

Научно-координационная сессия "Исследования неидеальной плазмы"
4 - 5 декабря 2007 г., Москва

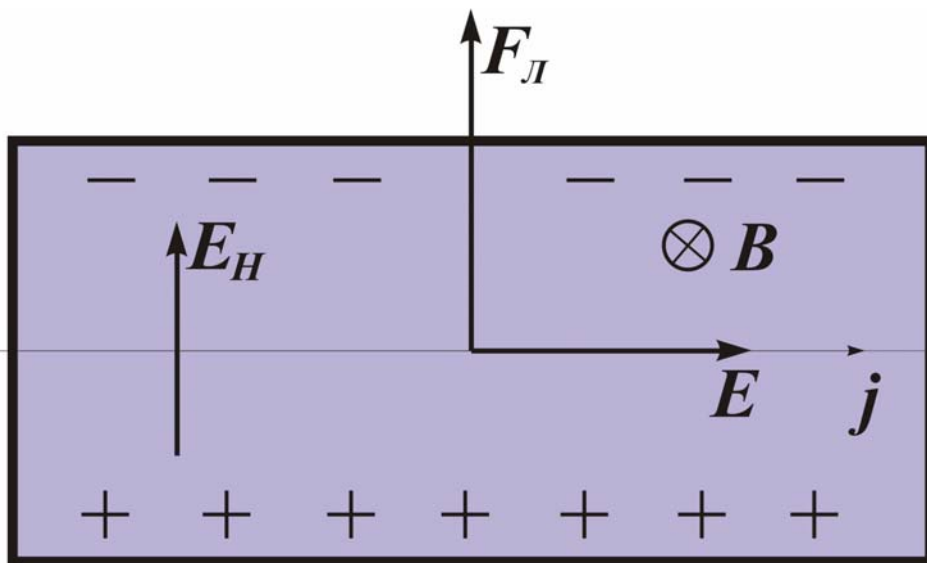
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЯ
НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ АРГОНА
В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Юрьев Д.С., Шилкин Н.С., Минцев В.Б., Фортов В.Е.

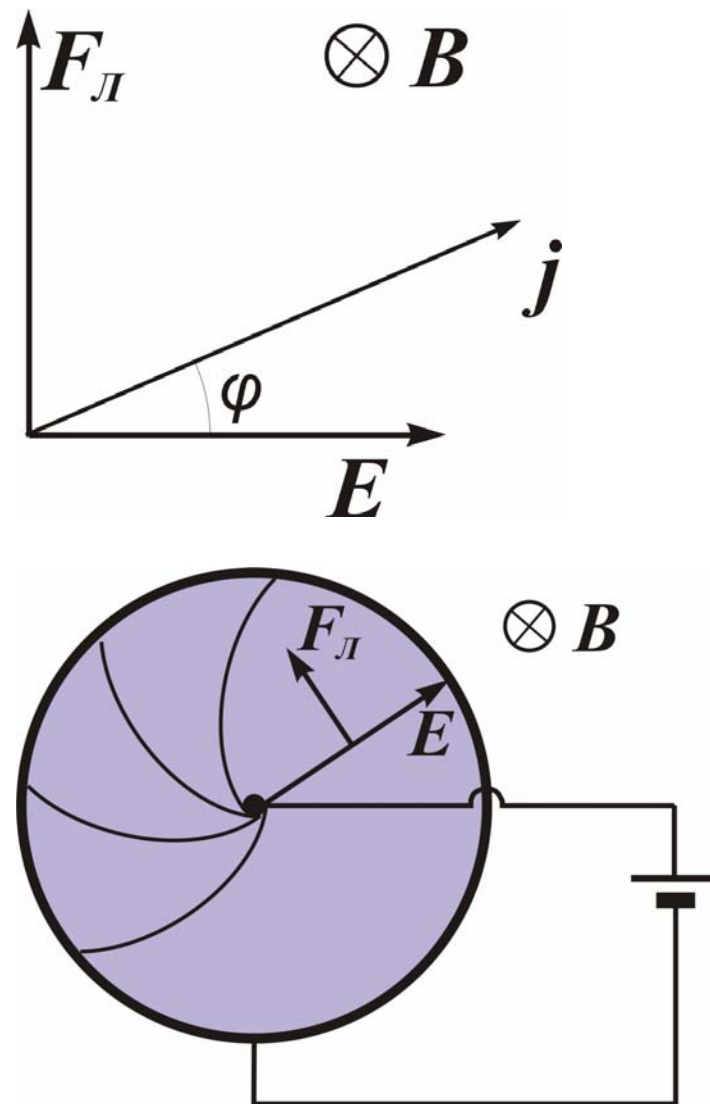
ИПХФ РАН, Черноголовка

МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ

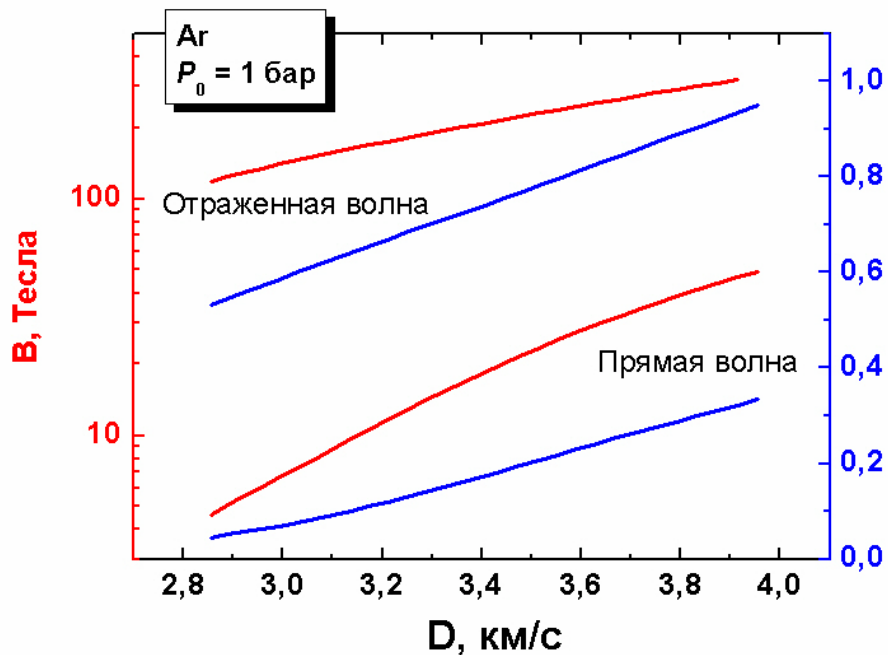
ОГРАНИЧЕННАЯ СРЕДА



НЕОГРАНИЧЕННАЯ СРЕДА



ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НЕИДЕАЛЬНОЙ ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ

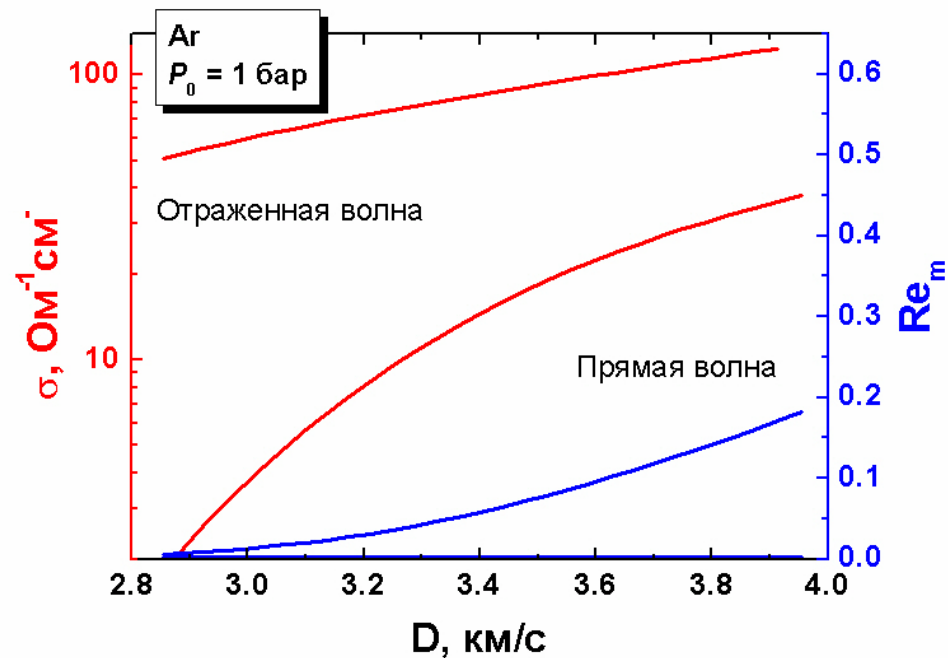


КРИТЕРИЙ ЗАМАГНИЧЕННОСТИ

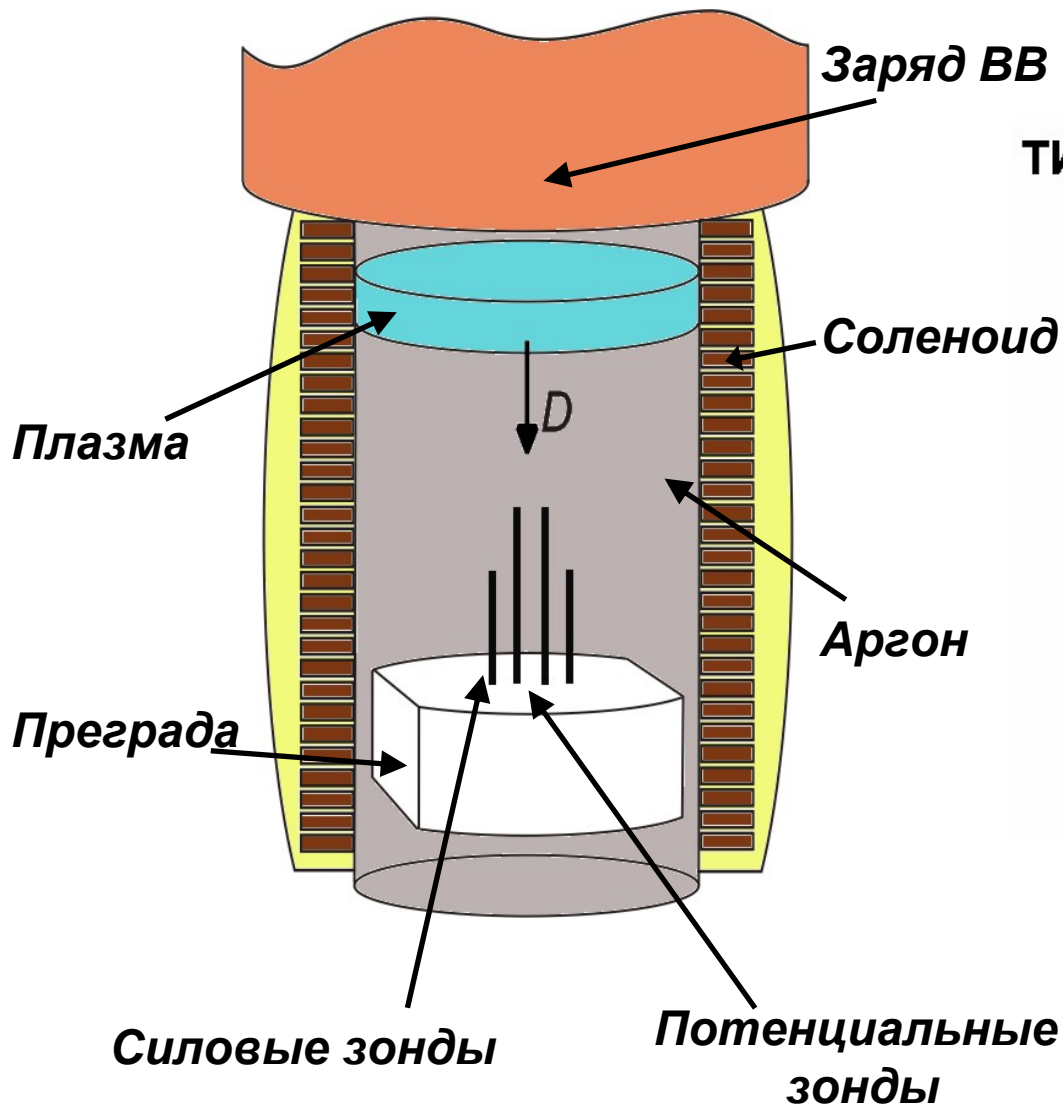
$$\omega\tau = 1$$

$$\omega = \frac{eB}{m_e} \text{ - циклотронная частота}$$

$$\tau = \frac{\sigma_0 m_e}{n_e e^2} \text{ - время релаксации}$$



ВЗРЫВНОЙ ГЕНЕРАТОР



ТИПИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ:

$$D = 2,8 - 4,2 \text{ км/с}$$

$$P = 100 - 200 \text{ бар}$$

$$T = 8000 - 13000 \text{ К}$$

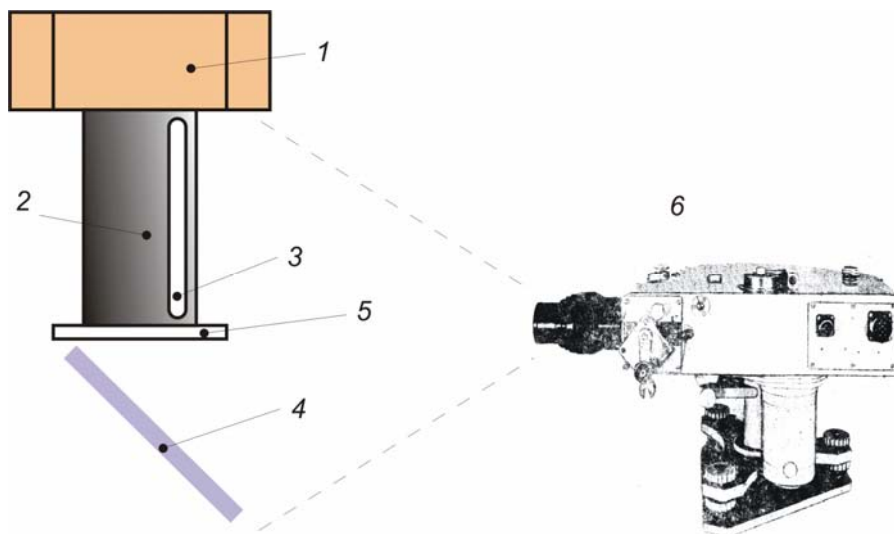
$$\Gamma_D = 0,05 - 0,4$$

$$\sigma = 1 - 30 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$$

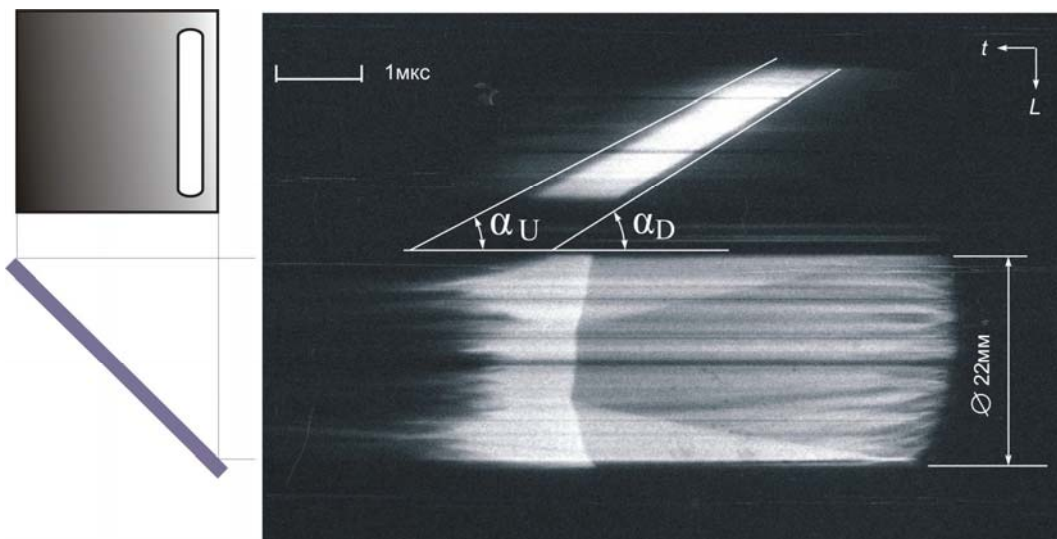
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

$$B = 10 - 30 \text{ Тесла}$$

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЗРЫВНОГО ГЕНЕРАТОРА



- 1 – труба под ВВ
- 2 – канал генератора
- 3 – окошко из оргстекла
- 4 – зеркало
- 5 – пластина из оргстекла
- 6 – ВФУ-1



α_D, α_U – углы наклона профилей фронта ударной волны и массовой скорости

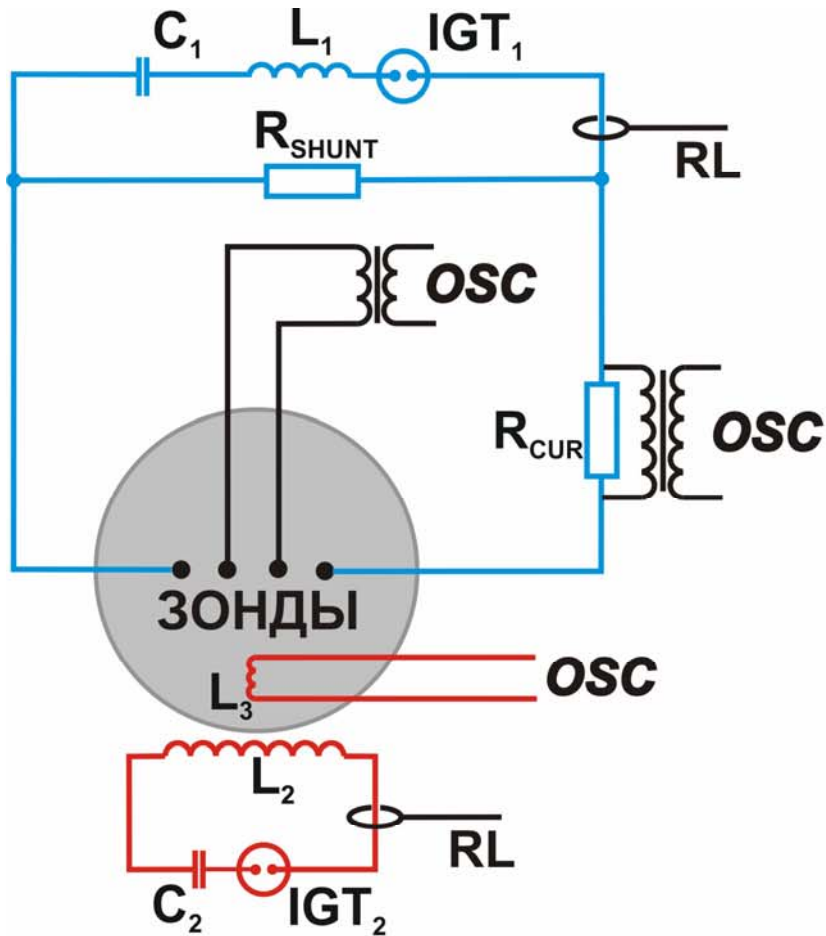
Аммонит

$$D = 5,6 \text{ км/с}, U = 4,7 \text{ км/с}$$

$$D = V M \operatorname{tg} \alpha_D$$

$$M = \frac{\text{Ø image}}{\text{Ø 22mm}}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА



■ Электрическая цепь формирующая ток через плазму

C_1 - Конденсаторная батарея

L_1 - Индуктивность

IGT_1 - Игнитронный разрядник

■ Электрическая цепь соленоида

C_2 - Конденсаторная батарея

L_2 - Соленоид

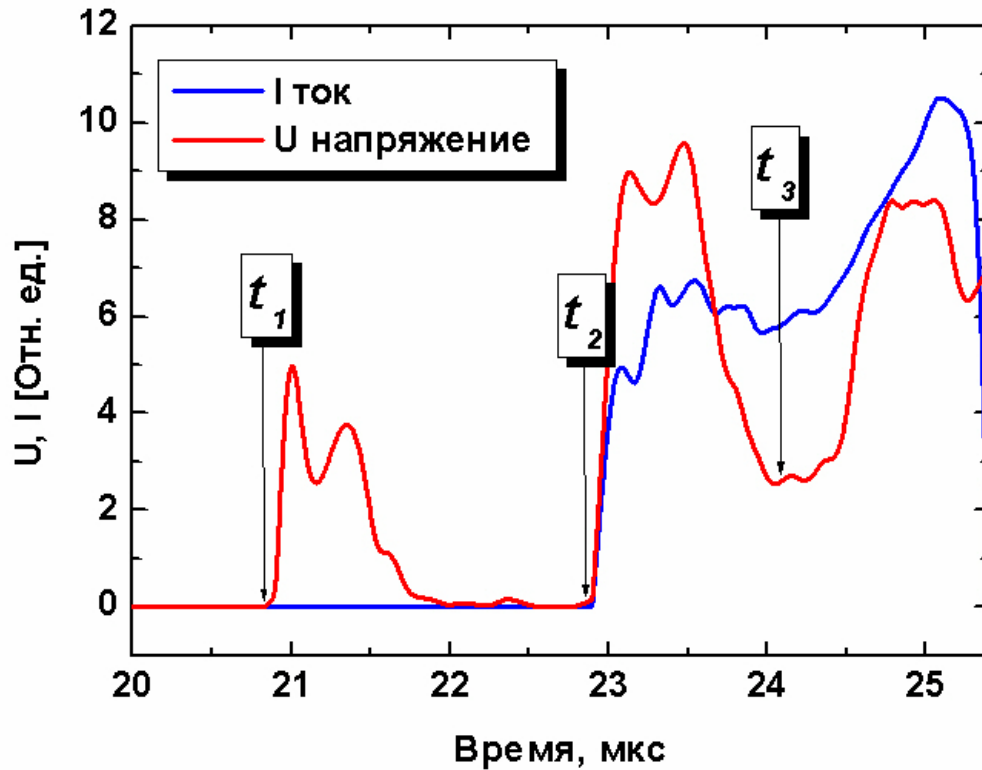
IGT_2 - Игнитронный разрядник

L_3 - Индуктивный датчик

OSC - Осциллограф

RL - Пояс Роговского

ОСЦИЛЛОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТА



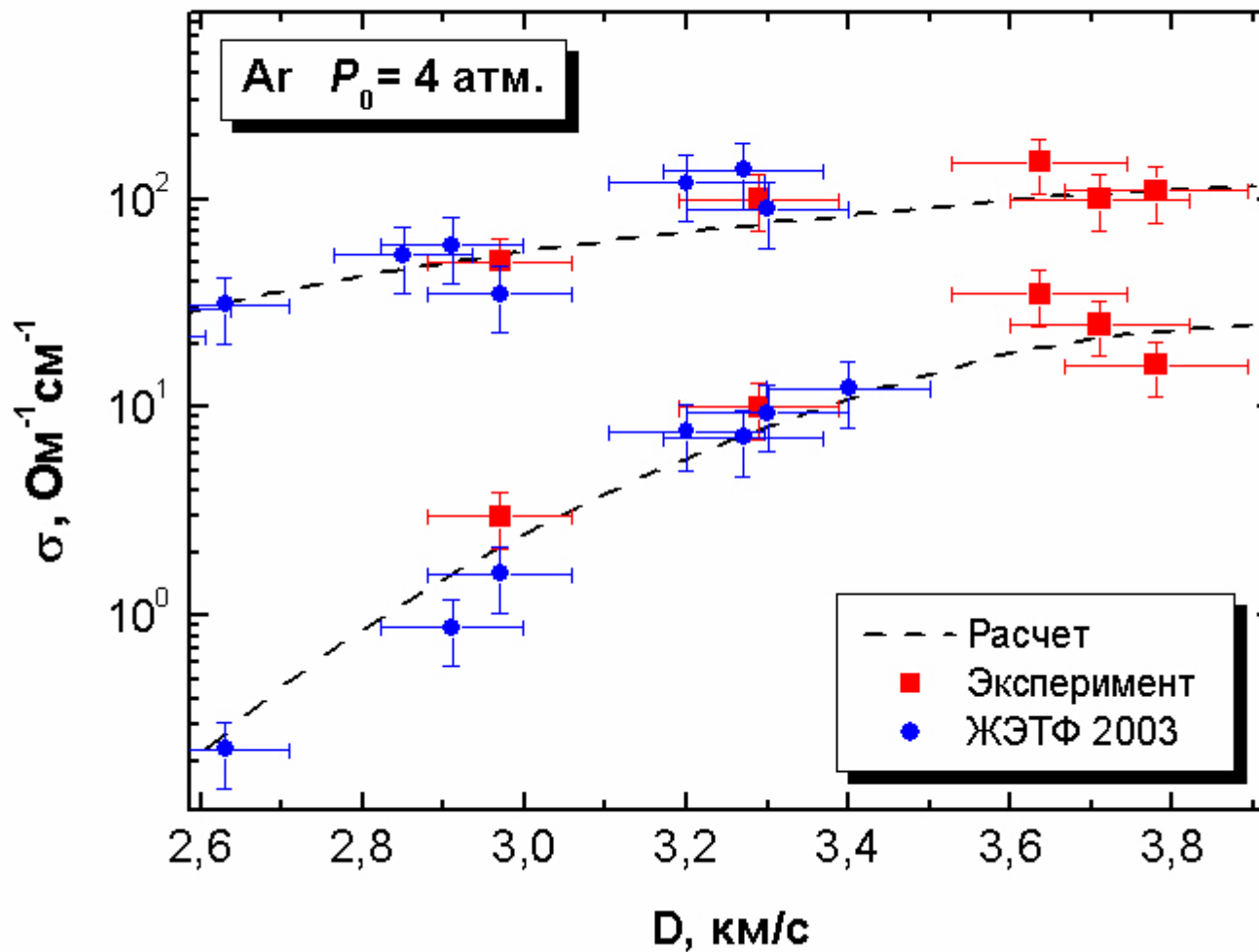
Проводимость в прямой волне

$$\sigma_1 = \frac{I(t)Q}{U(t)h_1(t)}$$

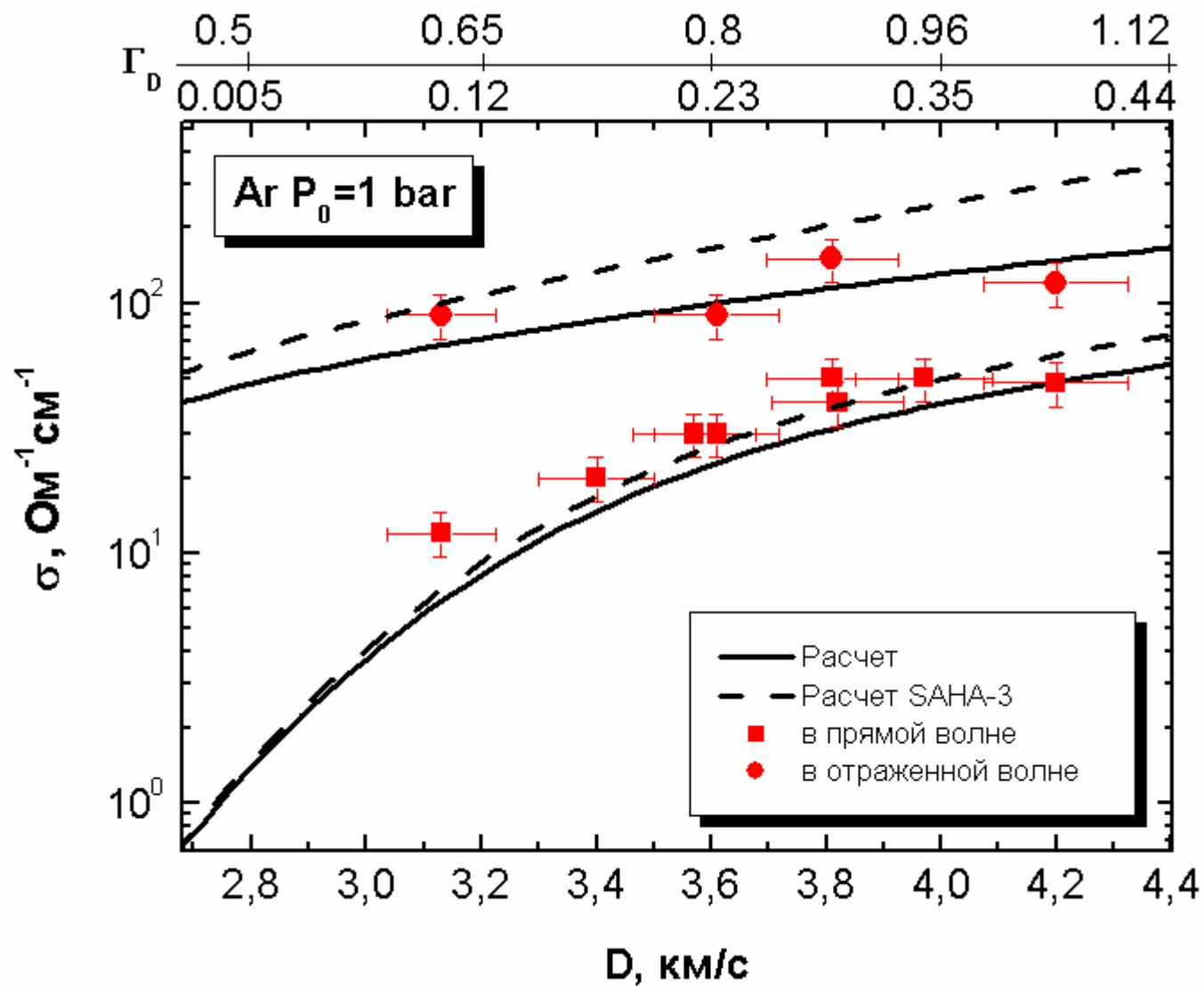
Проводимость в отраженной волне

$$\sigma_2 = \left(\frac{I(t)Q}{U(t)} - \sigma_1(t)h(t) \right) \frac{1}{h_2(t)}$$

ПРОВОДИМОСТЬ ПЛАЗМЫ АРГОНА $P_0=4$ атм.



ПРОВОДИМОСТЬ ПЛАЗМЫ АРГОНА $P_0=1$ атм.



РАСЧЕТ ПРОВОДИМОСТИ

$$\sigma = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \frac{e^2 n_e (kT)^{-5/2}}{m_e} \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon^{3/2} \tau(\varepsilon) \exp(-\varepsilon/kT)}{1 + (\omega\tau(\varepsilon))^2} d\varepsilon$$

$$\tau(\varepsilon) = \left[\sum_j \frac{(v_{ei}(\varepsilon))_j}{\gamma_j} + v_{ea}(\varepsilon) \right]^{-1} \quad \text{– время релаксации импульса электрона}$$

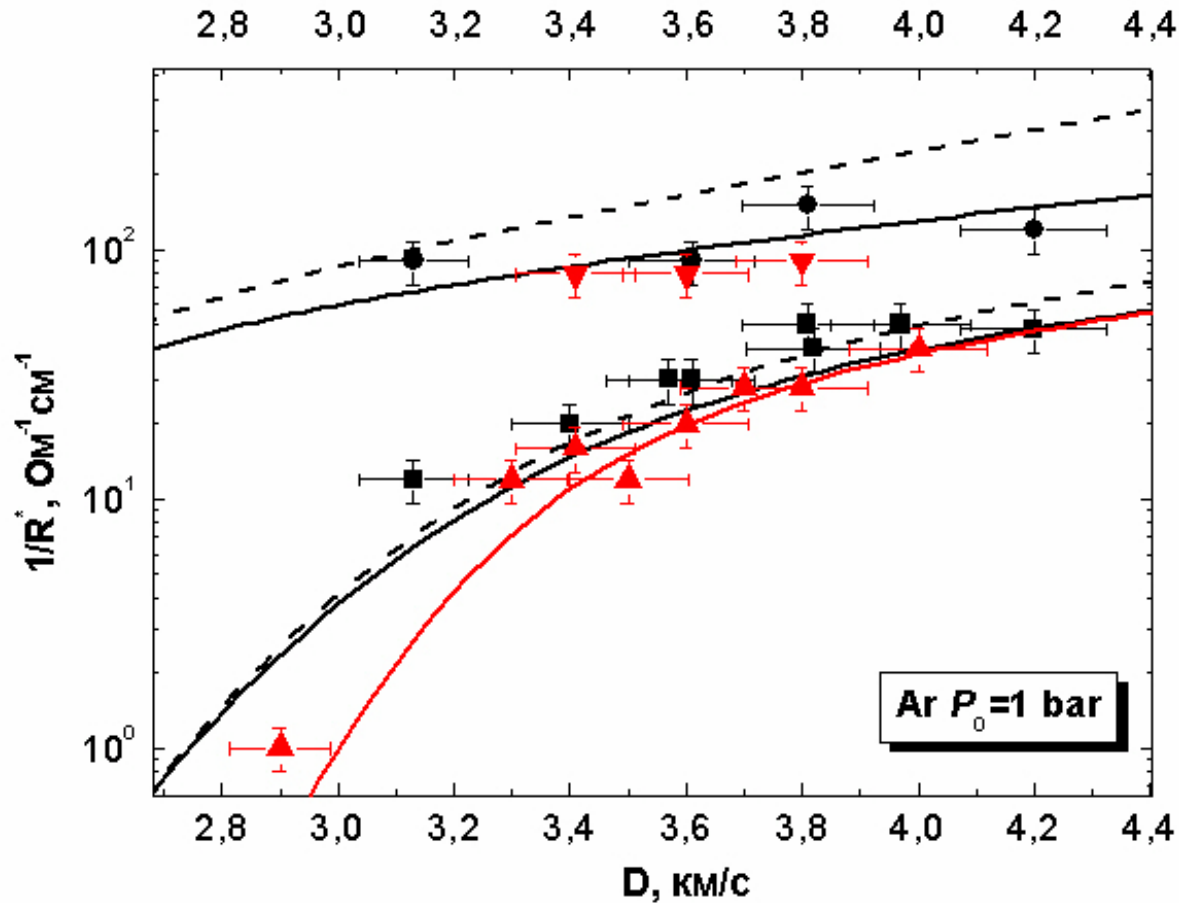
$$v_{ea}(\varepsilon) = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{m_e}} n_a Q_{ea}(\varepsilon) \quad \text{– частота столкновения электронов с атомами}$$

$$v_{ei}(\varepsilon) = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{m_e}} n_i Q_{ei}(\varepsilon) \quad \text{– частота столкновения электронов с ионами}$$

$$Q_{ei}(\varepsilon) = \sum_j \frac{Z_j^2 \pi e^4}{\varepsilon^2} I_j(\varepsilon) \quad I_j(\varepsilon) = \frac{1}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{2\varepsilon r_D}{e^2} \right)^2 \right] \quad r_D = \sqrt{\frac{kT}{8\pi e^2 n_e}}$$

$Q_{ea}(\varepsilon)$ – Frost L.S., Phelps A.V. // Physical Review.–1964.–V.136,N.6A

МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛАЗМЫ АРГОНА



— Расчет при $B=0$

— Расчет при $B=17 \text{ Т}$

- - - Расчет SAHA 3

прямая волна

■ - $B=0$

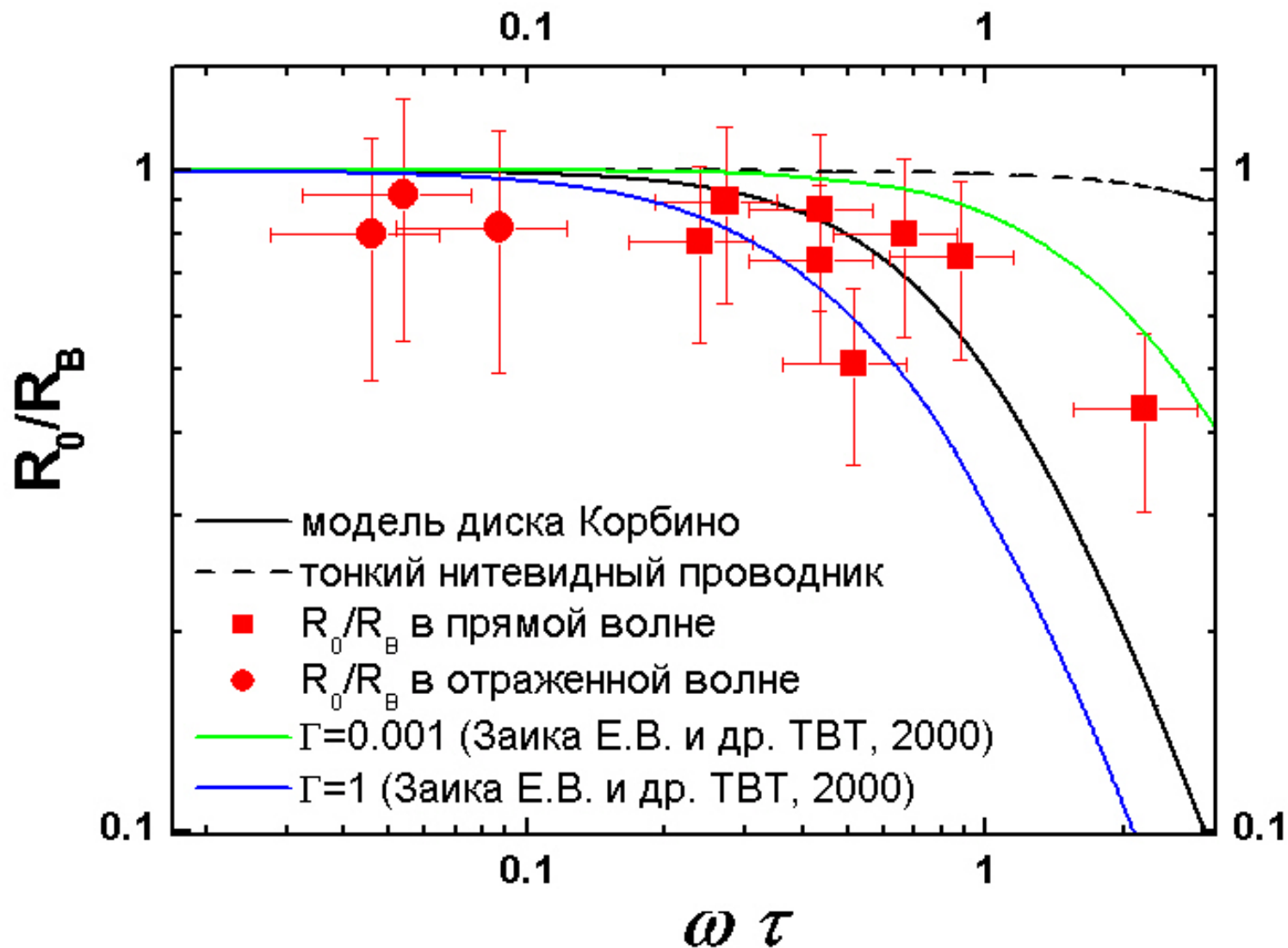
▲ - в магнитном поле

отраженная волна

● - $B=0$

▼ - в магнитном поле

МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛАЗМЫ АРГОНА



ВЫВОДЫ

- Выполнены измерения магнетосопротивления неидеальной плазмы в полях 17–22 Т. Исследована плазма аргона в следующем диапазоне параметров: $P = 100\text{--}200$ бар, $T = 8000\text{--}13000$ К, $\Gamma_D = 0,005\text{--}0,4$
- Зарегистрированное влияние магнитного поля на магнетосопротивление описывается в рамках τ – приближения кинетического уравнения Больцмана

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЗРЫВНОГО ГЕНЕРАТОРА

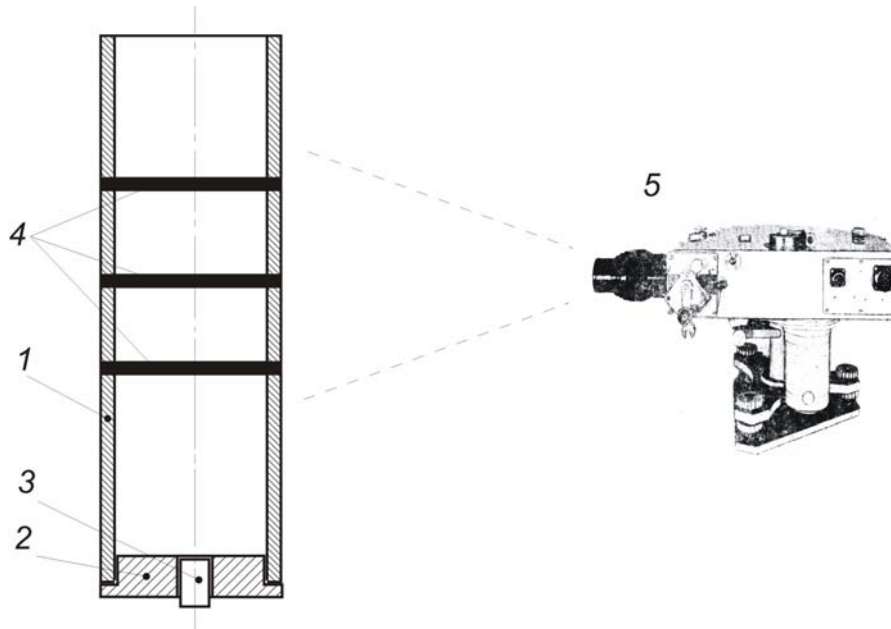
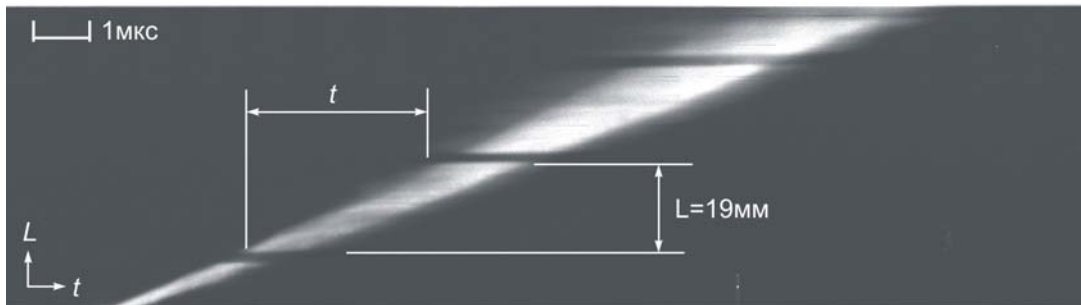


Схема проверки
стационарности детонации

1 – стеклянная труба,
2 – заглушка с отверстием
под детонатор,
3 – электродетонатор,
4 – реперные отметки,
5 – ВФУ-1.

Аммонит,
 $D_{det} = 3,5 \text{ км/с}$



$$V = 2\omega r \left(1 + \frac{a}{r} \cos \psi\right)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЗРЫВНОГО ГЕНЕРАТОРА

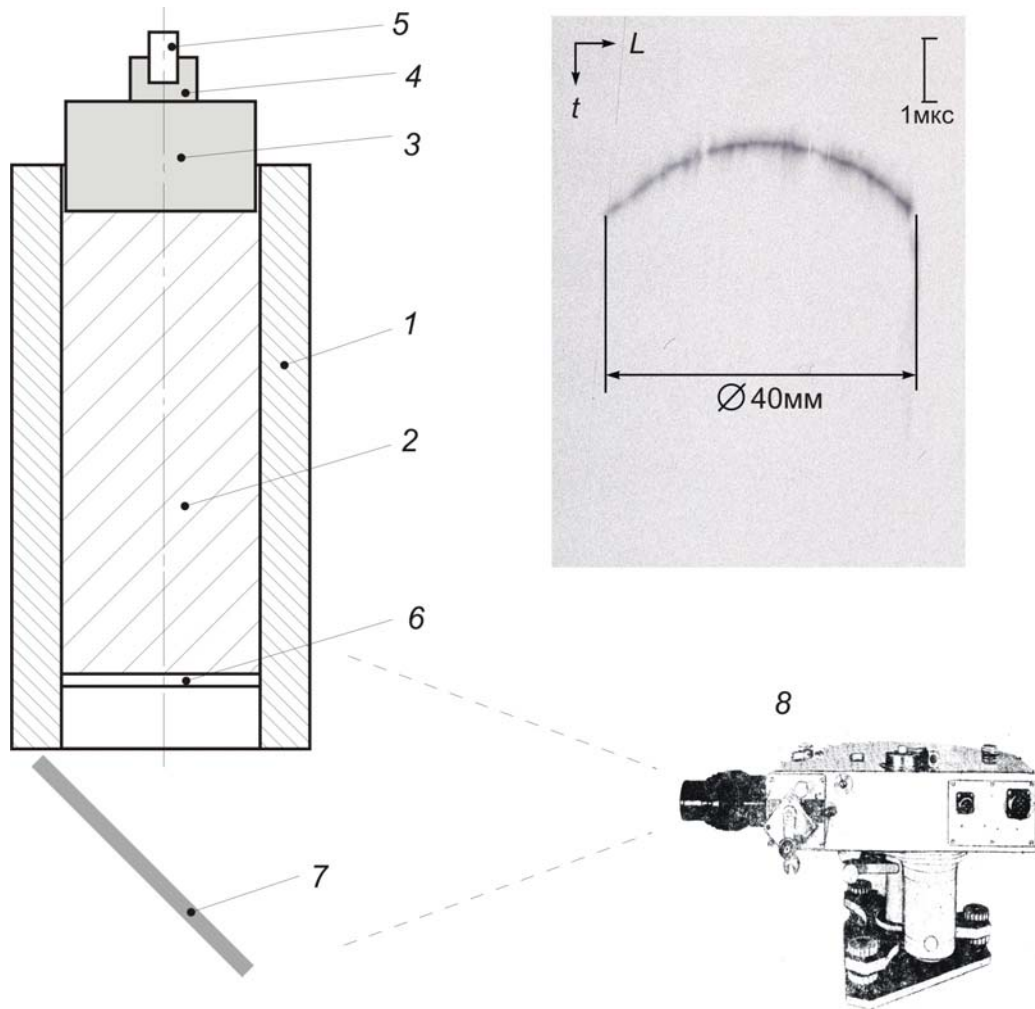


Схема проверки одномерности фронта детонационной волны.

- 1 – труба под ВВ,
- 2 – насыпное ВВ,
- 3 – взрывная линза,
- 4 – таблетка под детонатор,
- 5 – электродетонатор,
- 6 – пластина из оргстекла,
- 7 – зеркало,
- 8 – ВФУ-1

ТЕЧЕНИЕ ПЛАЗМЫ В КАНАЛЕ ГЕНЕРАТОРА

