



ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Ю.Н. Шалимов¹, В.И.Корольков²,
И.К. Шуклин¹, Б.М. Даринский³, А.В. Руссу²

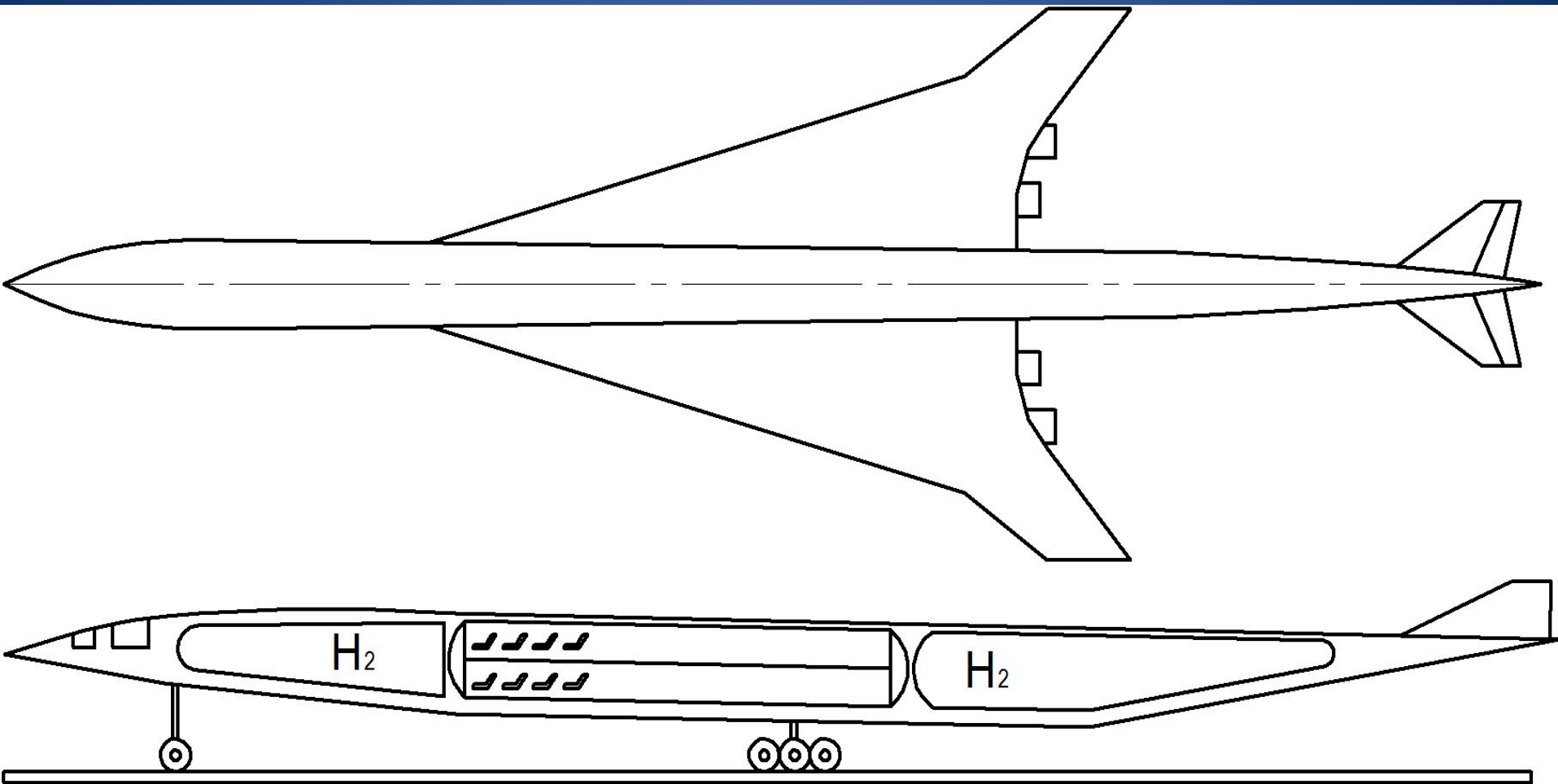
¹Военный Учебный Научный Центр Военно-Воздушных Сил «Военно-Воздушная Академия» им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

²Воронежский государственный технический университет,
каф. Самолетостроение

³Воронежский государственный университет

Воронеж 2017

самолет Ту-155 (на жидком водороде с использованием криостатных систем)



Основные проблемы

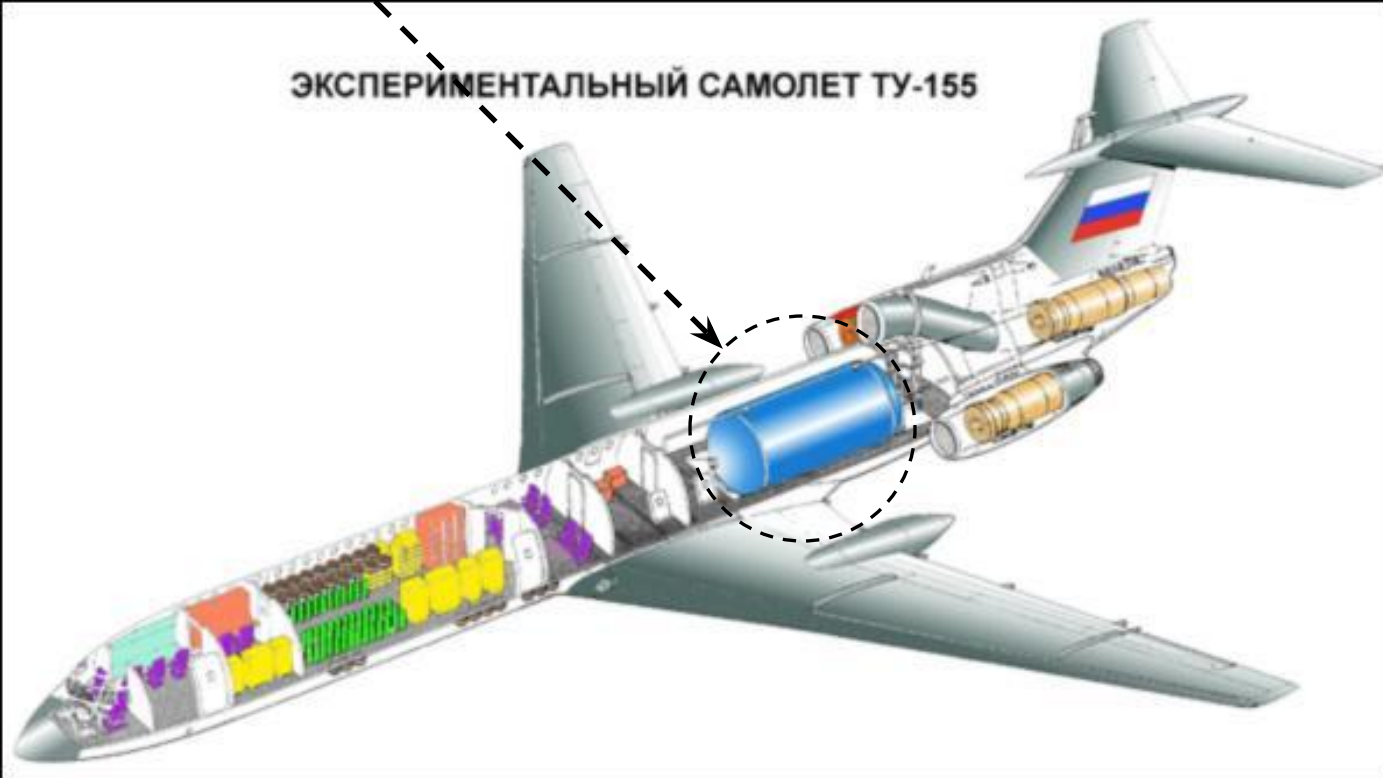
- › Получение водорода
- › Хранение водорода
- › Транспортировка водорода

Баллон (газовая фаза)

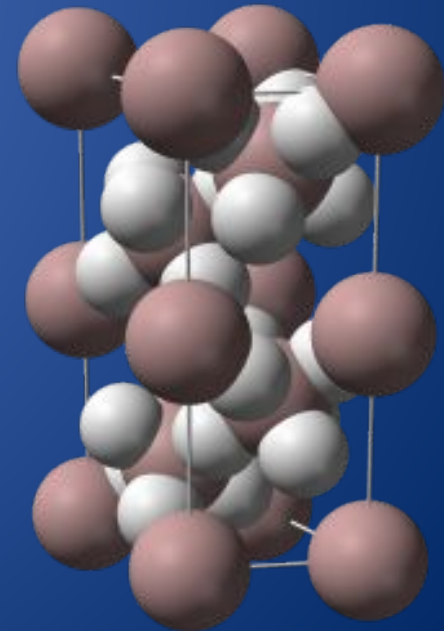
ВОДОРОД

Криостат (жидкая фаза)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ САМОЛЕТ ТУ-155



Гидрид (твердая фаза)



1 $\lg(m_{\text{э}}/m_{\text{к}})$ Номограмма содержания основных металлов в земной коре

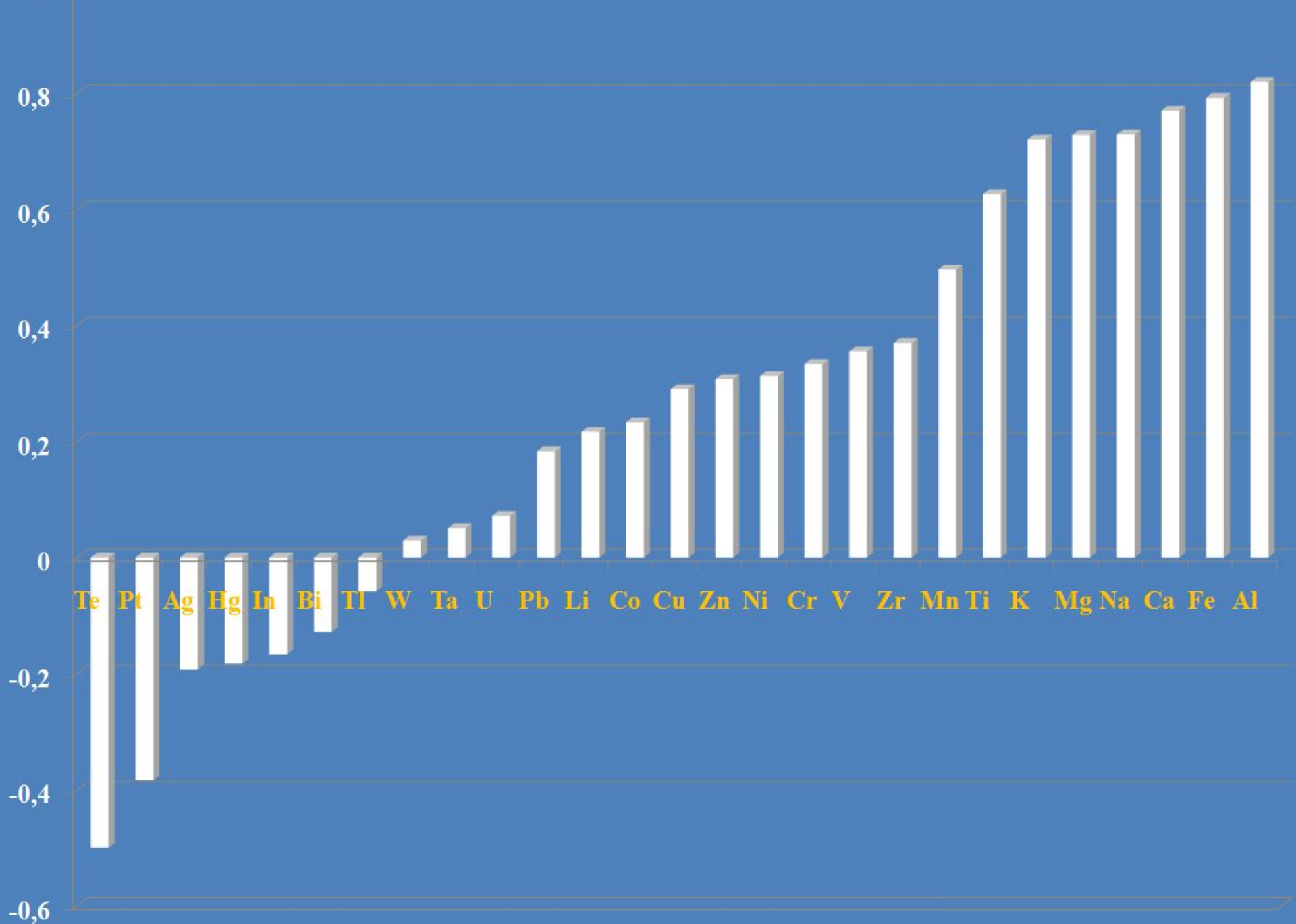


Таблица элементов, склонных к образованию гидридов



Атомный номер

23

Ванадий

V

Символ

T° кипения
T° плавления

3450 °C

50,942

1900 °C

6,1 g/cm³

Атомная масса
Плотность

[Ar] 3d3 4s2

Электронная формула

1	IA H	IIA He											VIIIA He	1						
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	2	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	3	
4	K	Ca	III B	IV B	V B	VII B	VIII B	IB	II B											4
5	Rb	Sr	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	5	
6	Cs	Ba	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	6	
7	Fr	Ra	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	7	
			Lw	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh				

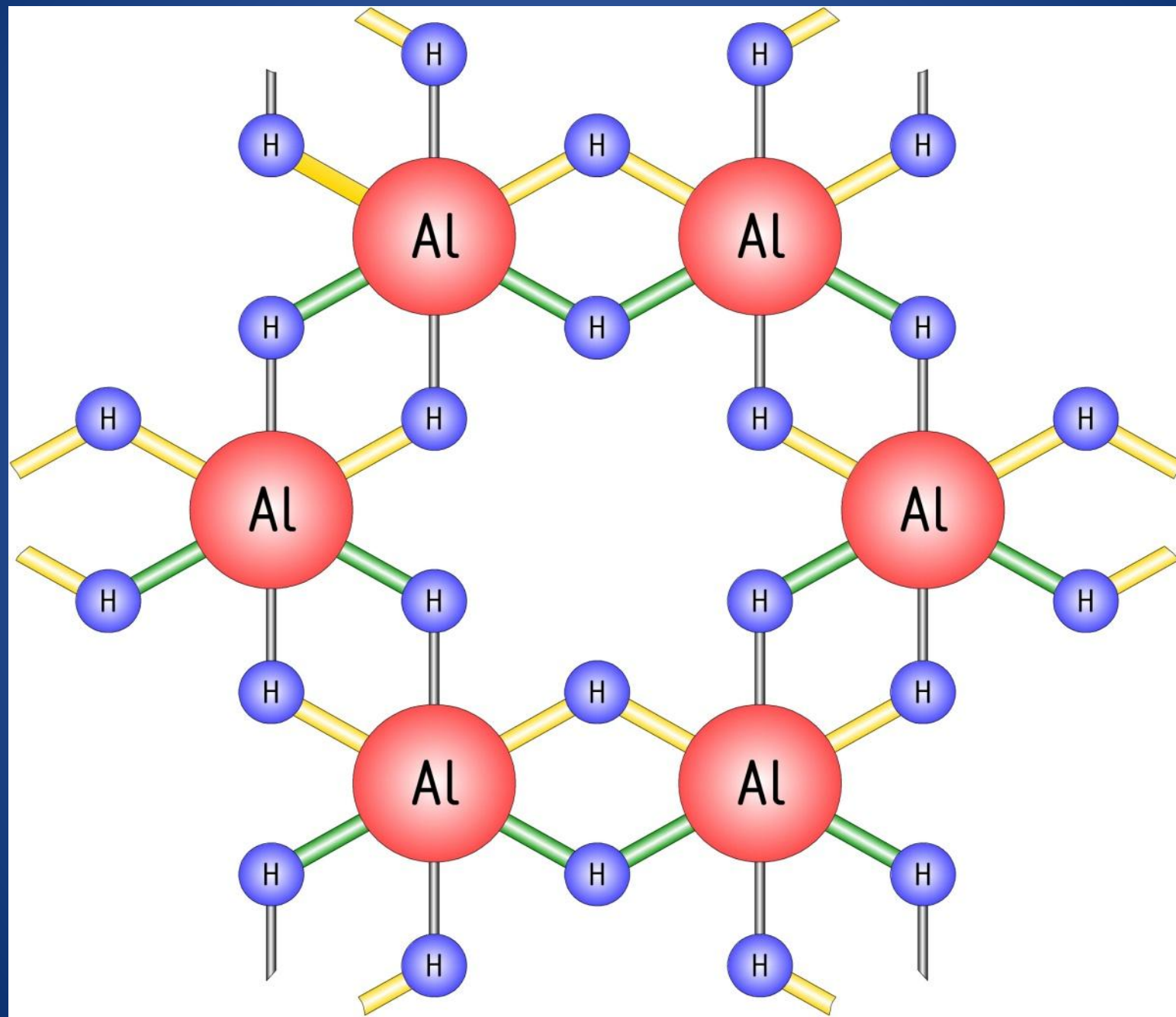
Лантаноиды 6

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	6
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---

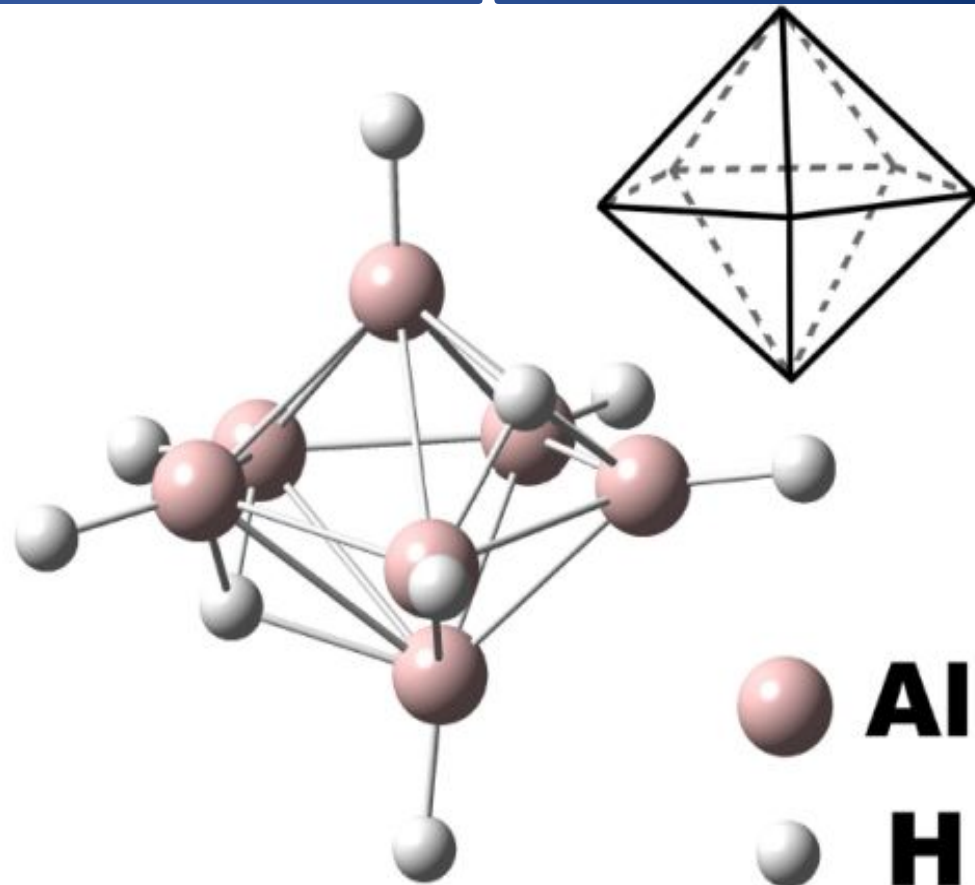
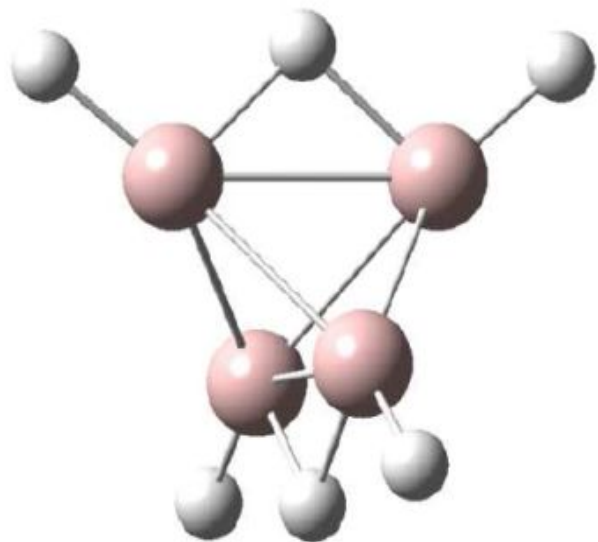
Актиноиды 7

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	7
----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---

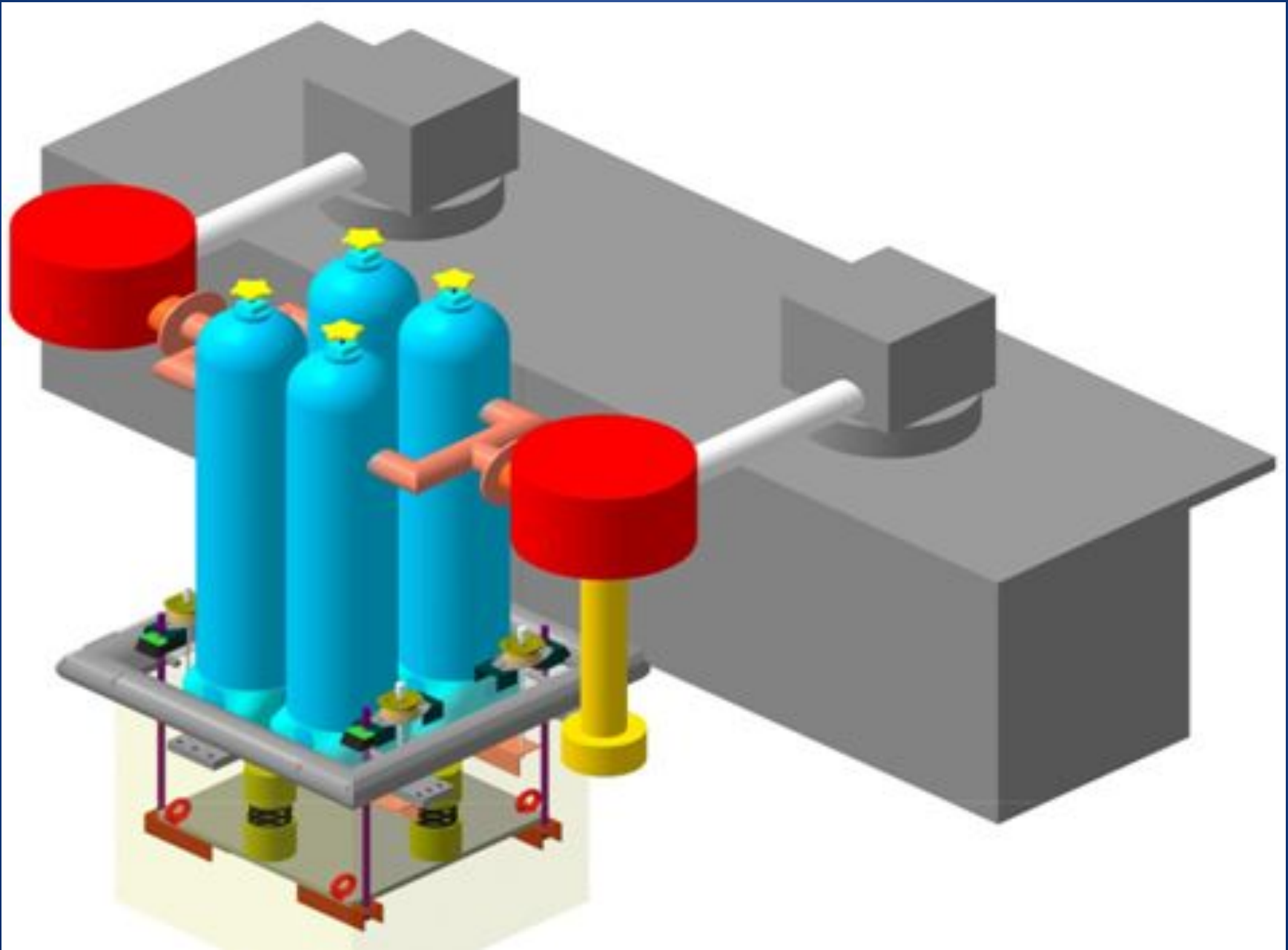
Структура гидрида алюминия



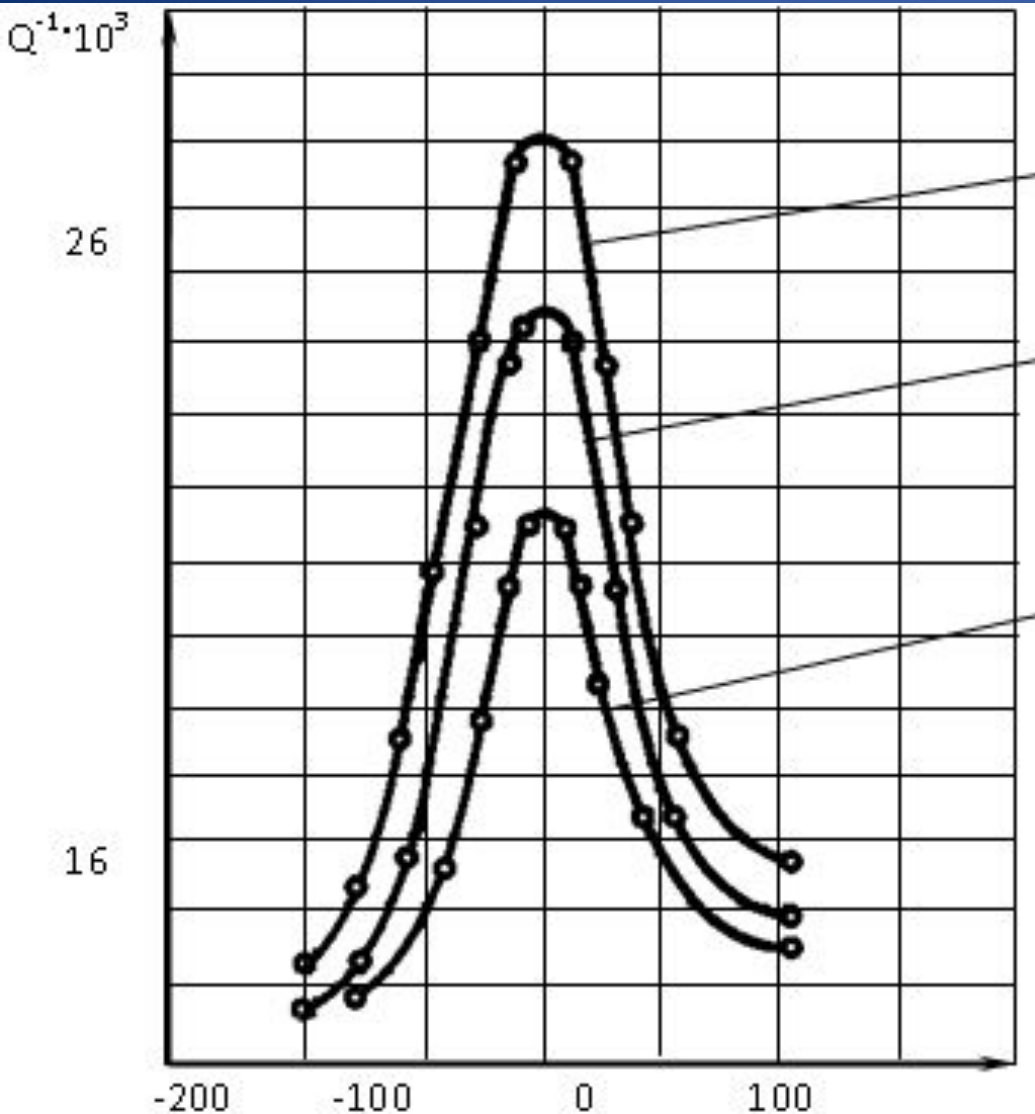
Структуры гидридов алюминия для различных кластеров



Установка внутреннего трения



Температурная зависимость внутреннего трения электролитического хрома, полученного из сернокислого электролита



1 - импульсный режим:

$i_k = 35 \text{ A/дм}^2$, время импульса 15 сек,
время паузы 10 сек;

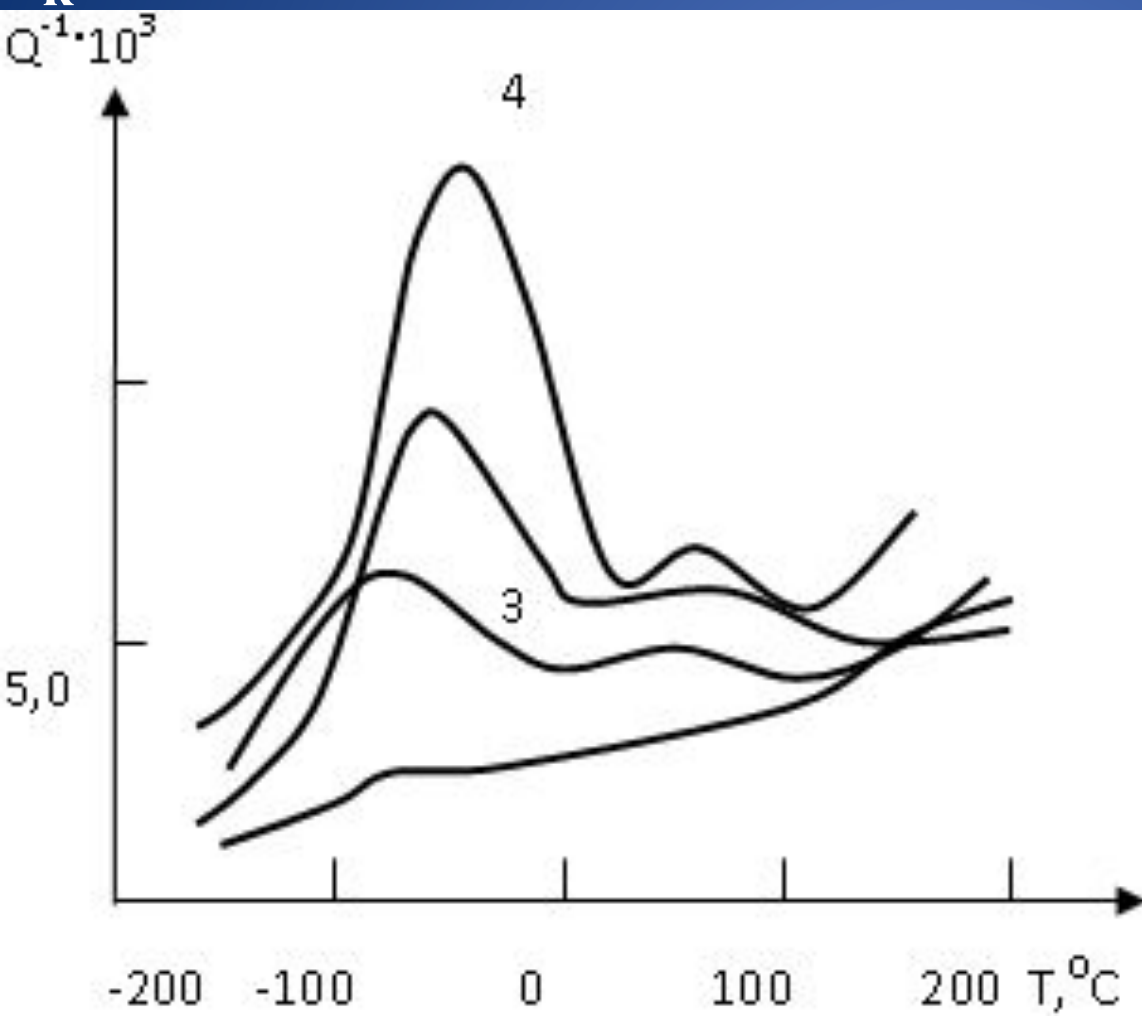
2 - импульсный режим:

$i_k = 35 \text{ A/дм}^2$, время импульса 15 сек,
время паузы 5 сек;

3 - непрерывный режим:

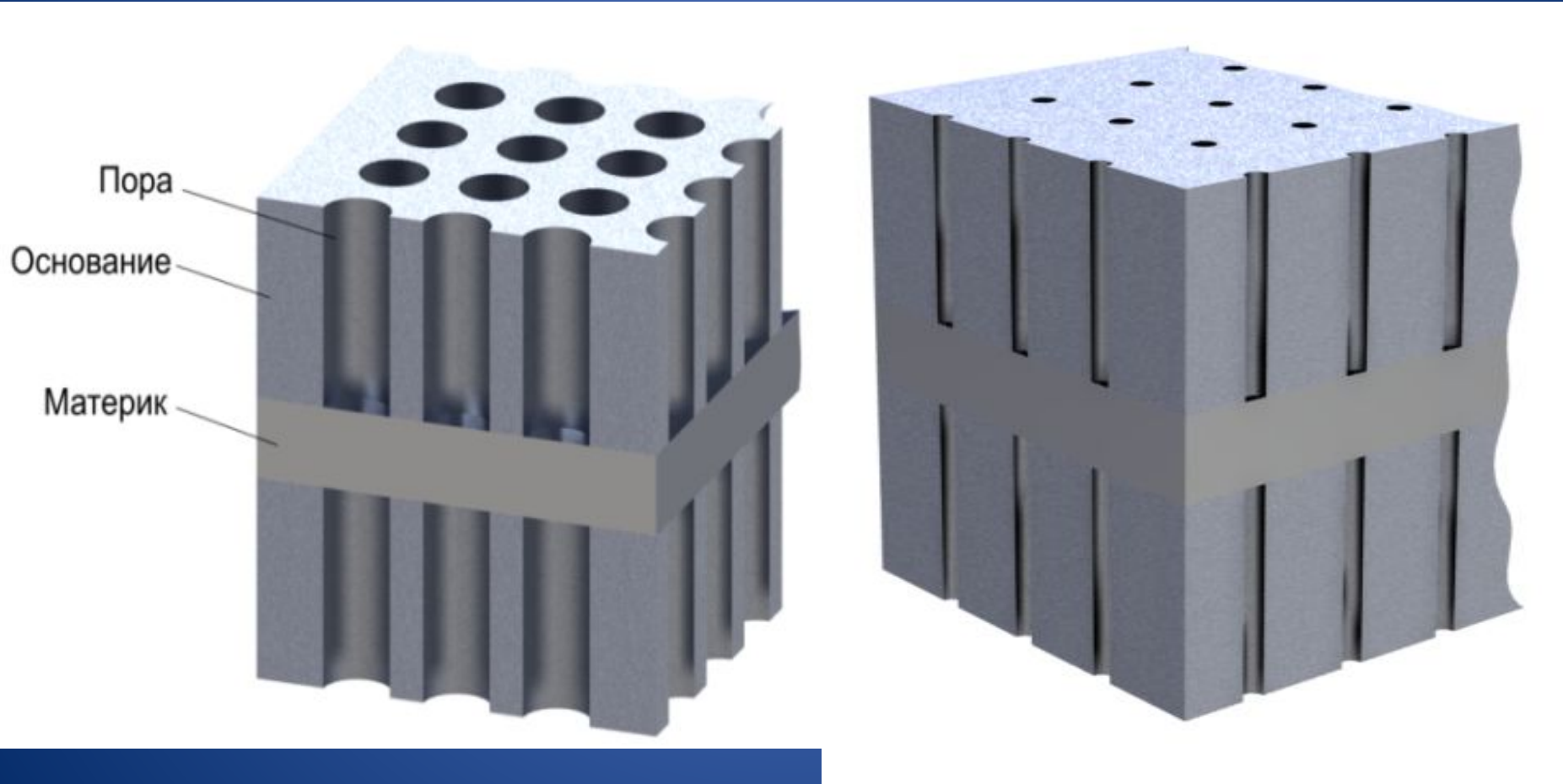
$i_k = 35 \text{ A/дм}^2$

Температурная зависимость внутреннего трения электролитического хрома, подвергнутого наводороживанию в H_2SO_4 при $i_k = 1$ А/дм² в течение различного времени (τ)

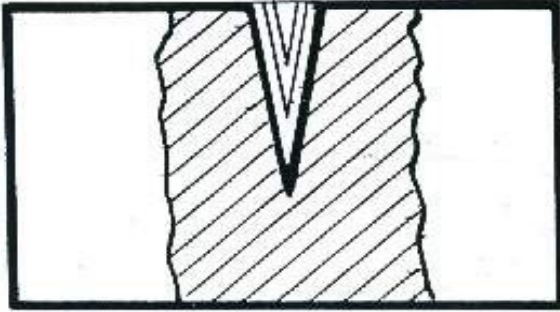


- 1 не наводороженный образец;
- 2 $\tau = 8$ минут;
- 3 $\tau = 14$ минут;
- 4 $\tau = 20$ минут

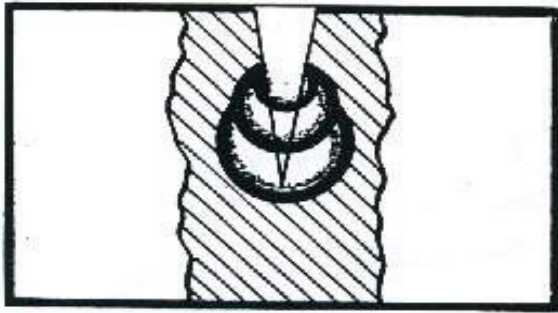
Структура идеализированной поры



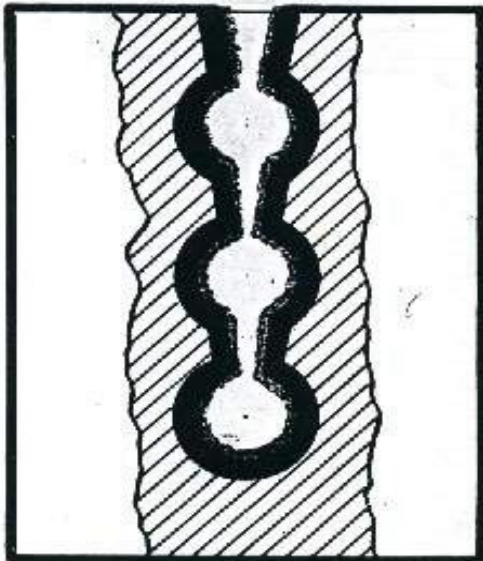
а) образование поры при действии сканирующего импульса, I стадия



б) формирование поры при действии серии импульсов, II стадия



в) профиль образующейся поры в результате последовательного действия серий сканирующих и формирующих импульсов, суммарный процесс

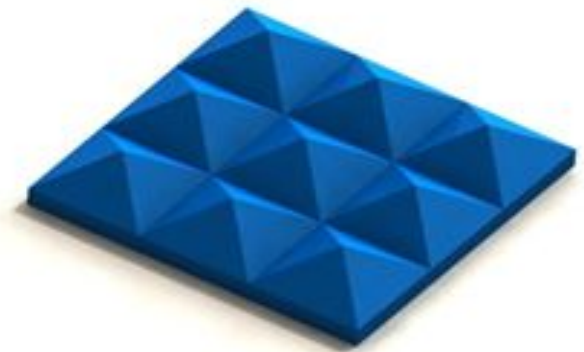
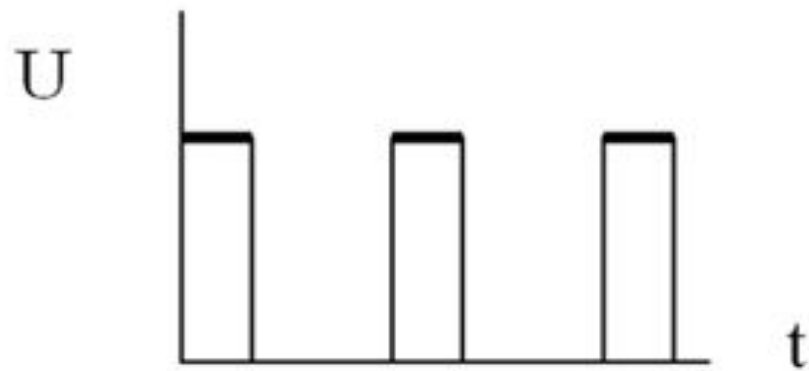


Механизм образования поры при действии частотно-модулированного импульсного тока на электроде

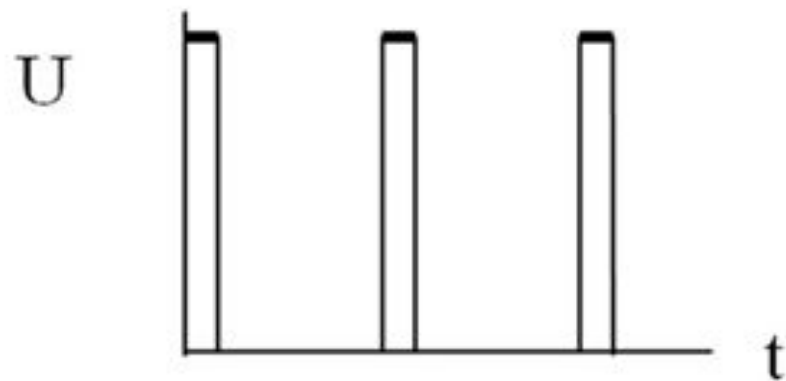
Постоянный ток

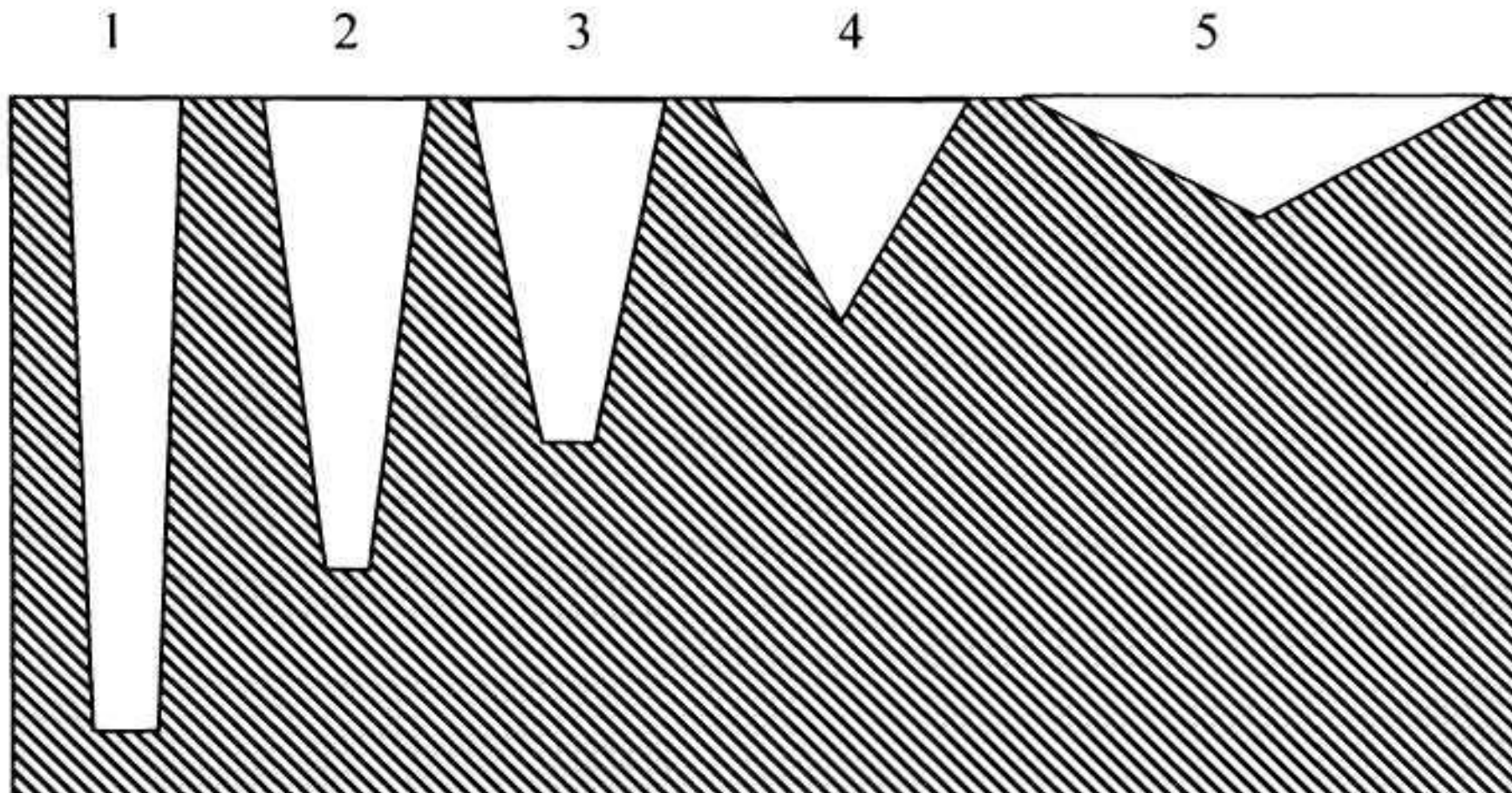


$Q=3$



$Q=5$





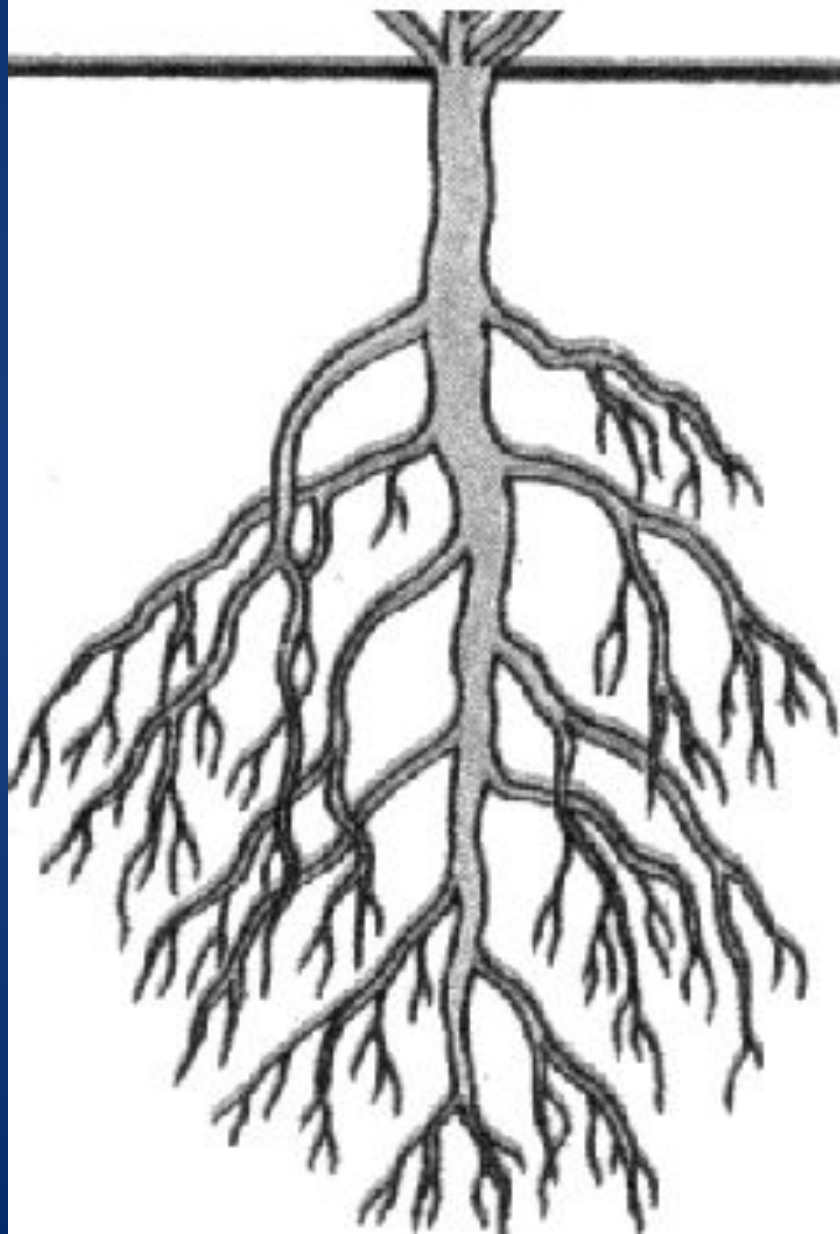
Схематическое изображение формируемой поры для фольги из алюминия в зависимости от плотности тока.

Плотность тока:

1 - 1 А/дм²; 2 - 2 А/дм²; 3 - 3 А/дм²; 4 - 4 А/дм²; 5 - 5 А/дм²

Бионический аналог

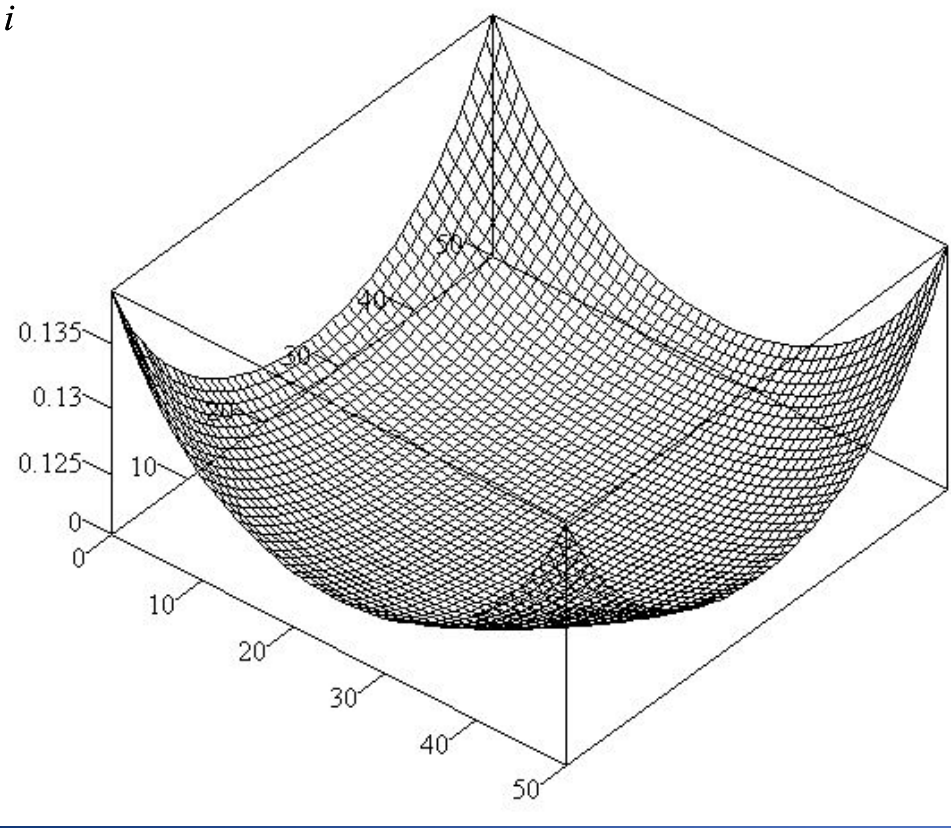
Стержневая



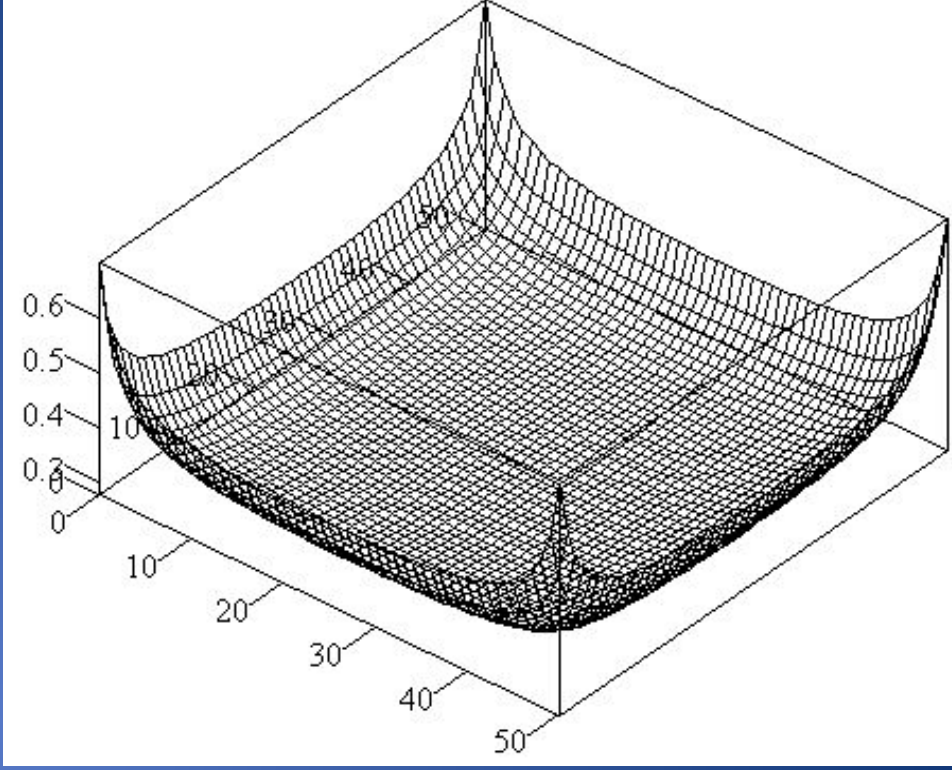
Мочковатая



i



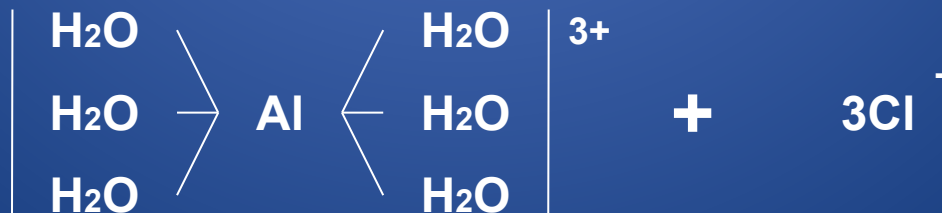
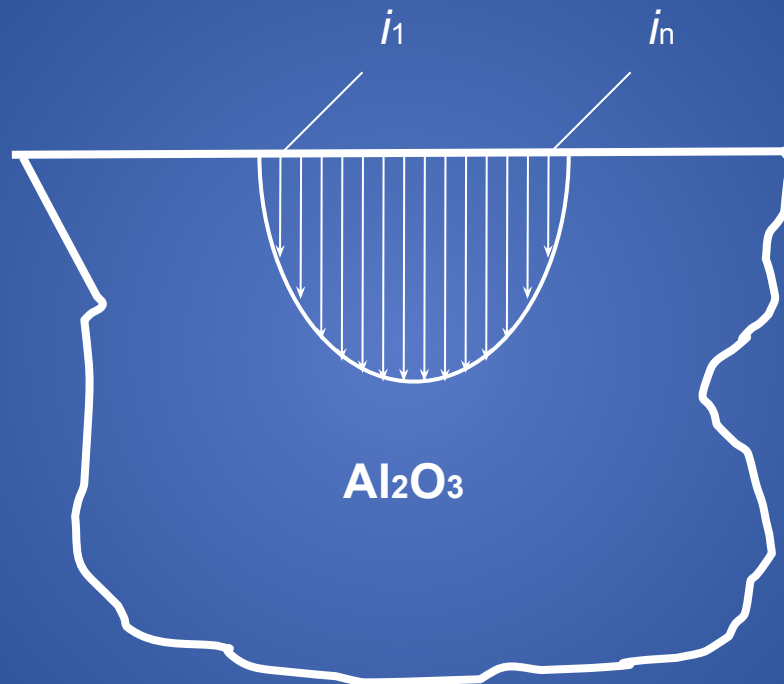
для $j = 5$ А/кв.
ДМ



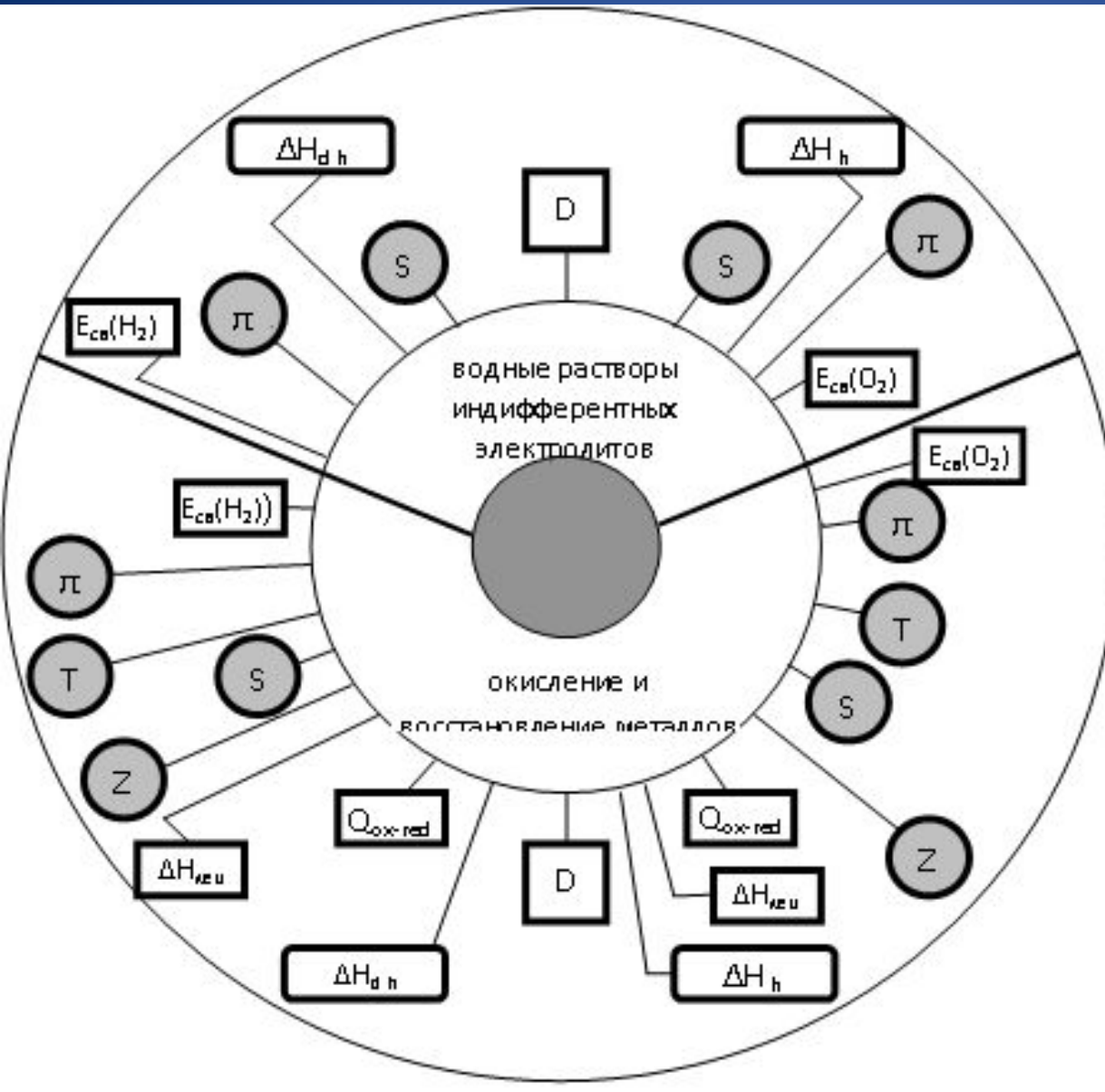
для $j = 50$ А/кв.
ДМ

Кинетика взаимодействия ионов Н с оксидом алюминия

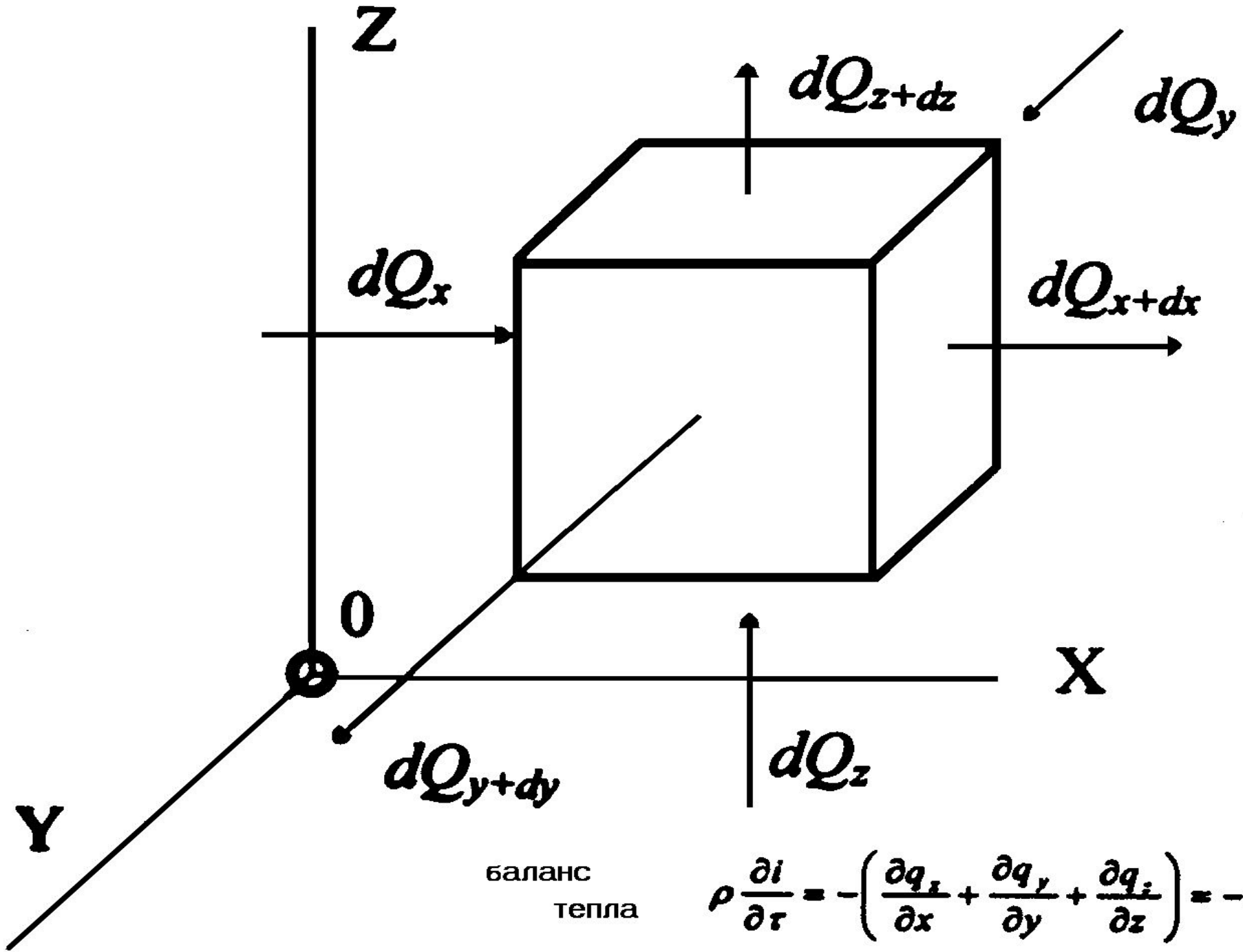
Раствор электролита



Тепловые эффекты реакций на электродах и в электролите



эффект Пельтье,
Томсона,
Зеебека, Сорэ;



баланс
тепла

$$\rho \frac{\partial i}{\partial \tau} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) = -\text{div} \bar{q}$$

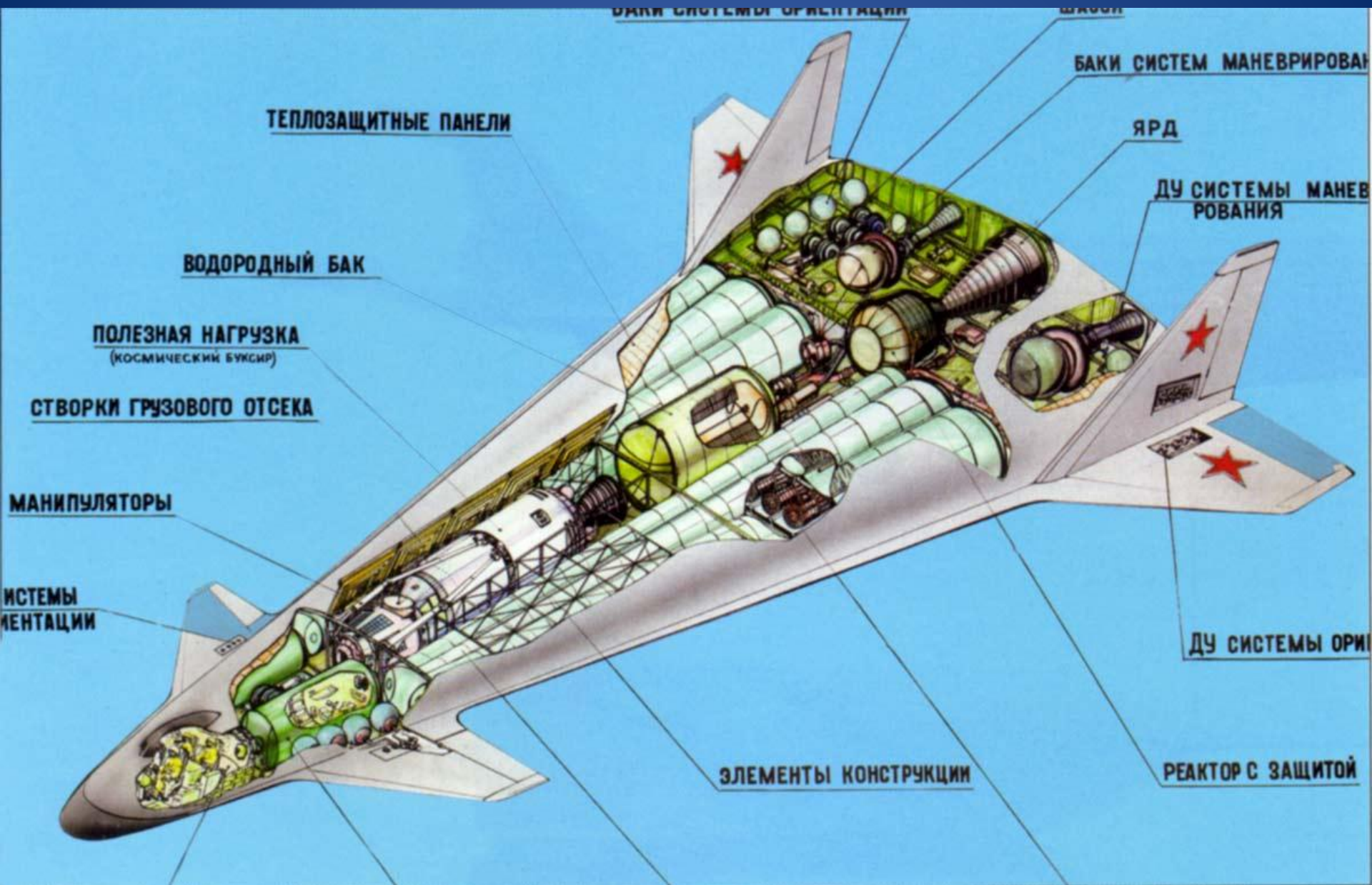
$$\frac{di}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho(T)} \cdot \left(\frac{\partial^2 T(i, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(i, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(i, \tau)}{\partial z^2} \right) -$$

$$- \omega_z \frac{\partial i}{\partial z} - \frac{1}{\rho(T)} \operatorname{div} \sum \overset{\boxtimes}{j}_i \cdot i_i$$

КОМПЛЕКС ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Космоплан



Спасибо за внимание

Шалимов Юрий Николаевич

д-р техн. наук, профессор

shalimov_yn@mail.ru, +7-905-053-45-73