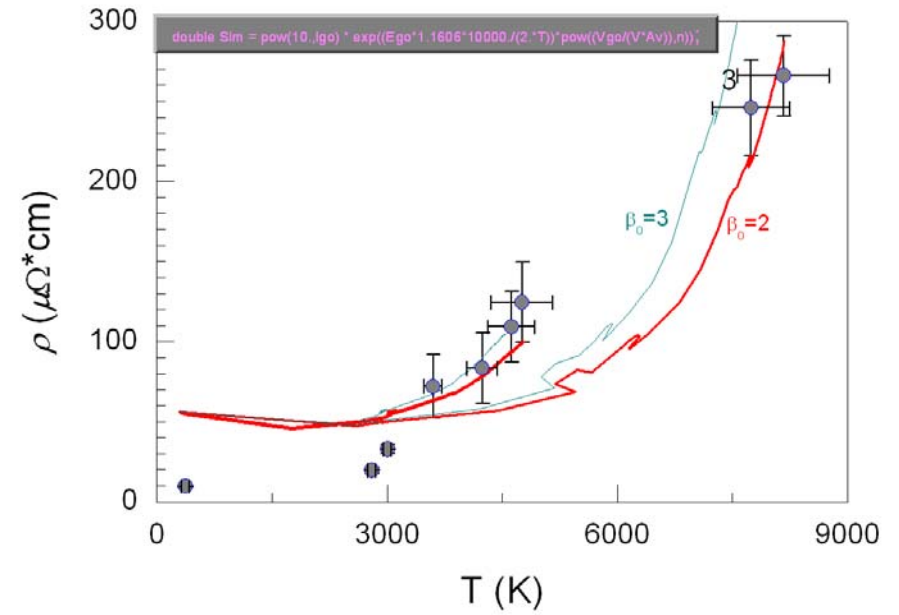


НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ В РАСЧЁТАХ ТЕМПЕРАТУРЫ

Вариация расчётов D-и в пределах экспериментальной погрешности

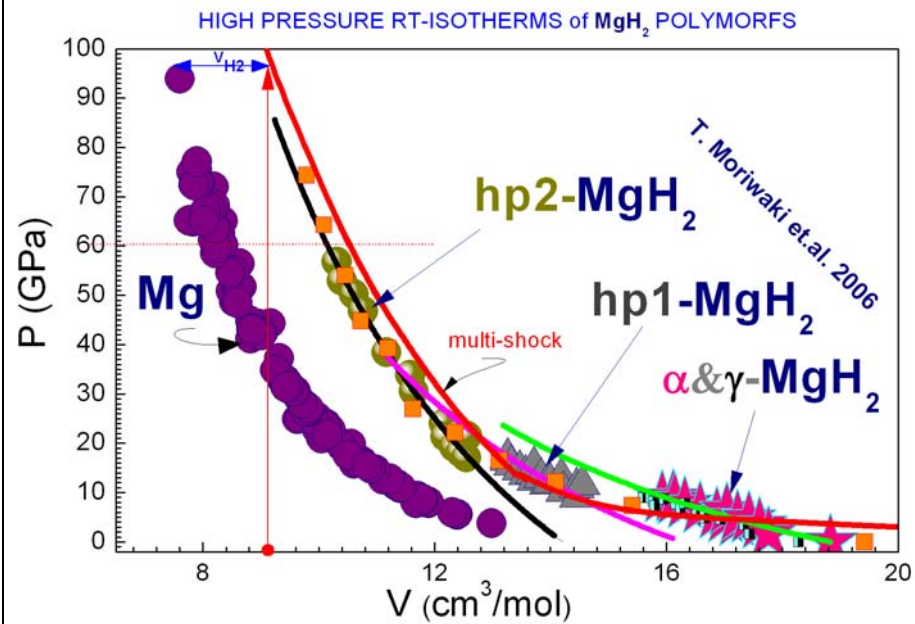


Вариация рассчитываемой температуры



ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРИДА МАГНИЯ

Статические изотермы плотных модификаций MgH_2 и их полуэмпирического описание в рамках используемого подхода



Совпадение рассчитанной ударной адиабаты с экспериментом до 122 ГПа

HUGONIOT OF SINGLE and MULTI-SHOCK COMPRESSION of MgH_2 POLYMORFS

