



Институт электрофизики и электроэнергетики Российской Академии наук (ИЭЭ РАН)

191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб. тел.: 7(812) 315 1757, факс: 7(812) 571 5056, email: rc@iperas.nw.ru

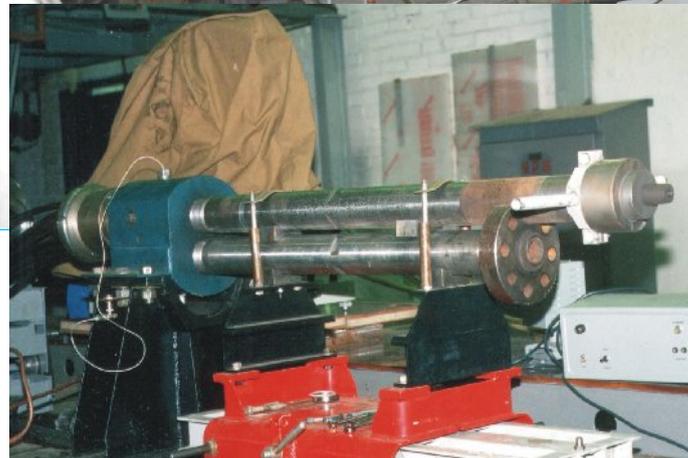
Нагрев газа акустическими волнами в мегаамперных разрядах сверхвысокого давления

**М. Э. Пинчук¹, А. А. Богомаз¹, А. В. Будин¹,
С.Ю. Лосев¹, Ф. Г. Рутберг¹**

¹ИЭЭ РАН, Санкт-Петербург

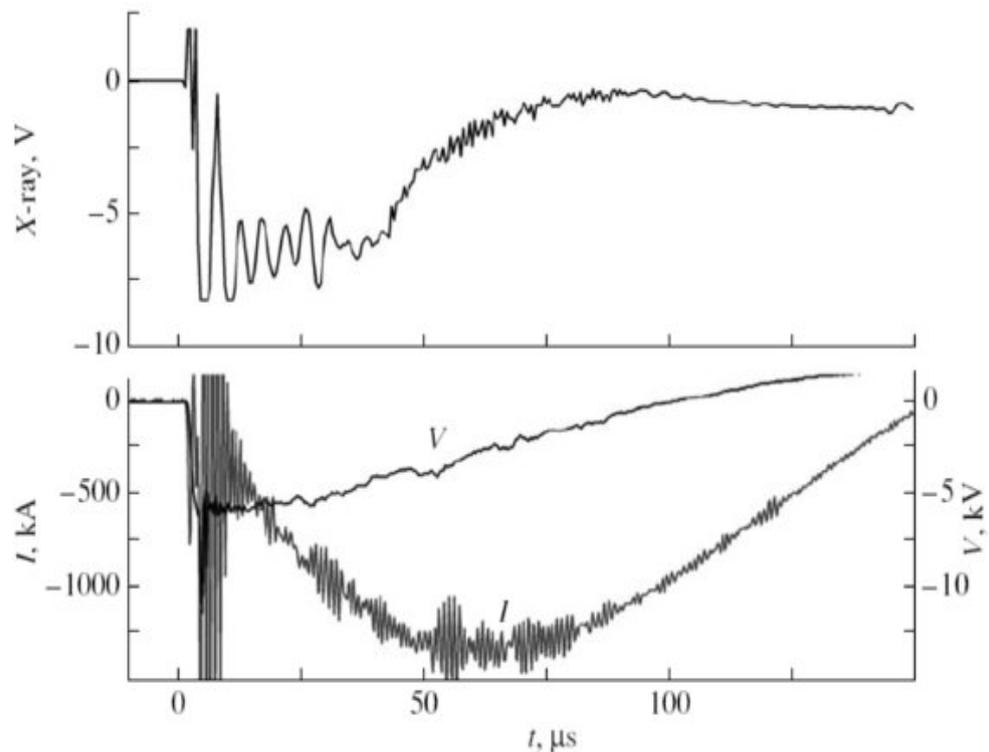
Параметры экспериментов

- начальная концентрация водорода
 $n \sim 10^{20} - 10^{22} \text{ см}^{-3}$
- $J_{\text{max}} - 500 - 1600 \text{ кА}$,
- $dJ/dt \sim 10^9 - 10^{11} \text{ А/с}$
- энерговклад в разряд
свыше 500 кДж

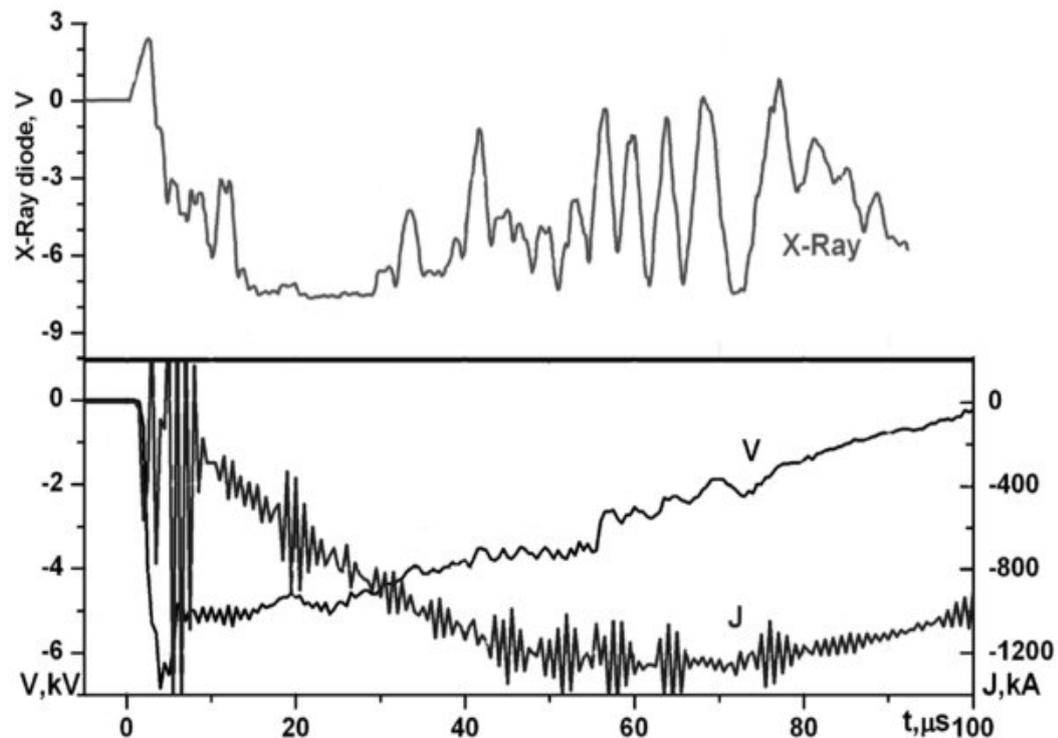


X-RAY RADIATION FROM DISCHARGE CHANNEL (H_2 , P_0 - 5 MPa)

X-Ray signal (X-Ray), current (J), voltage(V). Filter - 10 μm Al foil. X-Ray Diode was set in 250 mm from discharge chamber axe. Interelectrode gap is 10 mm Initial hydrogen pressure 5 MPa. Conical steel electrodes of 10 mm diameter of tip.

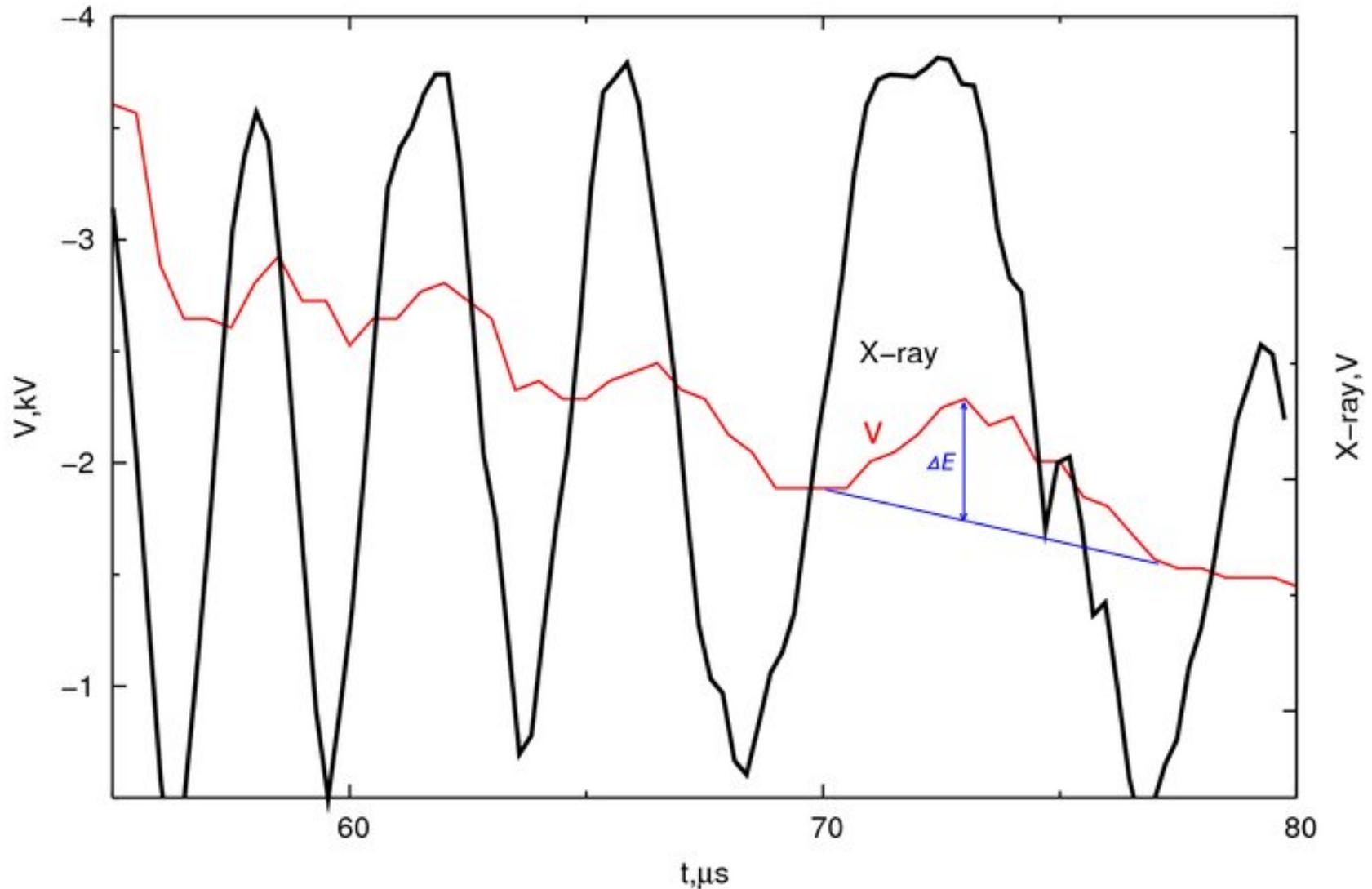


X-Ray signal (X-Ray), current (J), voltage(V). Filter - 10 μm Al foil. X-Ray Diode was set in 250 mm from discharge chamber axe. Initial hydrogen pressure 5 MPa. Steel electrodes of 20 mm diameter. Interelectrode gap is 20 mm.



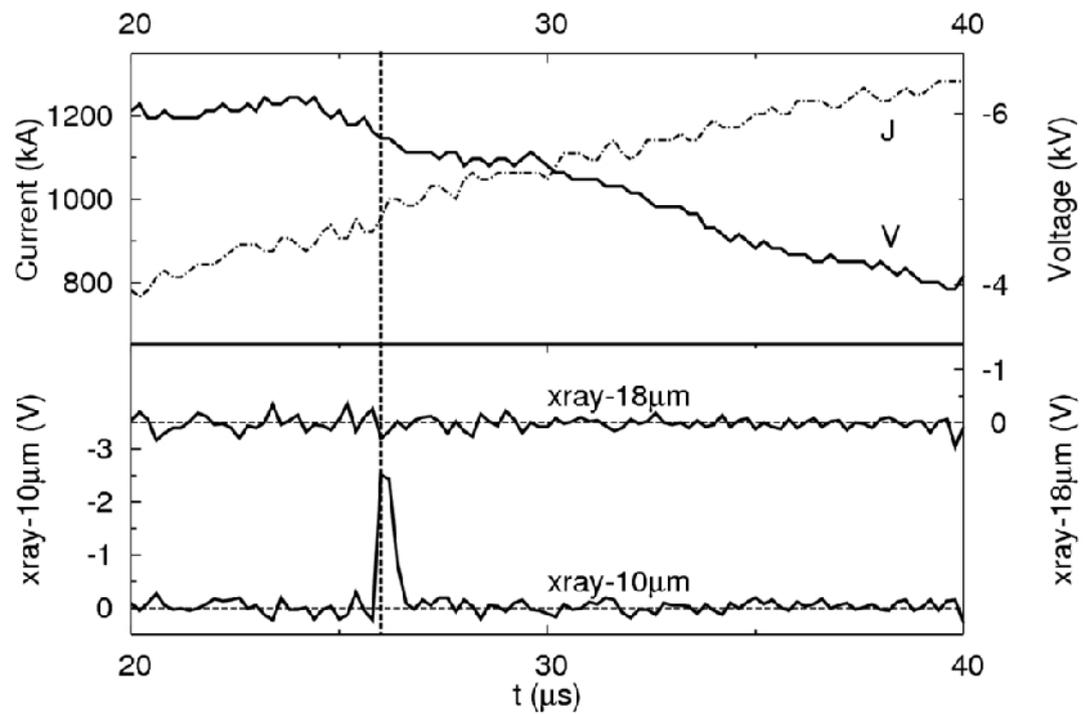
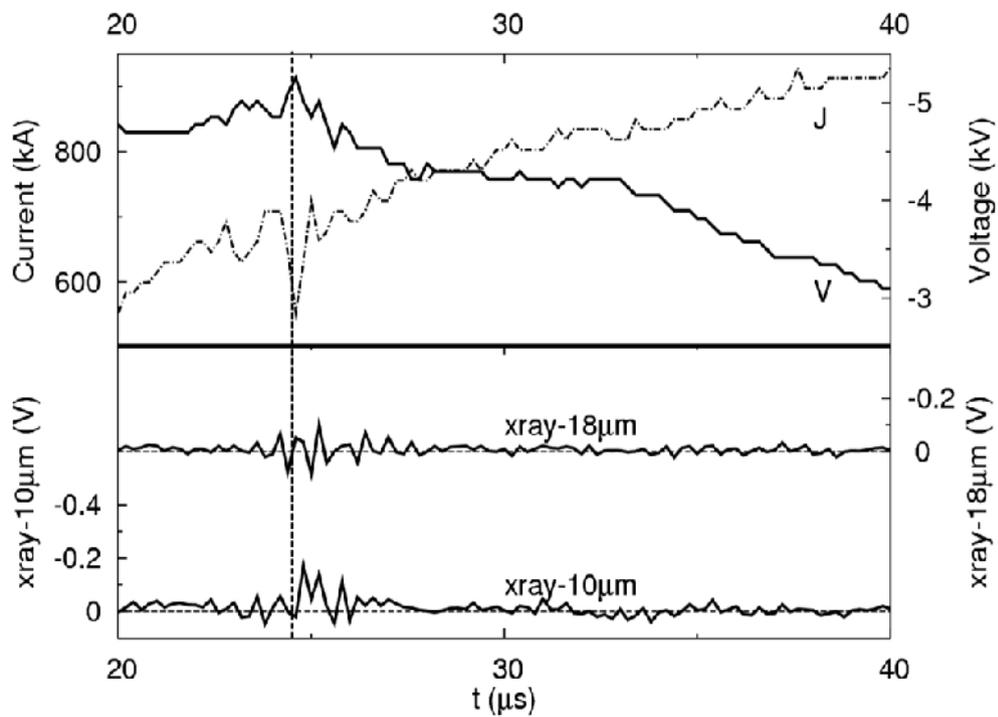
Signal oscillations

Fig. 8. Oscillation of X-Ray signal (X-Ray) and voltage (V). Filter - 10 μm Al foil. X-Ray Diode was set in 160 mm from discharge chamber axe. Initial hydrogen pressure 5 MPa. Steel electrodes of 20 mm diameter. Interelectrode gap is 20 mm.



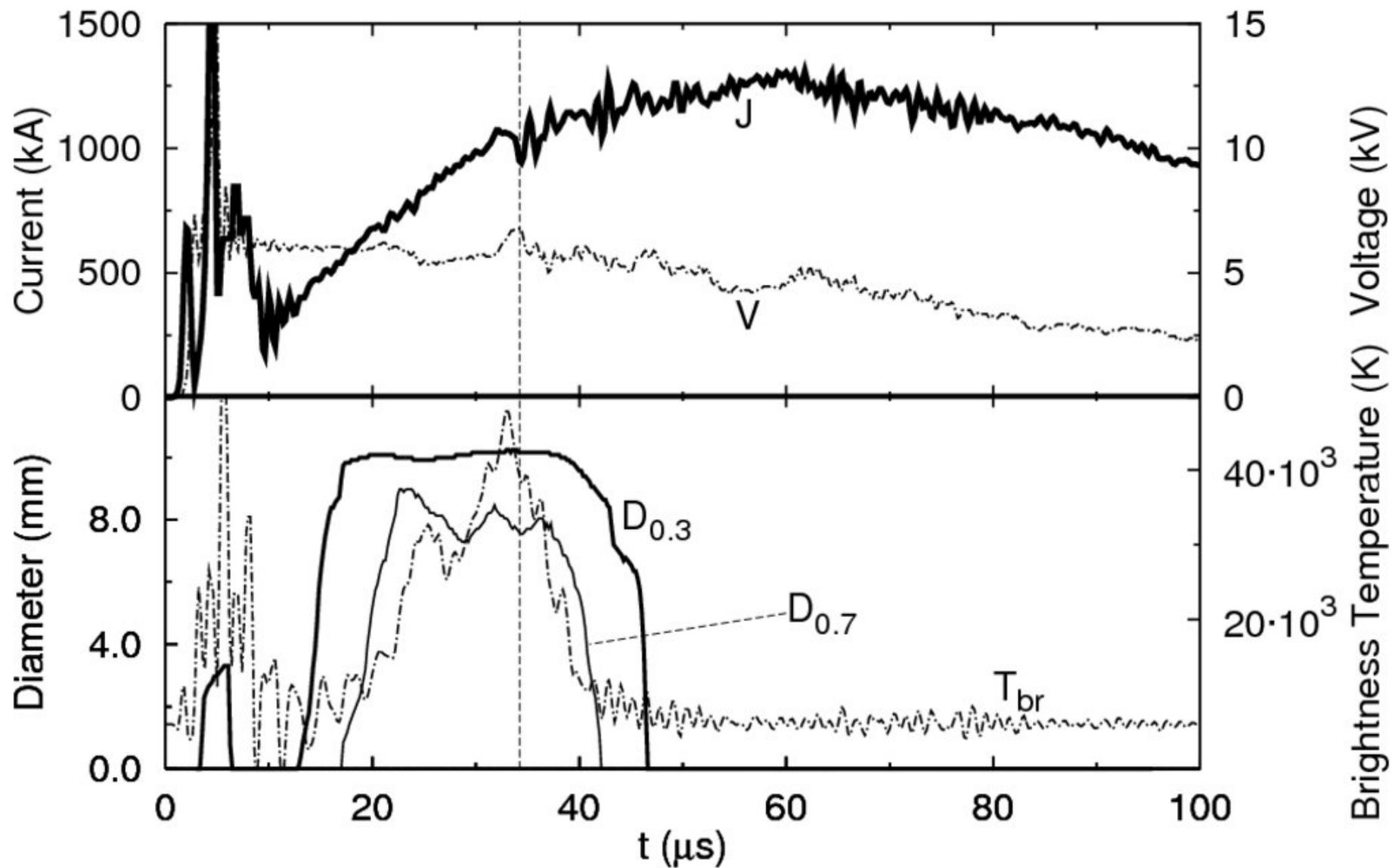
X-RAY SIGNALS WITH CURRENT AND VOLTAGE CURVES (H_2 , P_0 - 7 MPa).

a - V_0 -12 kV, b - V_0 -16 kV.

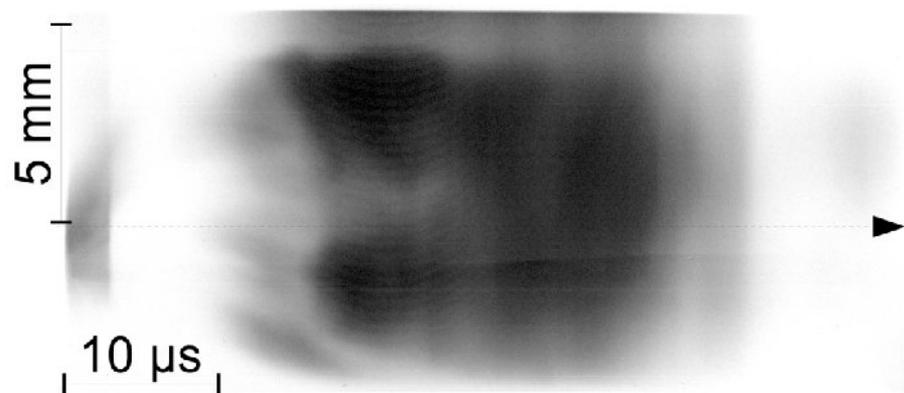


Разряд при начальном давлении водорода перед разрядом 32 МПа.

Зависимости от времени диаметра канала по уровню яркости 0.3 и 0.7 от максимальной ($D_{0.3}$ и $D_{0.7}$ соответственно), яркостной температуры (T_{br}) в центре канала, осциллограммы тока (J), напряжения (V). Стальные полусферические электроды диаметром 20 мм. Межэлектродное расстояние 20 мм.



Разряд при начальном давлении водорода перед разрядом 32 МПа.

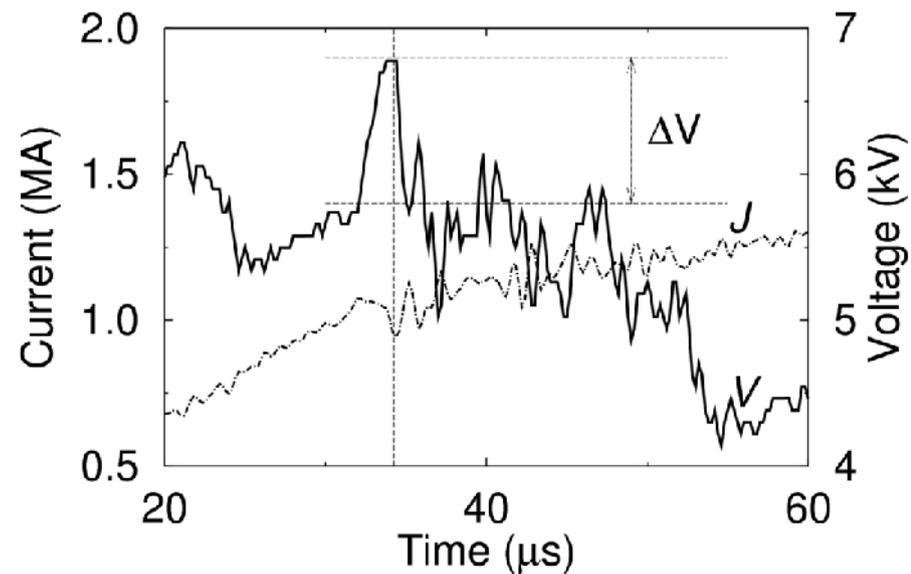
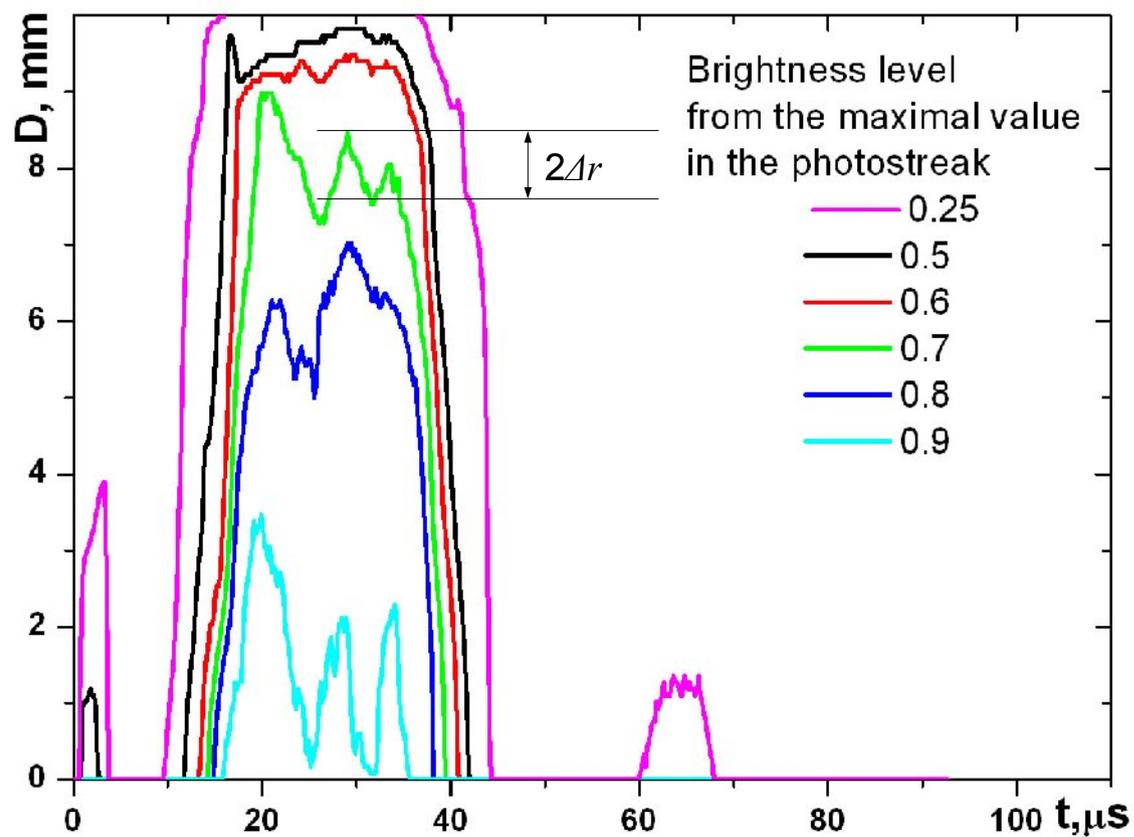


$$E = J / \pi r^2 \sigma;$$

$$\Delta E = (\partial E / \partial r) \Delta r$$

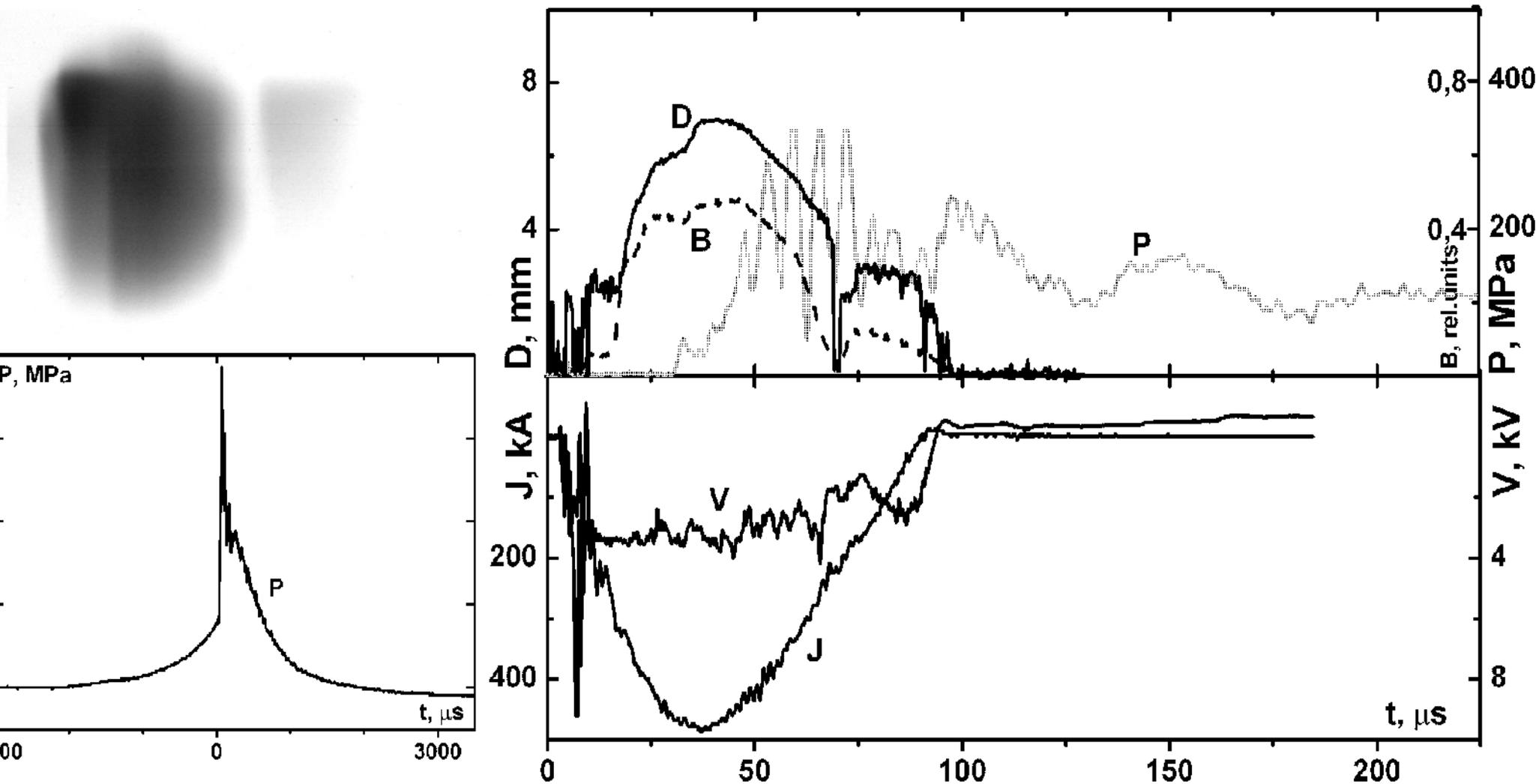
$$\Delta r = r(\Delta E / 2E)$$

$$\Delta r \sim 0.05 \text{ cm}$$

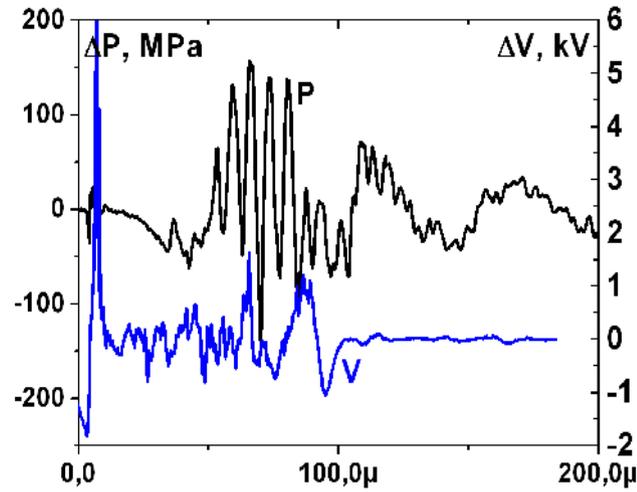
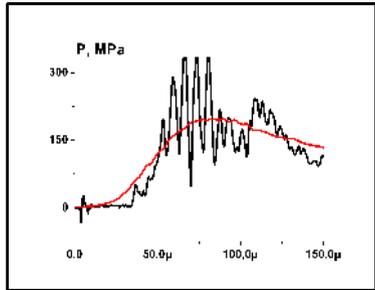
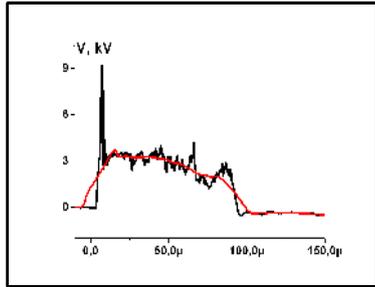


Разряд при начальном давлении водорода перед разрядом 110 МПа.

Фоторазвертка в центре межэлектродного промежутка; зависимости от времени диаметра канала (D), яркости (B) в центре канала, осциллограммы тока (J), напряжения (V) и давления (P). Вольфрамовые электроды диаметром 6 мм. Межэлектродное расстояние 12 мм.



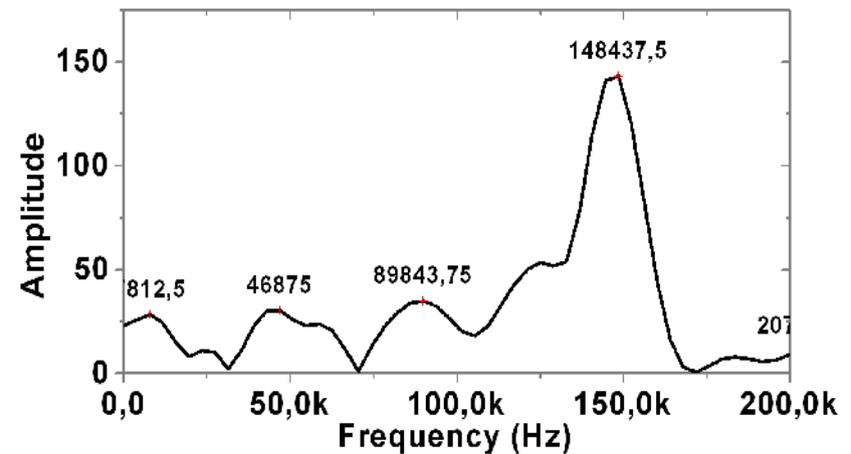
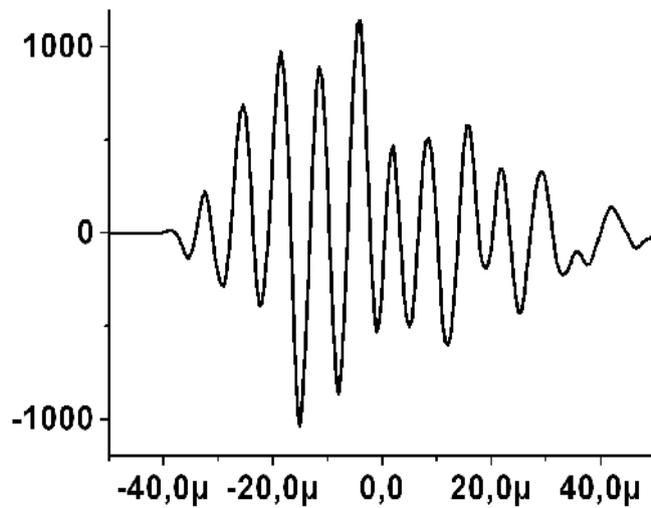
Разряд при начальном давлении водорода перед разрядом 110 МПа.



Осциллограммы напряжения и давления с усредненными кривыми на базе 50 μ s и соответствующие им разностные кривые

Функция корреляции разностных кривых напряжения (20-70 μ s) и давления (50-100 μ s).

Спектр функции корреляции разностных кривых



Параметры канала

$T = 10^5 \text{ К}$, $n_i = 1.6 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $r = 0.35 \text{ см}$ по проводимости и давлению

$$l_R = \frac{4.4 \times 10^{22} T^{7/2}}{n_i \bar{m} (\bar{m} + 1)^2} \approx 10^{-2} \text{ см} \longrightarrow \text{АЧТ}$$

Баланс мощности при наличии акустических колебаний

$$N_l + P_a + P_b \sim IEl,$$

где N_l - мощность излучения через окно прозрачности,

P_a — полная излученная акустическая мощность на стенки,

P_b - мощность сходящихся в центре канала акустических колебаний

$$N_l = 2 \pi r l \sigma T^4 \frac{\int_0^x \frac{x^3 dx}{e^x - 1}}{\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1}}, \text{ где } x = \frac{h\nu}{kT}, h\nu = 13.6 \text{ эВ}$$

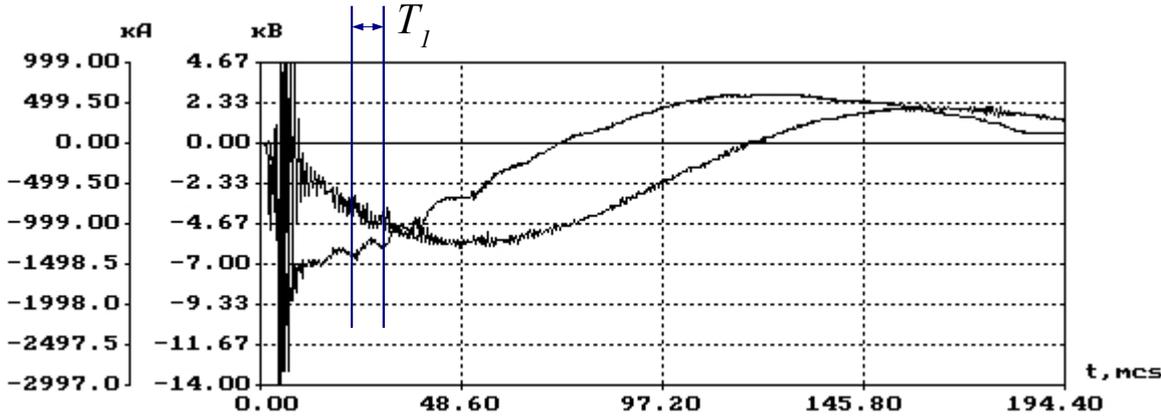
$$P_a = I 2 \pi R^2 \frac{\lambda}{l}, \text{ где } I = \frac{1}{2} \frac{P_m}{\rho c} - \text{интенсивность излучения на стенке разрядной камеры радиуса } R$$

$$P_b = I 2 \pi r l$$

$$N_l = 1.6 \times 10^8 \text{ Вт}; \quad \underline{P_a = 4.2 \times 10^8 \text{ Вт}}; \quad P_b = 1.5 \times 10^8 \text{ Вт};$$

$$N_l + P_a + P_b = 7.3 \times 10^8 \text{ Вт} \quad IEl = 7.6 \times 10^8 \text{ Вт}$$

Колебания канала разряда обусловленные выравниванием магнитного и газокинетического давления



$$T = \frac{56 r^2}{J} \sqrt{\frac{m n}{(\gamma - 1)}}$$

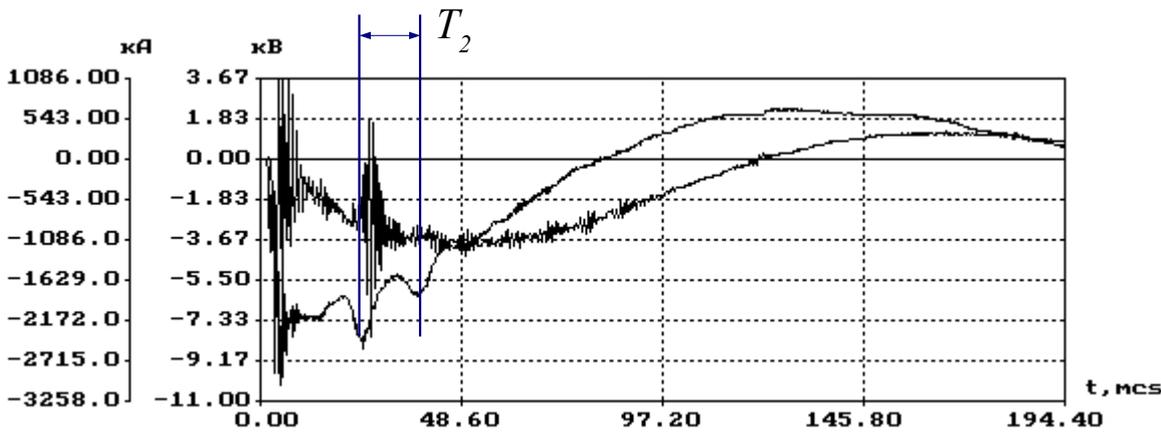
где r – радиус канала разряда [см];

J – величина тока [А];

m – масса атома металла в канале [г];

n – концентрация металла в канале [см⁻³].

Стальные электроды и стальная иницирующая проволочка



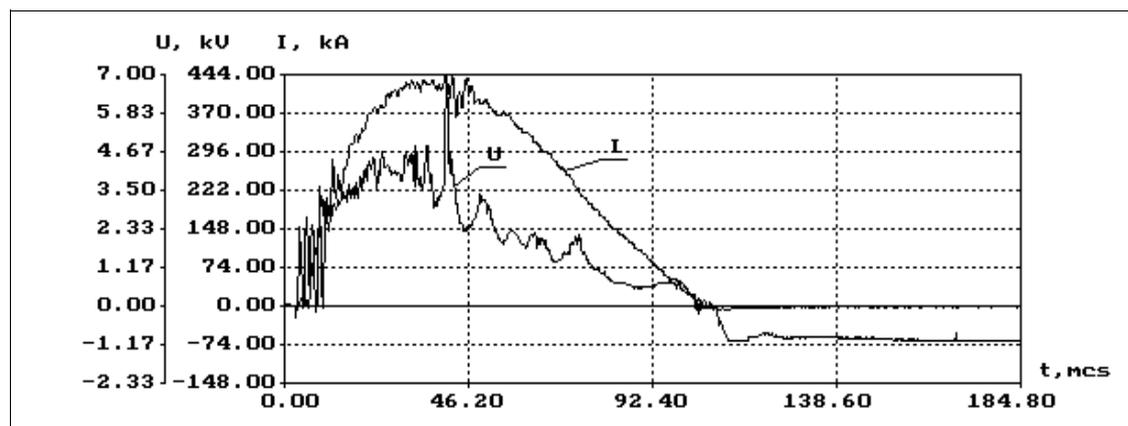
$$T_1 / T_2 \approx \sqrt{m_1 / m_2}$$

Вольфрамовые электроды и вольфрамовая иницирующая
проволочка

Параметры акустических колебаний, возникающих в объеме разрядной камеры

№ опыта	$P_{нач}$ МПа	ρ г/см ³ $\times 10^{-2}$	$C_{нач}$ см/с $\times 10^5$	$T_{нач}$ расчетное μ s	$T_{нач}$ эксп μ s	P_{max} МПа	C_{max} (максимум тока) см/с $\times 10^5$	$T_{расч}$ (максимум тока) μ s	$T_{эксп}$ (максимум тока) μ s	Примечание
N5	30	2.03	1.58	15.6	16	180	3.76	8.5	5.9	по напряжению
N28	84	3.47	2.12	15	15		3.67	8.7	7.7	по напряжению и давлению
N23	104	4.22	2.19	15	14	360	4.07	7.8	6.9	по напряжению
N34	110	4.16	2.68	12		310	4.49	7.1	6.7	по давлению

Резонанс акустических колебаний с колебаниями, обусловленными выравниванием магнитного и газокINETического давления.



Ток и напряжение на разрядном промежутке при начальной концентрации частиц $n_0 = 1.5 \times 10^{22}$ см⁻³ (межэлектродный промежуток 10 мм, вольфрамовые электроды диаметром 6 мм).

Заключение

- 1. На основании экспериментальных данных и расчетных оценок определен токовый диаметр канала разряда.*
- 2. При изменении материала иницилирующей проволочки изменение периода колебаний пропорционально корню из атомного номера. Этот факт является аргументом в пользу того, что колебания диаметра канала разряда, протекающего в парах металла, связаны с выравниванием магнитного и газокинетического давления.*
- 3. При начальных давлениях ~ 100 МПа на нагрев газа в разрядной камере акустическими волнами вблизи максимума энерговыделения уходит половина вложенной в канал электрической мощности.*

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



*Институт электрофизики и
электроэнергетики
Российской Академии наук
(ИЭЭ РАН)*

*191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 18
rc@iperas.nw.ru
pinchme@mail.ru
тел.: 7(812) 315 1757, факс: 7(812) 571 5056,*