



Когерентные электроны на фронте ударной волны (УВ) и **LENR**

Климов А.И.

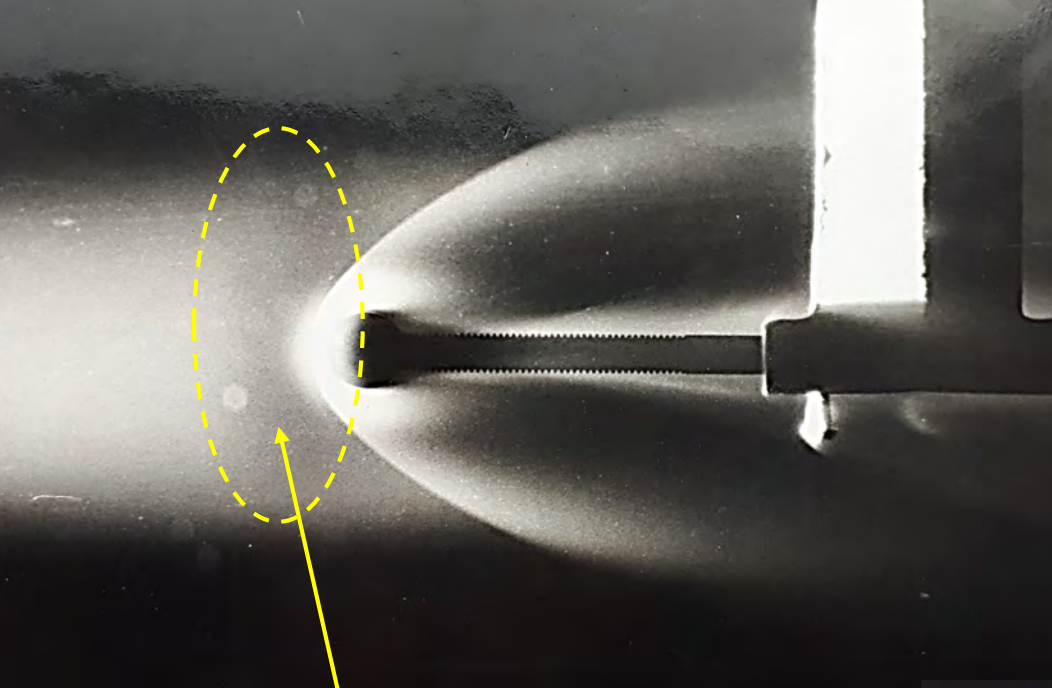
klimov.anatoly@gmail.com

РКХТЯ и ШМ-28, 2026, Москва, РФ

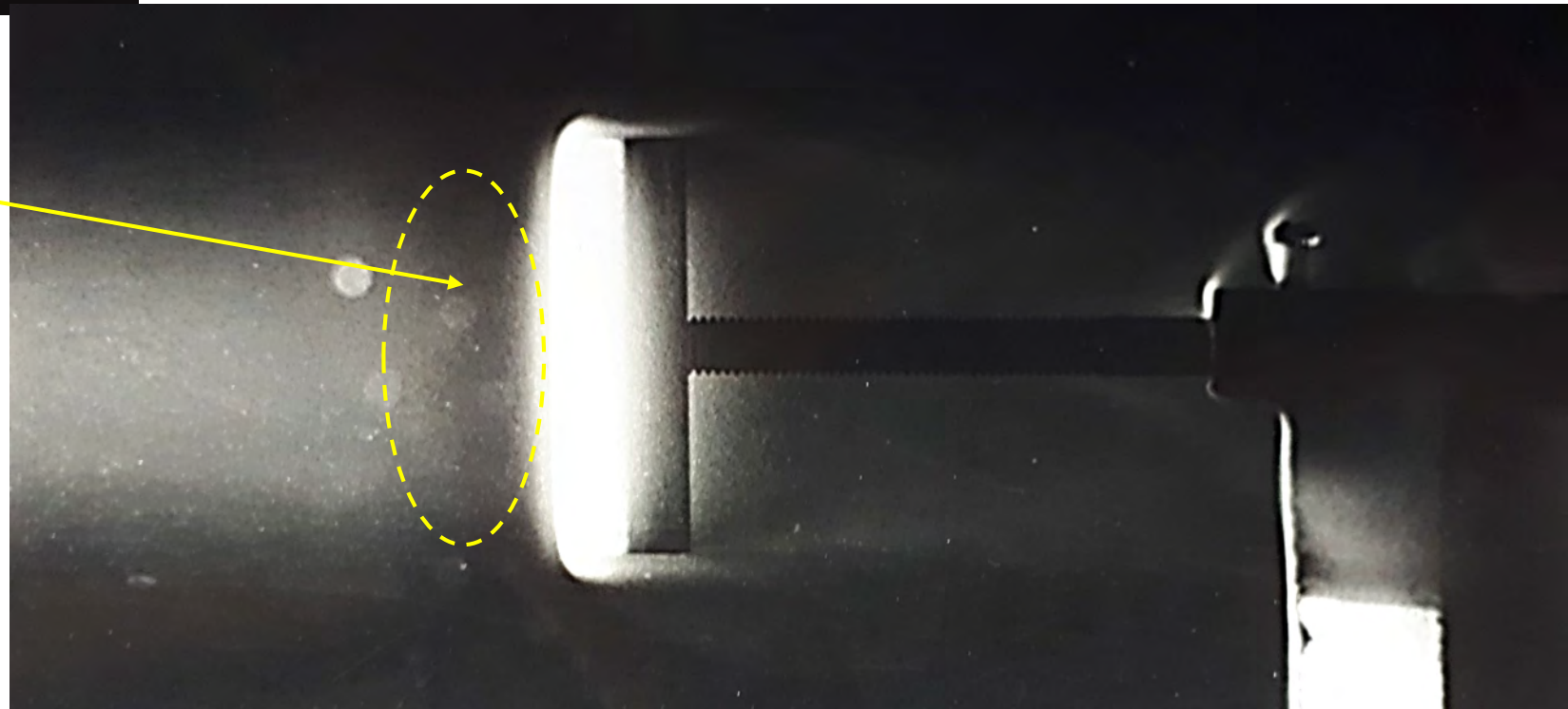
Формирование
предвестников перед
фронтом УВ в СНП
и *LENR*

Число **$M=2.4$**

20:14
4.12.1998



Предвестник перед УВ
Число **М~6**



Введение

Часть 1

- Существуют гипотезы, которые утверждают, что наличие кластеров из когерентных электронов **(ЭК)** являются основой физики LENR в твердом теле.
 - Согласно рабочей концепции Сторма Э.[1] такие **ЭК** образуются на поверхности **сферических пустот** металлов из электронов проводимости (активные точки **NAE**).
 - Многие работы В. Высоцкого [2], и П. Хогельстейна [3], посвящены LENR на основе **когерентных электронов и протонов**. Именно о таких **ЭК** говорили в свое время К. Шаулдерс и Г. Месяц. Такие ЭК получили название **EVO** или **эктоны**.
 - С другой стороны остается не ясным вопрос о том, как можно создать такие когерентные ЭК?
- В этой работе рассматривается возможный ответ на поставленный вопрос.

[1], Edmund Storms, The Nature of Cold Fusion J. Condensed Matter Nucl. Sci. 38 (2024) 1–362

[2], Peter L. Hagelstein Thoughts on a Model of Vysotskii and Vysotsky, J. Condensed Matter Nucl. Sci. 38 (2024) 1–362

[3], Plasma V. I. Vysotskii, M. V. Vysotsky, Mechanism and Dynamics of Quasi-Stationary Self-Supporting LENR in Low-Temperature Magnetized Plasma, J. Condensed Matter Nucl. Sci. 38 (2024) 1–362

Введение

Часть 2. Задел

1. В нашей работе [1] убедительно было показано, что **поток ультра холодных нейтронов** способен вызвать цепочку превращений химических элементов, очень похожую на циклическое превращение элементов на звездах за счет ядерного синтеза.
2. **Поток ускоренных электронов** (суб-релятивистских, порядка 100 КэВ) способен при торможении на мишени вызывать **поток рентгеновского излучения** 
 - развал дейтона **D** на протон **P** и нейтрон **N**.
 - Далее нейтрон вызывает реакцию синтеза и трансформации: - **T, He3, He4** и др., [2]
3. В нашей работе [3] показано, что в гетерогенной плазме **(n*Me + H+)** на фронте УВ может происходить формирование сильных электрических двойных слоев с разностью потенциалов **до 10 кВ** и выше. Поэтому на фронте УВ (**:-миниатюрном ускорителе**) происходит ускорение плазменных электронов **до КэВ - энергий**.
4. Именно на такой механизм ускорения электронов и создания когерентных электронов указывали в своих работах П. Хогельстейн и В. Высоцкий [4].

[1]. Евстигнеев Н., Рябков О., О расчете кинетики превращений химических элементов под действием потока нейтронов, Протокол NewInflow, 2016

[2] Anderson J. A., et. al., Phys. Rev. C, 38 (1988) 2838

Какие же силы способны *удерживать электроны* вместе в **ЭК**?

1. Понятно, что такими силами притяжения могут являться только **магнитные спиновые силы электронов**.
2. Но магнитные силы превышают кулоновские электрические силы отталкивания только **для релятивистских электронов**.
3. Размер такого устойчивого образования спаренных электронов (**ЭК**) составляет порядка комптоновского радиуса $R_c \sim 10^{-10}$ см. Энергия связи такой электронной пары составляет порядка $E_{\text{кв}} \sim m_e c^2 \alpha \sim 3.73$ КэВ, [4]
4. Такие пары могут объединиться в **ЭК**. Месяц Г. в своей работе утверждает, что **ЭК** (Эктон) может содержать до **10^{12} электронов и только 10^6 ионов**. Эктон имеет размеры порядка **10^{-4} см**. А это уже странный экспериментальный результат, который требует объяснения.

Возможный механизм образования «странных» атомов A^* с помощью **ЭК**

1. Электронные пары и **ЭК** должны заполнять минимальный квантовый уровень **положительного иона**, т.к. электронные пары: - бозе-частицы.
2. При этом, имея большой отрицательный заряд и находясь на нижнем энергетическом уровне иона, **ЭК своим электрическим полем могут разрушить все электронные оболочки исходного атома** и притягивать своим полем другие положительные ионы.
3. Бозе- частица **ЭК** также может разрушить и остальные присоединенные ионы.
4. В итоге получится **квазинейтральное образование из голых ядер исходных элементов + КЭ**. Получится странное квази-нейтральное образование A^* , в котором **нет электронных оболочек**.
5. Для ионов водорода и электронной пары (**ЭК**) возможно образование:



Как можно создать когерентные ЭК?

- О возможном механизме образования когерентных электронов и других частиц на фронте УВ (или сильной акустической волны или сильный фонон) в твердом теле упоминают в своих работах В. Высоцкий и П. Хогельстейн [2,3],
- Напомним, что взрывное выделение энергии и формирование сверхзвуковых потоков гетерогенной плазмы наблюдаются:
 - в *горячих точках в LENR реакторах*,
 - в *катодных и анодных пятнах* при формировании эктонов,
 - в *кавитационных пузырях в процессах соно-люминесценции* и др.

Во всех перечисленных процессах мы имеем дело **со сверхзвуковыми течениями плазмы и формированием УВ** в них.

Оценка возможных характеристик ЭК на фронте УВ в СНП

- На фронте УВ в гетерогенной плазме может создаваться большая разность электрических потенциалов, порядка 1-10кВ (и более) за счет разной подвижности заряженных частиц на градиентной поверхности фронта УВ (см. нашу работу[1]).
- Такой двойной электрический слой реализуется на ширине фронта УВ, порядка длины свободного пробега иона $L \sim 10^{-5} - 10^{-4}$ см. Характерное время ускорения электронов в таком электрическом поле составляет $T \sim L / V_e \sim 10^{-4} / 10^7 (\sqrt{1000\text{В}/1\text{В}}) \sim 10^{-13}$ с. Характерная длина волны де-Бойля для ускоренных электронов составляет

$$\lambda \sim 10^{-8} \text{ см} / \sqrt{(E \sim 10 \text{ эВ}) / (E \sim 1000 \text{ эВ})} \sim 10^{-10} \text{ см} \sim R_c.$$

- Таким образом, **имеются все условия для создания когерентных электронных пар на фронте УВ.** Если начальная концентрация плазмы $10^{12} - 10^{14} \text{ см}^3$, то за время прохождения ширины фронта УВ $10^8 - 10^{10}$ свободных плазменных электронов могут конвертироваться в когерентные, связанные.
- При этом, количество ионов, которое окажется в зоне ЭК не превысит $10^4 \sim (M_i/M_e)^{-1}$. Таким образом, отношение количества отрицательных электронов к количеству положительных ионов не превышает 10^4 .

Эксперименты с УВ в СНП

Часть 1

Введение Часть 3

Имеется корреляция между нашими экспериментальными результатами по формированию предвестников перед фронтом ударной волны (УВ) в слабоионизованной плазме (СНП), (1) и результатами, полученными в LENR экспериментах (2), а именно:

- ✓ Сверх-выделение тепловой энергии в гетерогенной плазме со значением **COP порядка COP= 2-6**. (1, 2)
- ✓ Генерация мягкого рентгеновского излучения с энергией квантов E_γ **до 10 КэВ**, (1, 2)
- ✓ **Трансмутация** химических элементов, (1, 2)
- ✓ Наличие **коллективных электронов**, (1, 2)
- ✓ Наличие **высоко-возбужденных многозарядных ионов**, (1, 2)
- ✓ Генерация **высоких потенциалов** на фронте УВ (1, 2?)
- ✓ Необычное поведение **ВАХ**, (1, 2)
- ✓ **Само-организация плазмоидов** в гетерогенной структурированной плазме, (1, 2)
- ✓ Сильное **влияние внешнего магнитного поля** и вихревого течения, (1, 2)

МПА.... База важнейших полученных экспериментальных результатов

- Теперь напомним некоторые экспериментальные результаты **по физике плазменных предвестников на фронте ударной волны** (УВ) в слабо-ионизованной неравновесной плазме (СНП)

* До сих пор обнаруженные экспериментальные результаты, изложенные в нашем **Дипломе на научное открытие [1]**, остаются не объясненным.

- **Моя задача.** Показать, что имеется корреляция между экспериментальными результатами по **формированию предвестников перед фронтом УВ в СНП** и экспериментальными результатами, полученными в **LENR экспериментах**.

[1] Диплом на научное открытие 007 от 25 марта 1985г.

Схема экспериментальной установки УТ-1

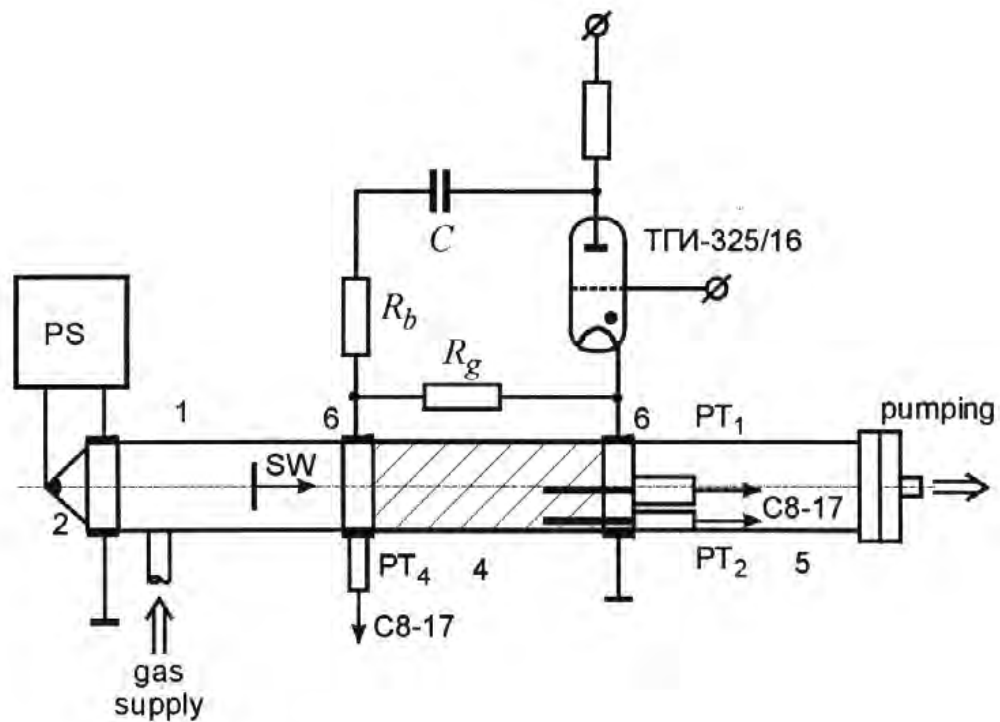


Схема УТ-1 для плазма-акустических экспериментов:
 1- ударная труба, 2- электро-разрядный генератор УВ,
 3- подача исследуемого газа, 4- рабочая секция, 5-
 выходная демпфирующая секция, 6- электроды, $PT_{1-4} \equiv$
 $ПД_{1-4}$ -пьезодатчики (или микрофоны)

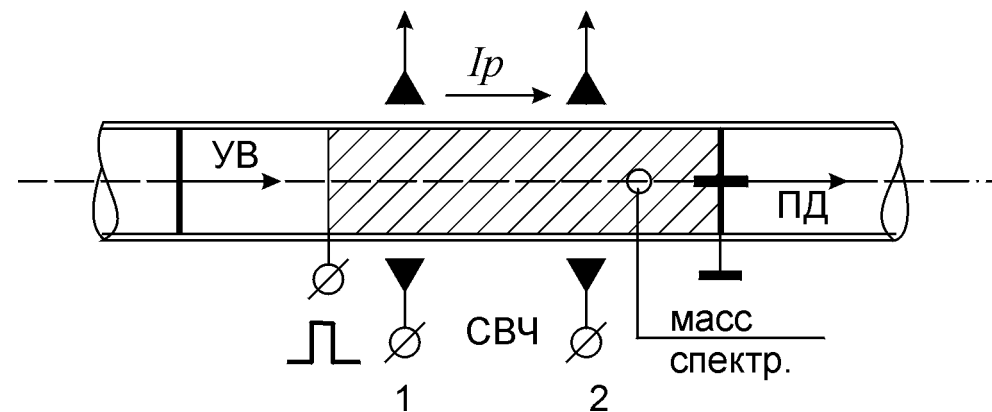
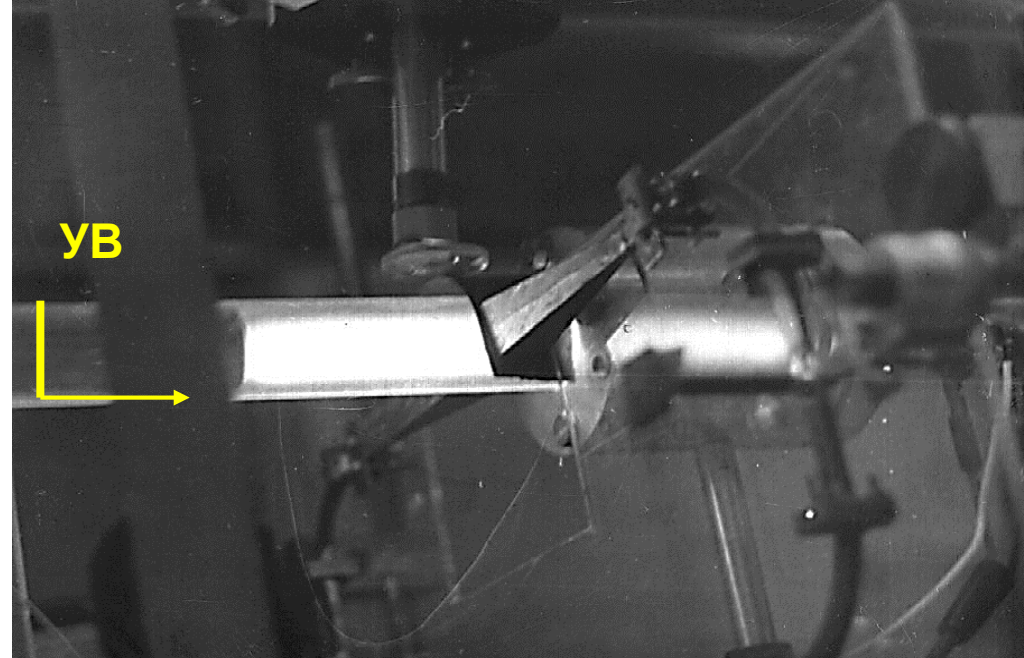
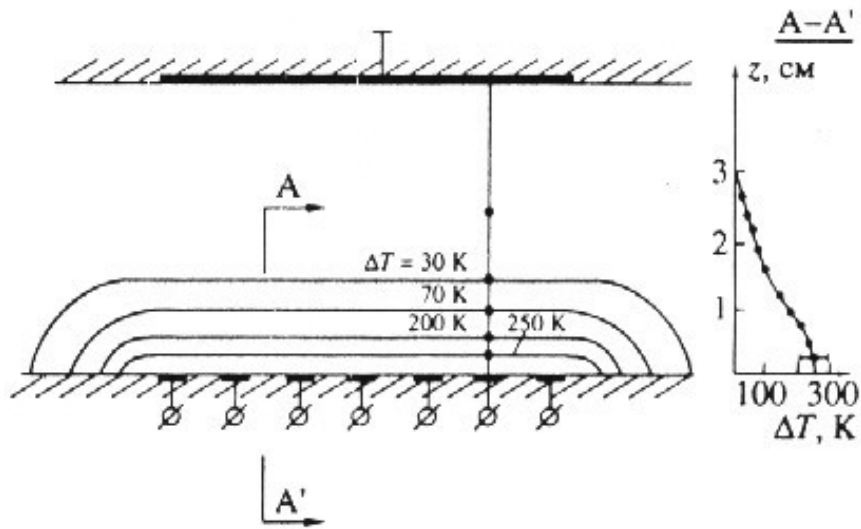


**Схема расположения масс- спектрометра
 и двух СВЧ интерферометров на
 установке УТ-1**

Схема экспериментальной установки УТ-2. Поперечный электрический импульсный разряд (ИР)



Распределение газовой температуры в поперечном ИР на УТ-2

воздух, 6 Торр, $j = 30$ mA/cm²

Электронная концентрация $N_e \sim 2 \cdot 10^{11}$ см³

Электронная температура $T_e = 1-2$ эВ

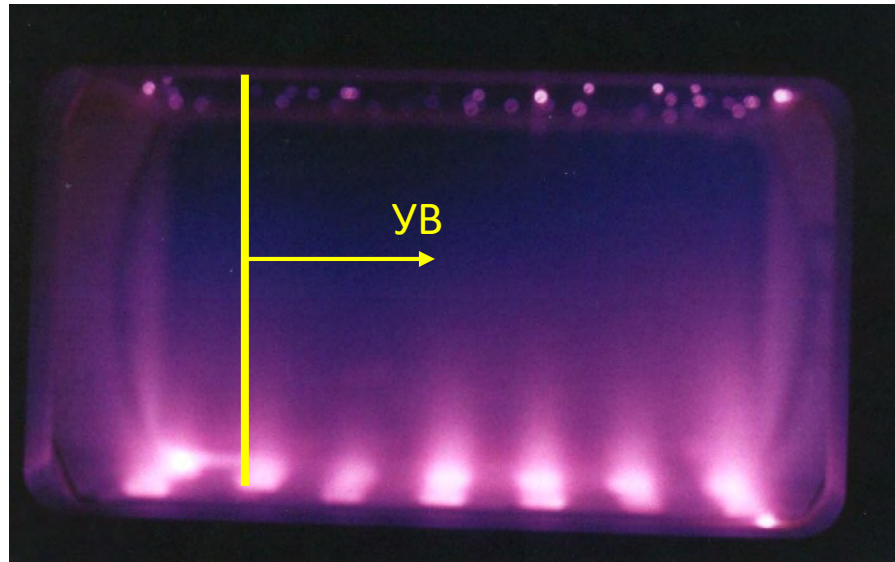
Параметр E/P

при $P_0 < 3$ Торр

10 ÷ 20 В/см Торр

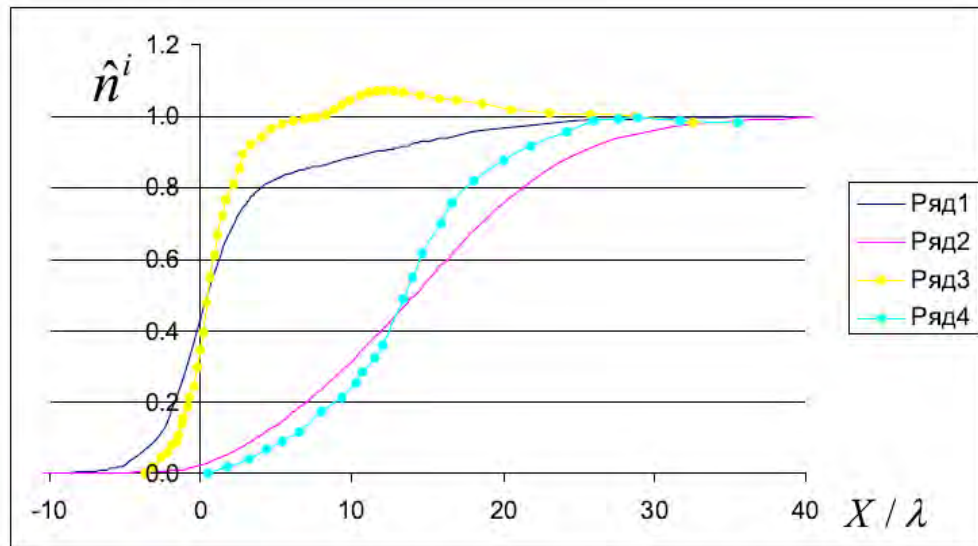
при $P_0 > 6$ Торр

5 ÷ 8 В/см Торр



$$N_e/N_g < 10^{-6}$$
$$q/C_p T_g < 0,1 \div 0,3$$

а



б

Физико-химическая кинетика в газовой динамике

www.chemphys.edu.ru/pdf/2010-01-21-001.pdf

УДК 533.7

СТРУКТУРА УДАРНЫХ ВОЛН В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ

Великодный В.Ю., Качармин С. В.

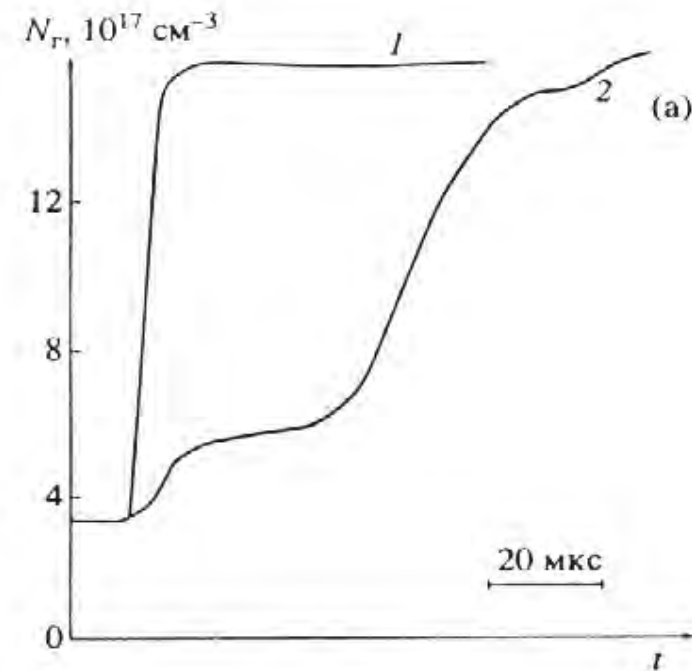
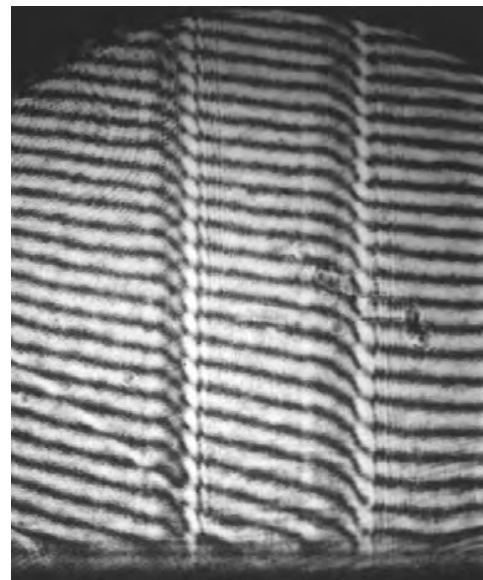
Институт прикладной механики РАН, г. Москва

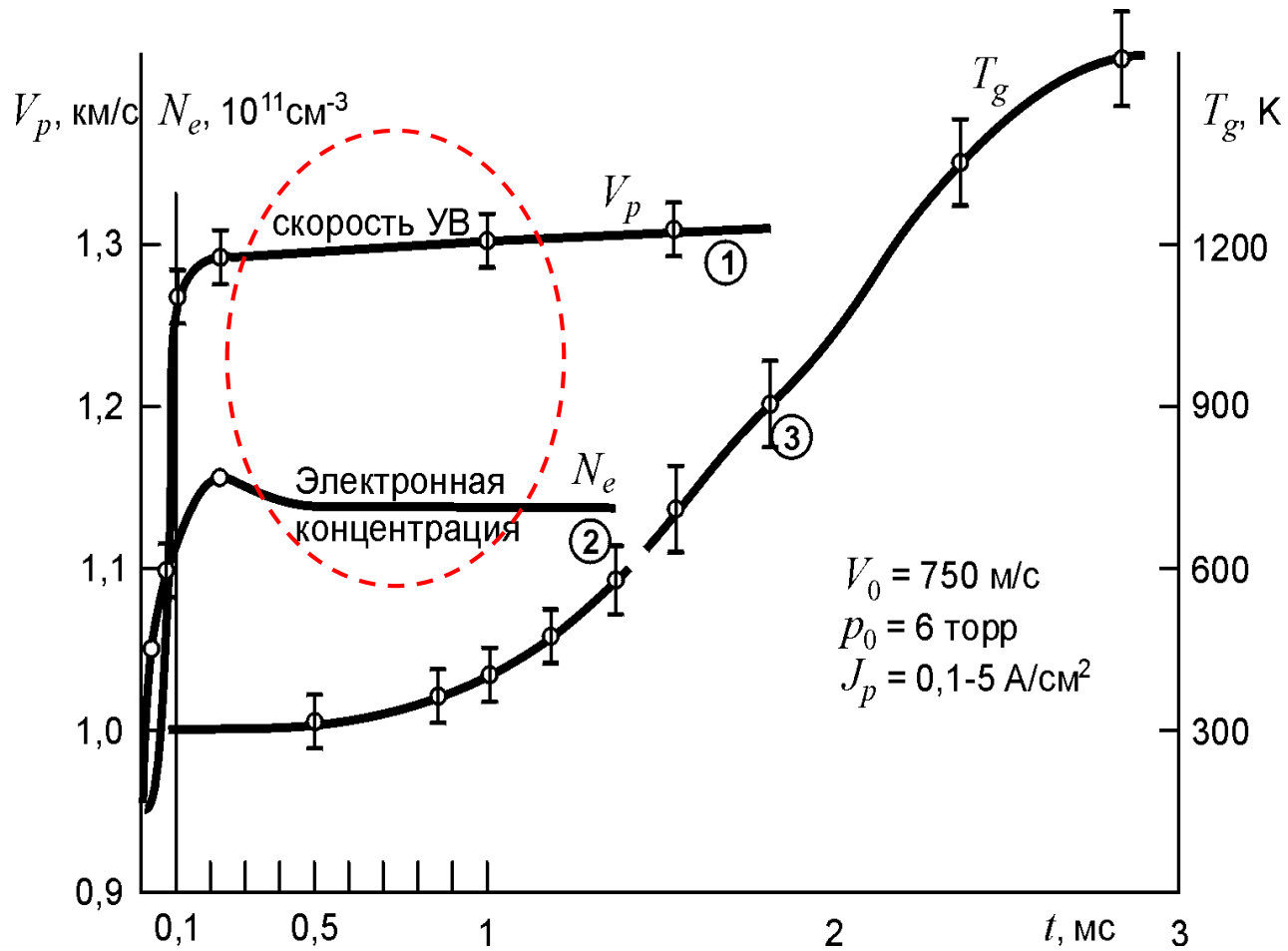
Vvelikodny@mail.ru

тогда рассмотрена трехкомпонентная смесь, но с исчезающе малой концентрацией третьего компонента, при параметрах: $M_0 = 3,61$, $m_2 / m_1 = 32,75$, $m_3 / m_1 = 37,5$, $n_1 / n_2 = 65,667$, $n_3 / n_1 = 10^{-6}$, $\sigma_2 / \sigma_1 = 1,582$, $\sigma_3 / \sigma_2 = 1$,

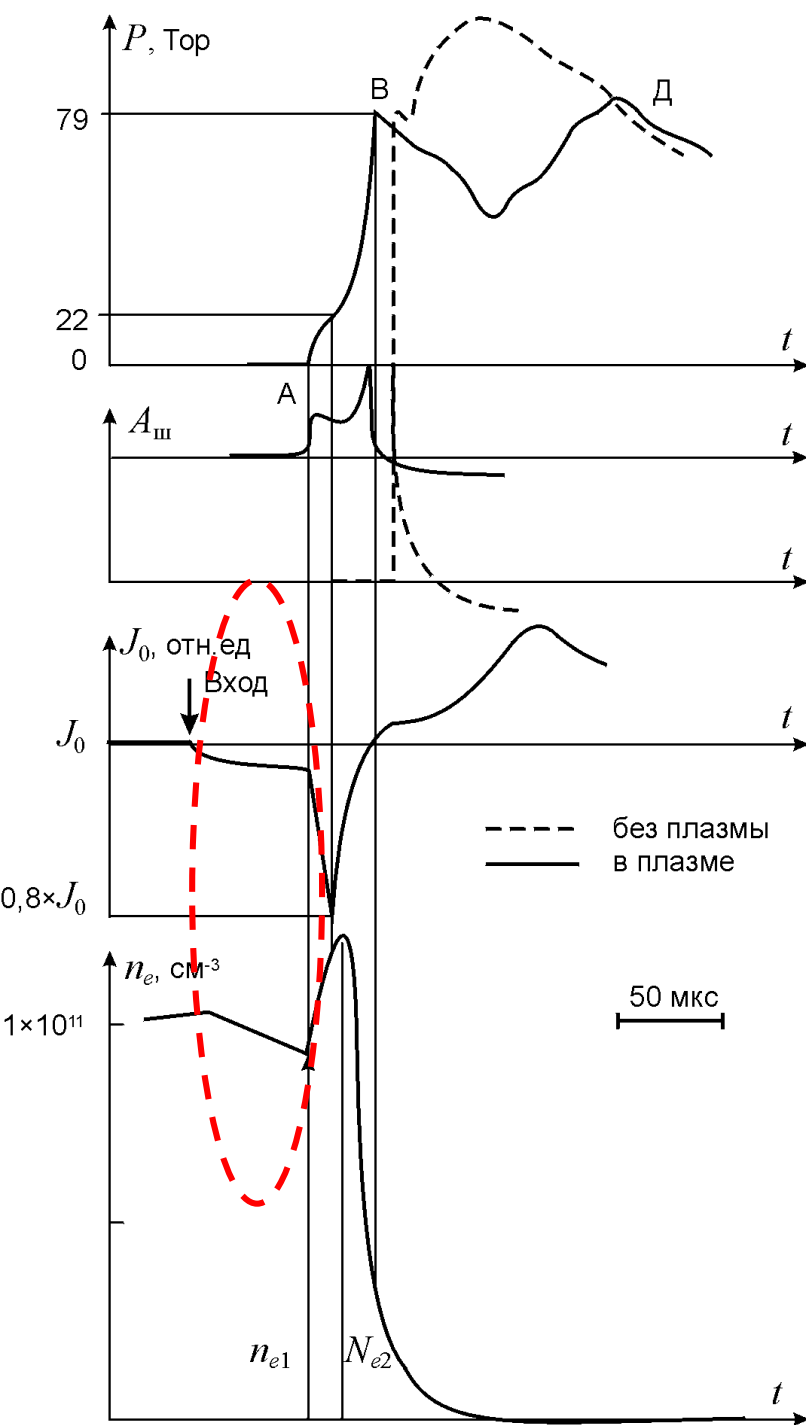
Эпюры плотности за УВ в СНПX= 150 мм, Z= 30 мм, P_{ст}=12 Тор,j~ 30 мА/см², t_{гор}~ 1мс, воздух, V₀=1250 м/с, 1-

без плазмы, 2- в плазме

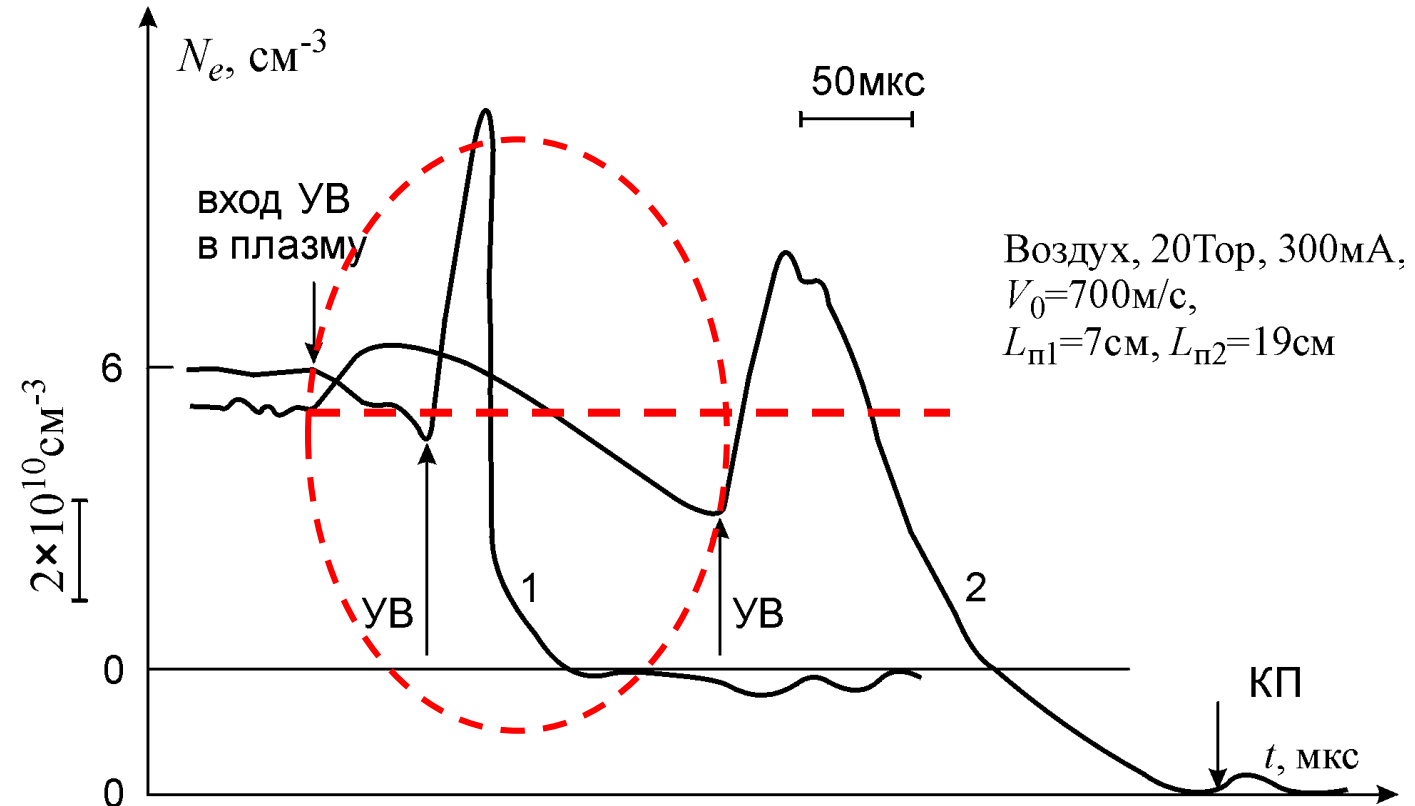




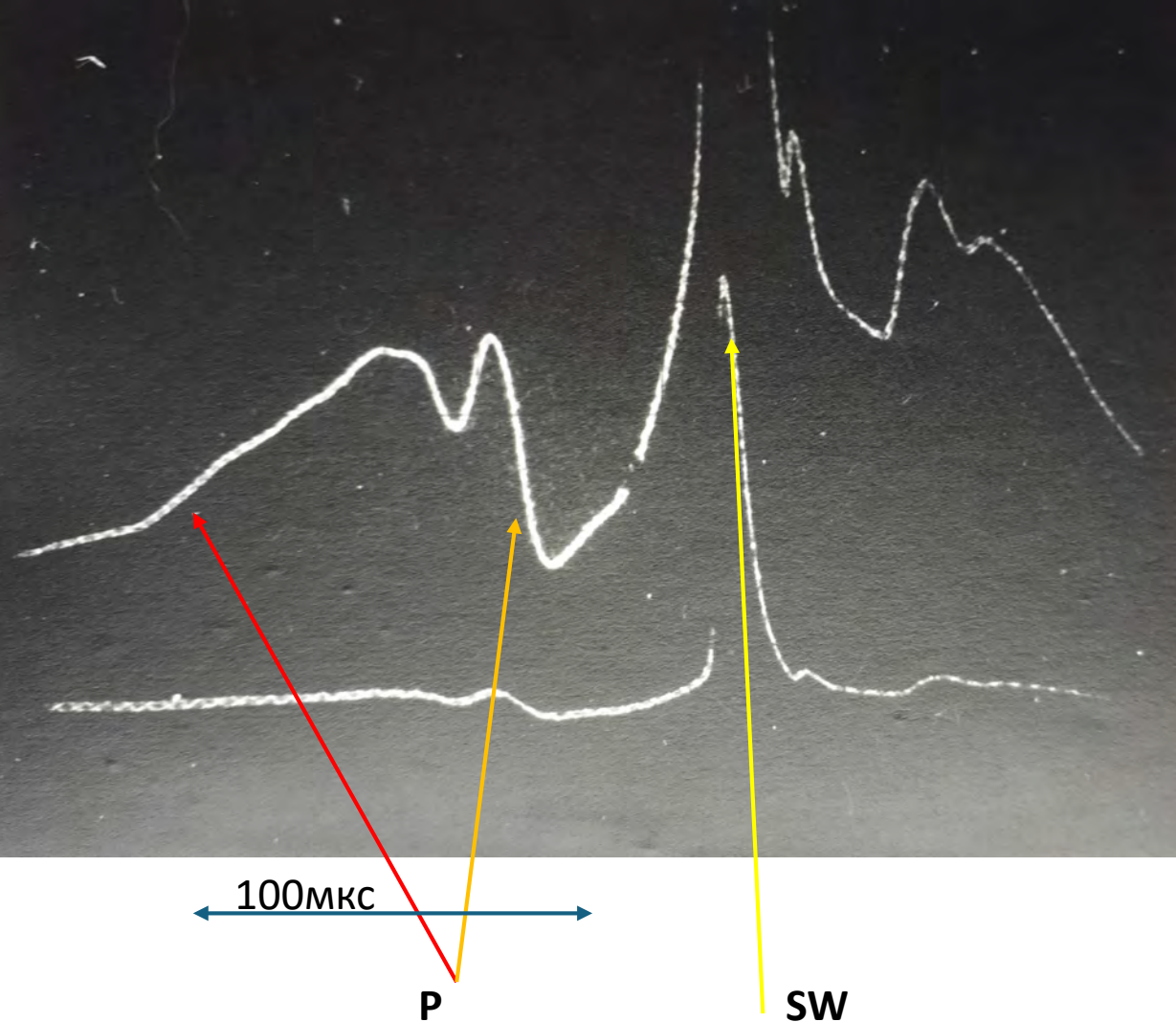
Зависимость **скорости ударной волны V_p** в плазме ИР (1), **электронной концентрации** (2), газовой температуры разряда (3) от времени горения разряда t (мс)



Структура УВ в СНП ИР: профиль давления за волной $P(t)$, ширен сигнал $A_{ш}(t) \sim \nabla p_g$, сигнал светимости плазмы $J_0(t)$, $N_e(t)$. Воздух, 6 Тор, $j_d \sim 500 \text{ мА/см}^2$, $V_0 \sim 1000 \text{ м/с}$, $t_{\text{зор}} \sim 1 \text{ мс}$. Штриховая линия- профиль давления и ширен-сигнала без плазмы.



Эволюция электронной плотности $N_e(t)$ в продольном ТР при вхождении УВ в разрядную область. Сечения регистрации расположены в $X_1 = 7 \text{ см}$, $X_2 = 19 \text{ см}$



Предвестник (П) перед головной УВ (SW)

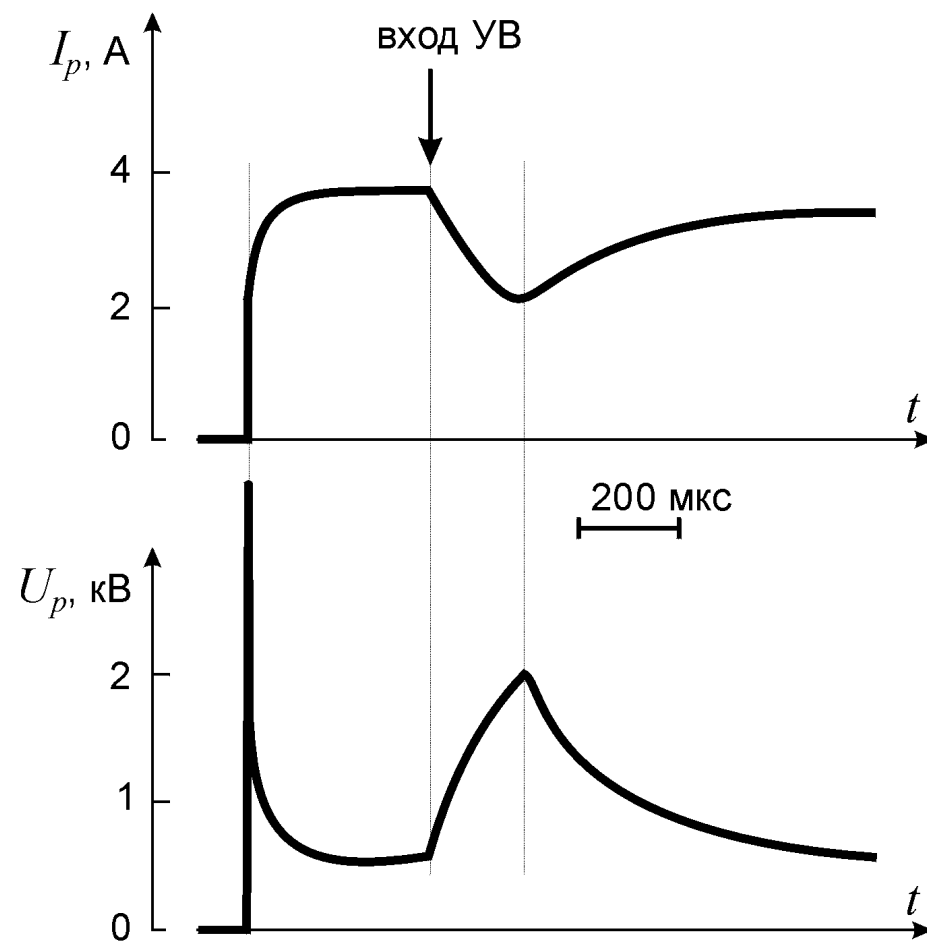
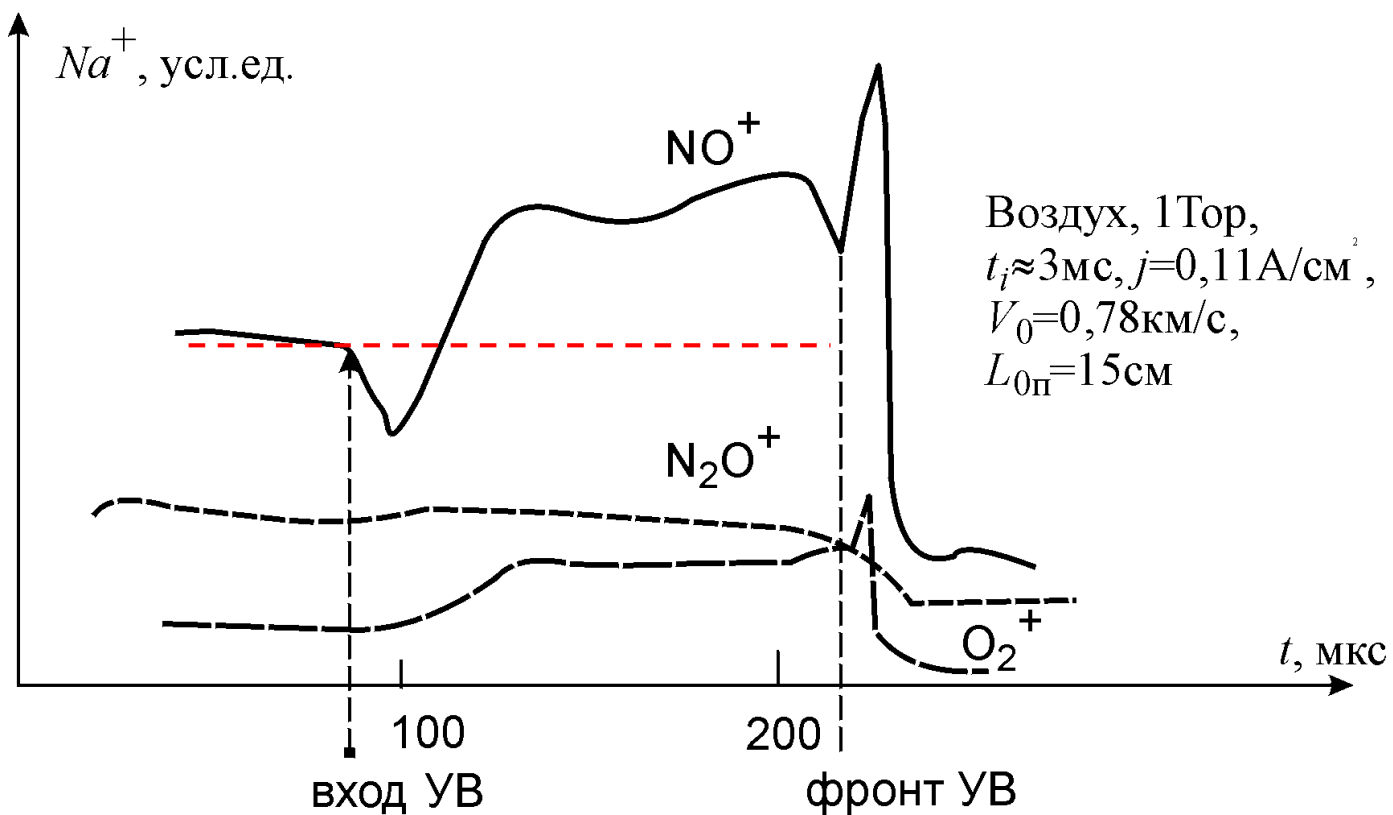
Плазма-баллистический эксперимент

Скорость сферической модели - 2 км/с

Диаметр модели - 20 мм

Предвестник светимости плазмы и заряда имеет вид **СОЛИТОННЫХ СГУСТКОВ**

*Ю. Л. Серов, Волны заряда в ионизованном газе пред гиперзвуковым телом, ЖТФ, т.66, в.11, 1996, с.181-186



Трансмутация хим. элементов???

Эволюция ионной компоненты СНП ИР при вхождении
 УВ в разрядную область. Схема расположения масс-
 спектрометра приведена на слайде 4.

Эволюция тока I_p и напряжения U_p в
 ИР во время вхождения (1) и выхода
 (2) УВ из области разряда. Воздух, $P_0 =$
 10 Тор, $V_0 = 900$ м/с

Трансмутация элементов на слайде 16 ???!

Перестройка тяжелой ионной компоненты?

- В плазменном предвестнике происходит **селективное** изменение ионного состава плазмы. В предвестнике имеется значительное увеличение (в **1,7 раза**) концентрации иона NO^+ и практически отсутствует изменение концентрации иона O_2^+ , N_2O^+
- Важно отметить также, что характерное время наработки дополнительной концентрации иона NO^+ в предвестнике происходит за сравнительно малое время (**~ 50 мкс**) по сравнению с характерным временем ($\sim 2 \div 4$ мс) наработки начальной концентрации этого иона в СНП ИР при включении тока разряда. Именно эти оценки аномально быстрого времени селективной наработки различных ионов позволили нам **сделать предположение о наличии механизма трансмутации плазмы за фронтом УВ в СНП**. Действительно, основным ионом в СНП является ион N_2^+ . **При трансмутации одного атома азота в кислород этот ион** может конвертироваться в ион NO^+ в процессе реализации LENR за счет образования ЭК в плазменных предвестниках.

* Подольский В.Н., Климов А.И., Эксперименты на установке УТ-1 с использованием масс-спектрометра, Протокол МРТИ РАН, 1998.

Коллективные электроны в предвестнике перед фронтом УВ

1. **Электронная концентрация $N_e(t)$** в разрядной плазме изменяется на $\sim 10\%$ и более в месте регистрации, задолго до прихода фронта УВ. На дальнем конце плазменной области происходит увеличение электронной концентрации $N_{e1}(t)$ на 10-20%, а на дальнем ее конце - уменьшение $N_{e2}(t)$ на 10-20%.
2. Отметим также, что в эксперименте *светимость плазмы $J(t)$ при вхождении УВ* во всей области разряда *изменяется также 10÷20 %*. Важно отметить, что характер изменения излучения в предвестнике не является типичным для фото- ионизационного излучения перед фронтом сильной УВ, которое **всегда носит экспоненциальный характер**.
3. В эксперименте было обнаружено, что излучение и изменение электронной концентрации в предвестнике носит **солитонный характер**, т.е. перед фронтом УВ в СНП формируется структура в виде нескольких всплесков излучения и электронных сгустков, фиксируемых ФЭУ и электрическими зондами.

ВАХ разряда

В разряде происходит уменьшение тока и одновременное увеличение напряжения ток разряда

1. $I_p(t)$ уменьшается почти в **2 раза**,
2. напряжение $U_p(t)$ разряда увеличивается почти в **4 раза**.
3. электрическая **мощность, вкладываемая в разряд**, при вхождении УВ в СНП, увеличивается почти в 2 раза.

Этот странный результат связан с тем, что нет корреляции между ВАХ сигналами и эпюрами электронной плотности за фронтом УВ. Проводимость плазмы хотя и уменьшается, но все же **она конечна** в отличие от электронной концентрации. Сопротивление плазмы не выше, чем 1 кОм.

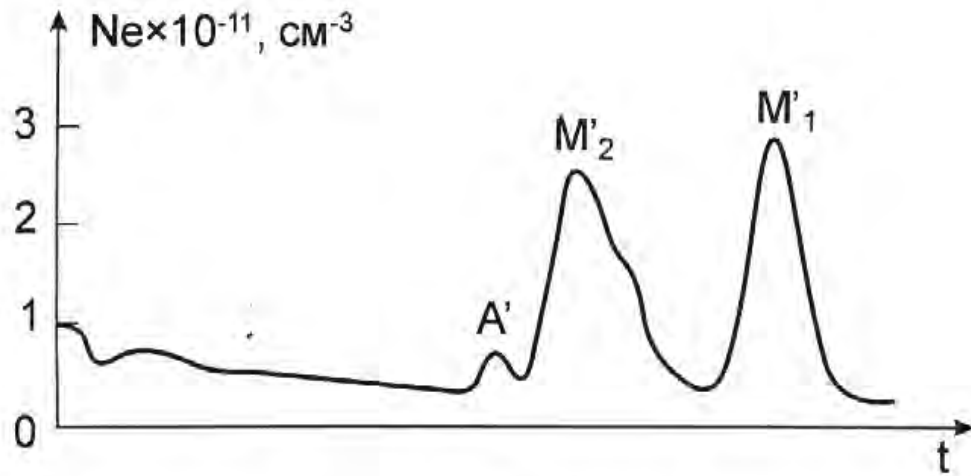
Как такое возможно???

Гипотеза

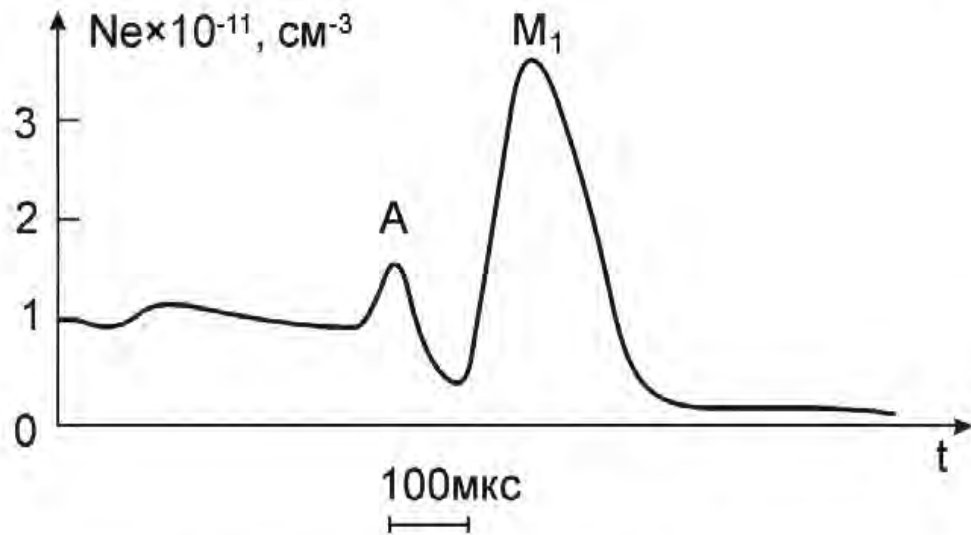
- Можно предположить, что **на фронте УВ происходит генерация когерентных электронов (КЭ) и последующий процесс распад ЭК далеко за фронтом УВ.**
- Тогда наблюдаемая **убыль свободных электронов** легко объясняется. **Проводимость плазмы в прифронтной области УВ** также должна уменьшаться до конечных значений, что согласуется с экспериментальными результатами за счет уменьшения концентрации заряженных носителей электричества.
- Действительно, **связанные когерентные электроны и ЭК**, по -видимому, **СВЧ интерферометр** не способен регистрировать, т.к. их вклад в показатель преломления плазмы (в комплексный коэффициент диэлектрической проницаемости) отличается от свободных электронов.

Гипотеза (продолжение)

- Можно предположить, что при выходе УВ из зоны разрядной плазмы **ЭК может распадаться на свободные электроны** (нет подпитки, генератора **ЭК**).
- Поэтому в момент **гибели ЭК должен наблюдаться всплеск свободных электронов**.
- Такие результаты были получены в СПН в аргоне и в воздухе, слайд 18. Видно, что за фронтом УВ (точка А) наблюдается формирование всплесков электронов (точки М1, М2).



Формирование **ДПО** в СНП импульсного разряда в Аргоне.



Эволюция электронной концентрации в ДПО.
 Сечения регистрации расположены в $X_1 = 100 \text{ мм}$ и $X_2 = 150 \text{ мм}$, А-фронт УВ; M_1, M_2 - ДПО, генерируемые за фронтом УВ

Аргон, 24 Тор, $V_0 = 800 \text{ м/с}$, ИР, $j_d = 40 \text{ А/см}^2$, $t_i = 400 \text{ мкс}$

Выводы

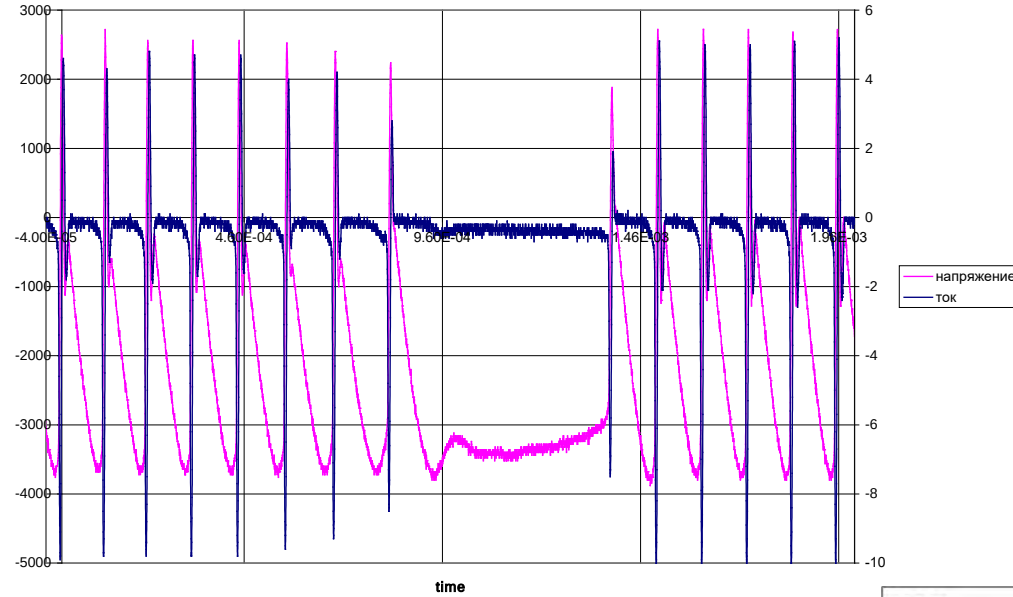
1. Особенности распространения УВ и ее структуры исследованы в продольном разряде в экспериментах на УТ-1 в различных газах в широком диапазоне параметров разряда и параметров газа
2. Обнаружены быстрые **плазменные предвестники (P)**, формирующиеся в СНП перед фронтом УВ. Скорость таких P в плазме превышает **50 км/с**. Измерены параметры быстрых P:
 - электронная плотность $N_e(x)$,
 - давление и плотность газа $P(t)$, $\rho(t)$.

Показано, что параметры начальной СНП (без УВ) могут значительно изменяться такими предвестниками
3. Обнаружены эффекты подтверждающие образования когерентных электронных образований, образования ДПО, **самопроизвольной генерации магнитного поля за УВ в ДПО и стимулированная контракция продольного разряда за фронтом УВ**

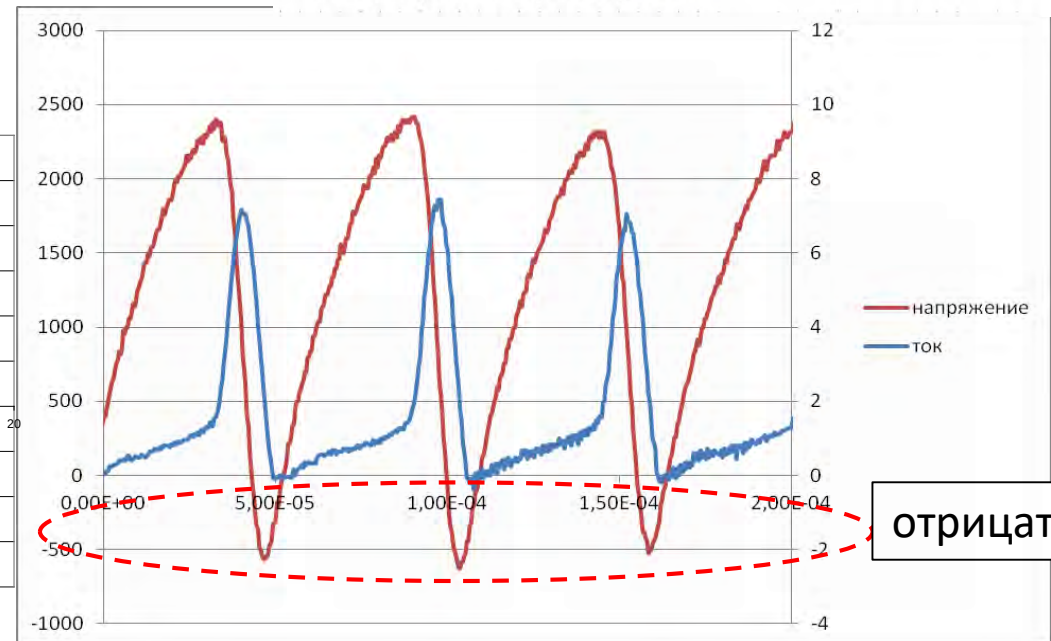
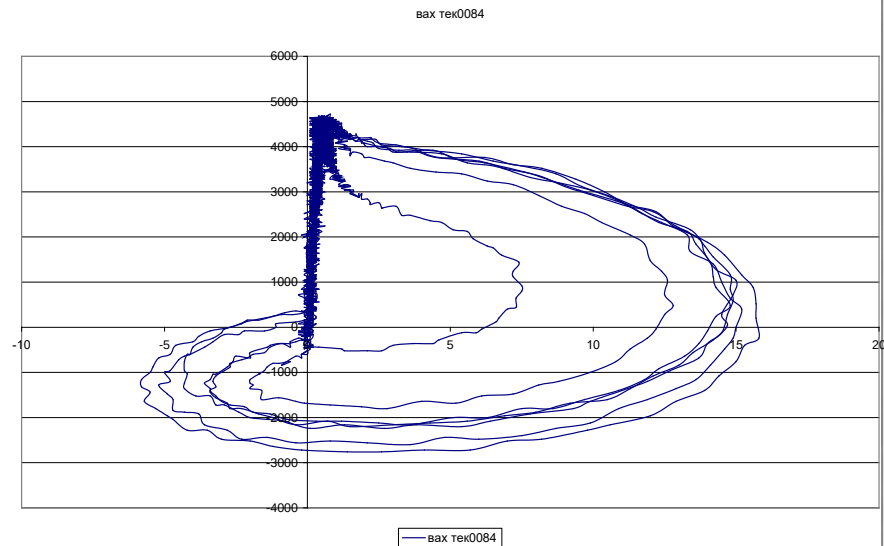
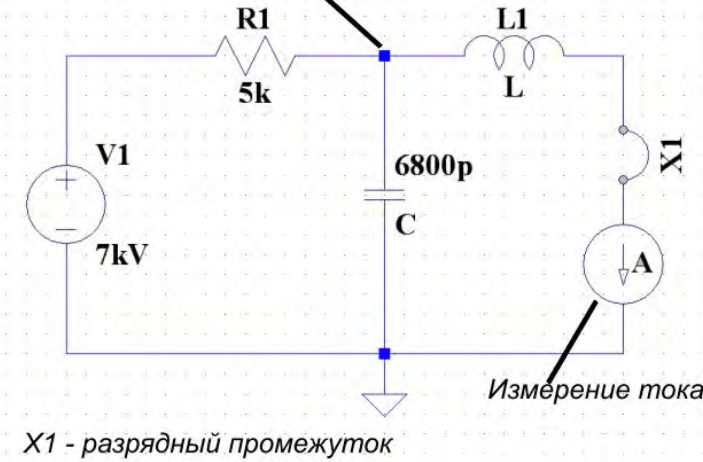
Связь полученных результатов с результатами, полученными на реакторе ПВР

Часть 4

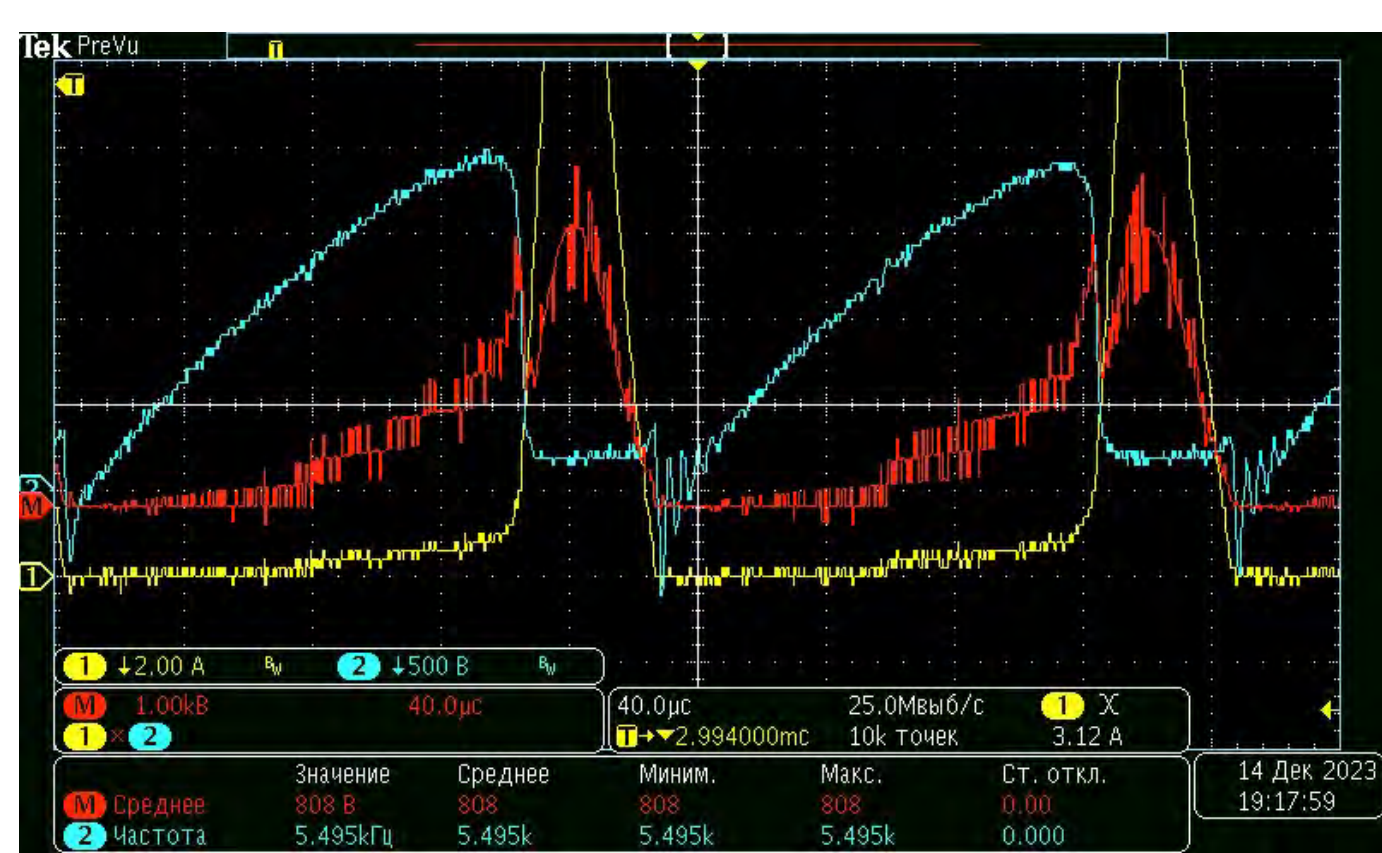
Repetitive Pulsed Regime in Heterogeneous Plasma with Water Steam Injection



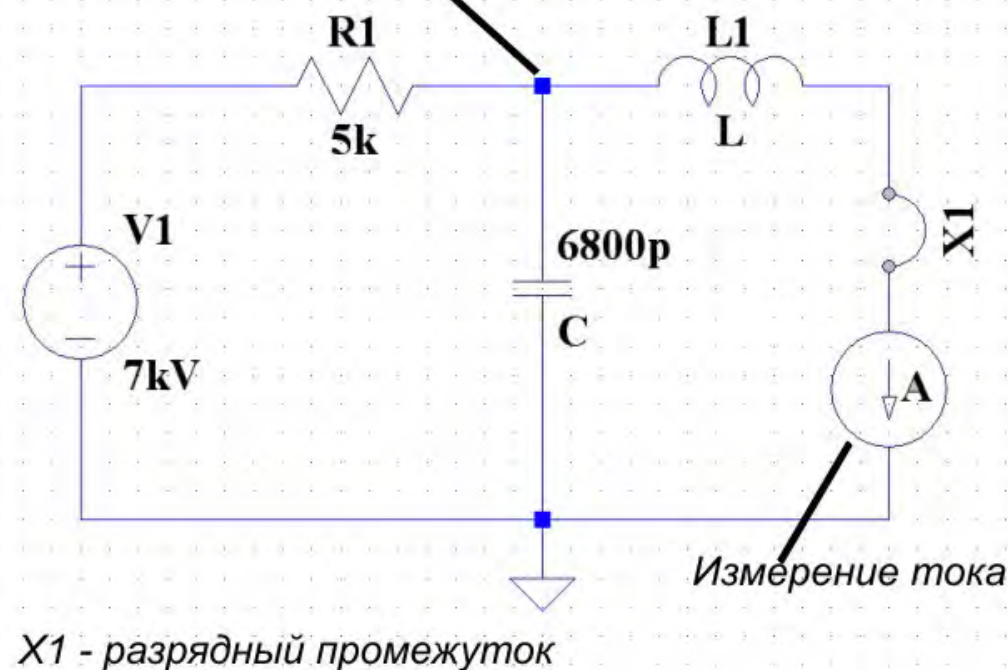
точка подключения щупа для измерения напряжения



отрицательная Ne



точка подключения щупа для измерения напряжения

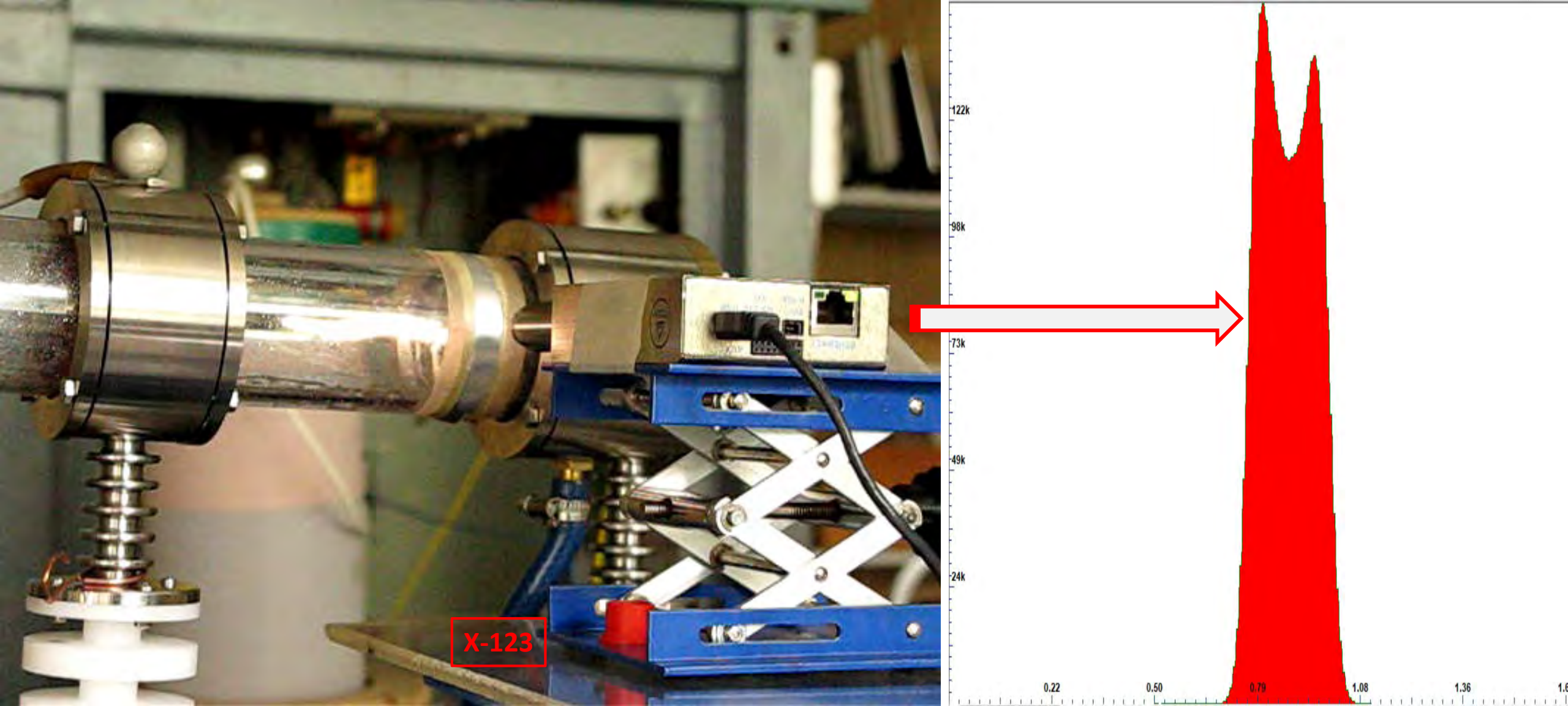


Типичные осциллограммы тока, напряжения и электрической мощности на электродах ПВР

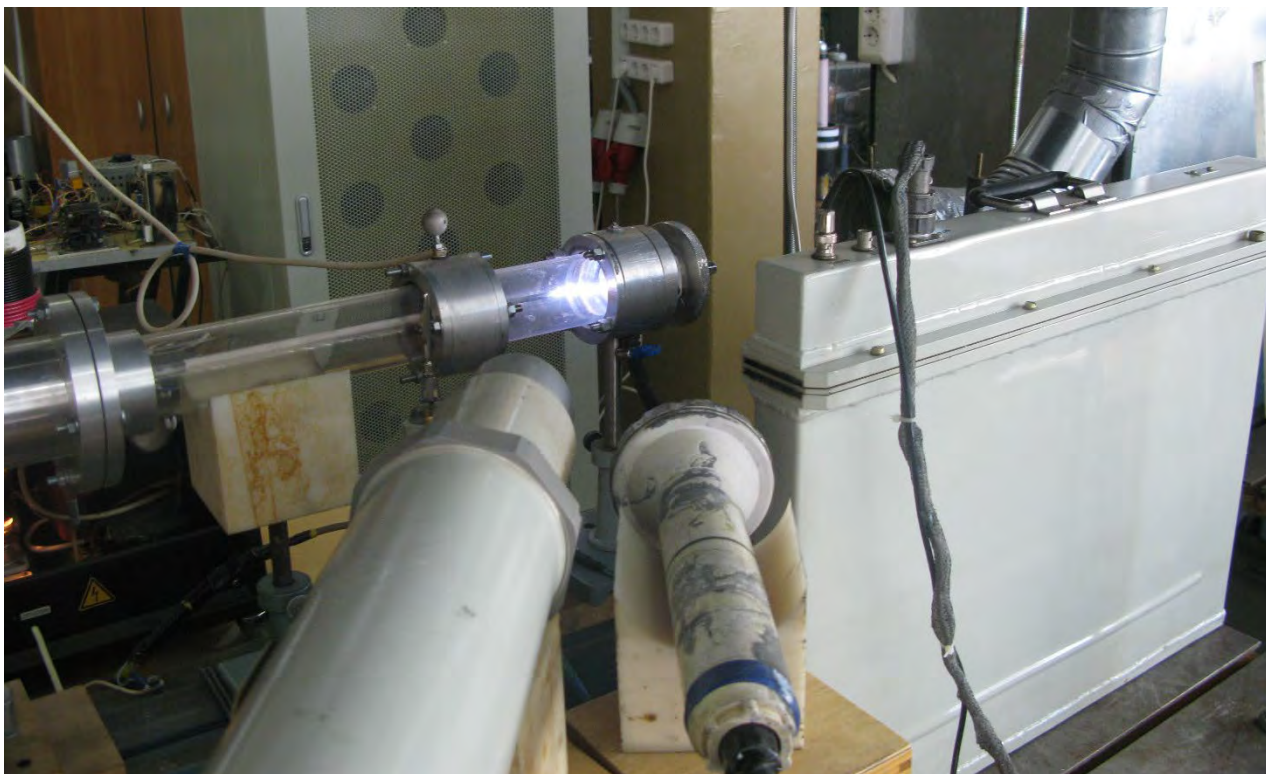


Рентгеновский спектрометр Hitachi Vortex- EX

Диапазон: **0,1-30 keV**



X-ray spectroscopy of a heterogeneous plasma (Ni-clusters+ H₂O) by X-123 spectrometer

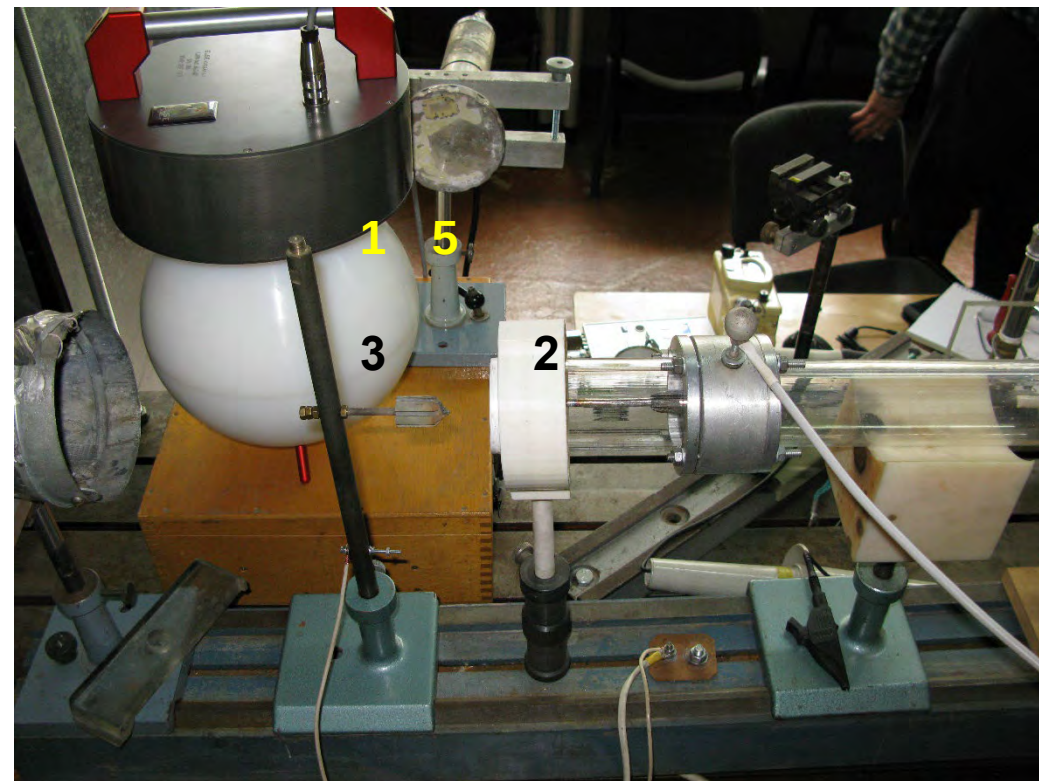


1

2

3

Общий вид экспериментальной установки **ПВР** с датчиками для регистрации различных типов излучений. 1- **гамма детектор** СПРС, 2- **нейтронный детектор** КРАН, 3- **нейтронный детектор** СПРС



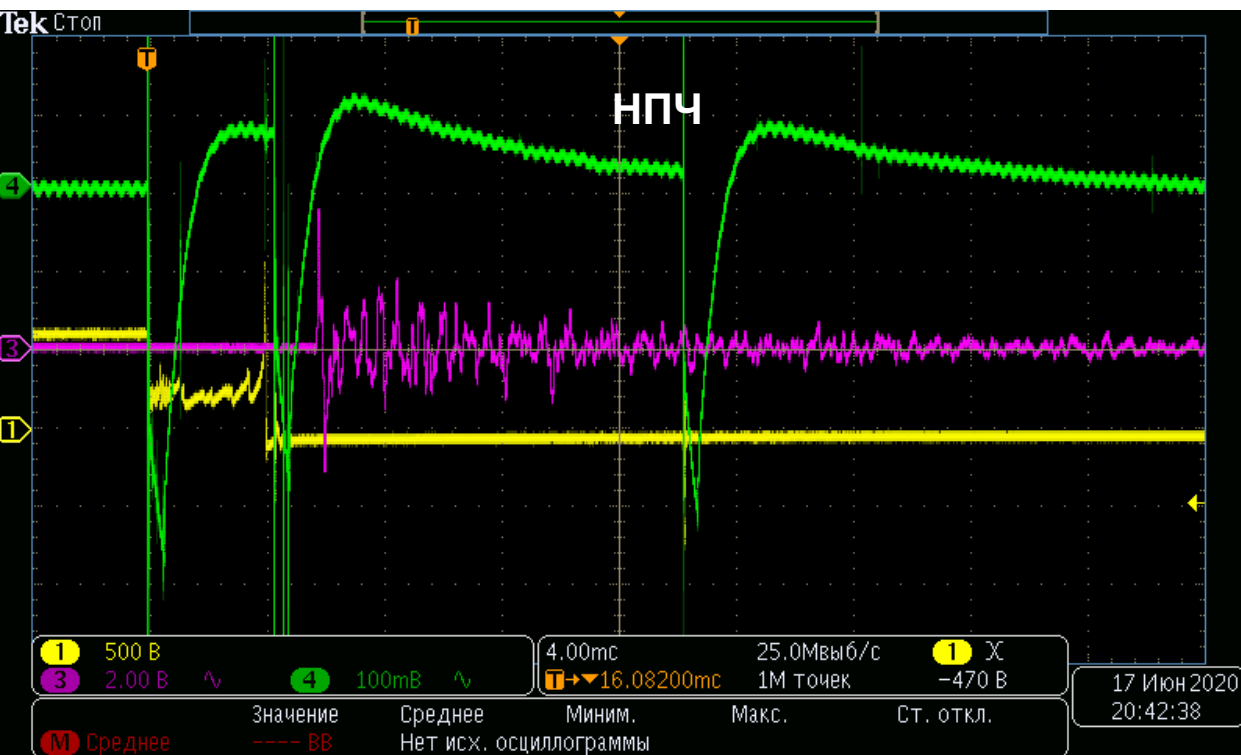
1

5

3

2

Размещение нейтронных детекторов **ELSE**(1) и Кран (5) рядом с установкой **ПВР**. 2- выносной никелевый катод, 3- сопло, 4- тонкий анод

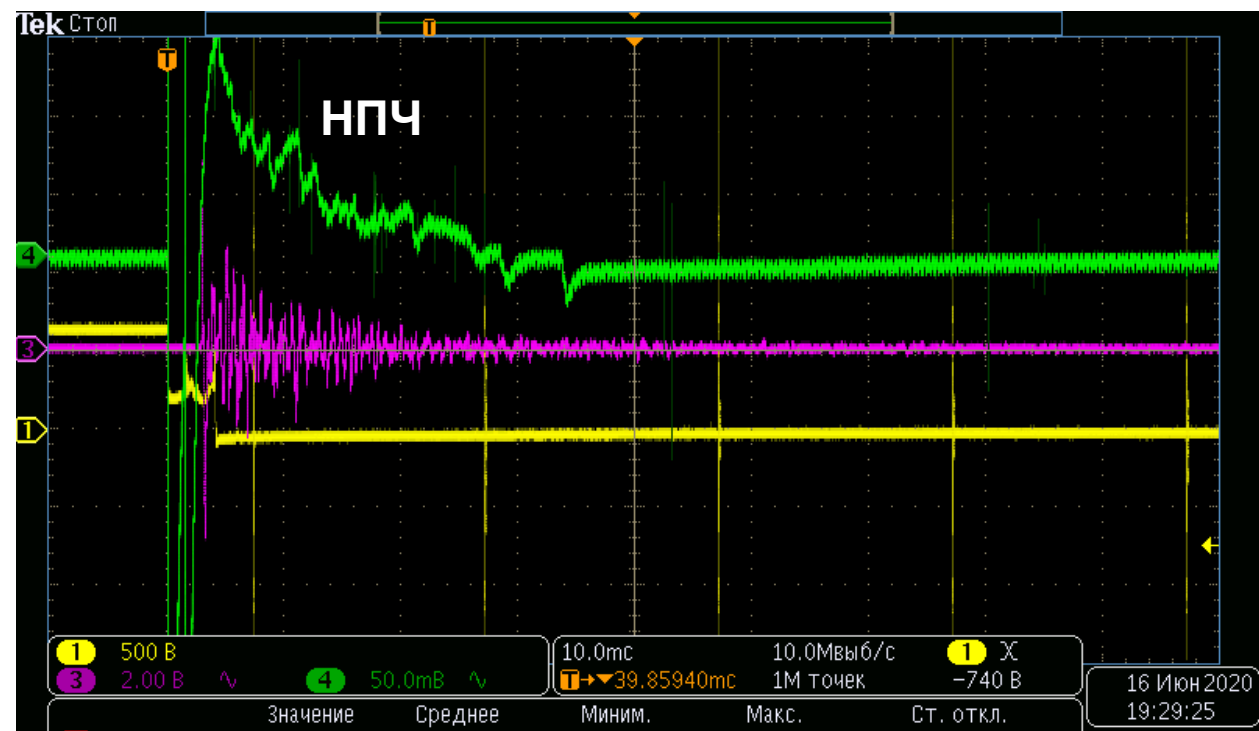


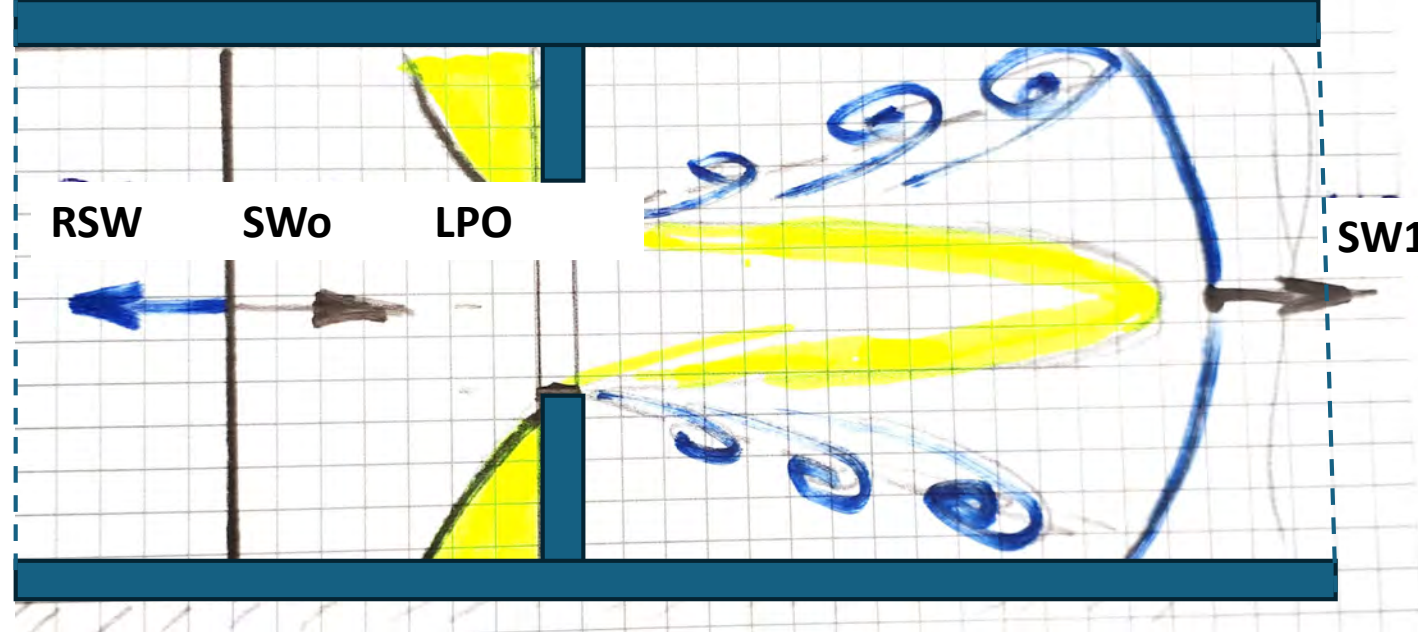
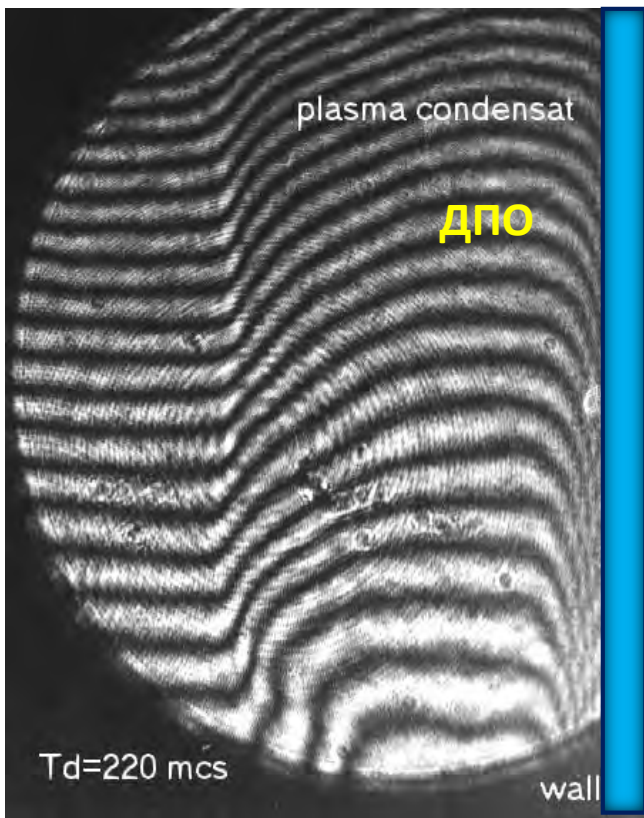
Сигнал с нейтронного датчика (зеленый). Свехпороговый режим. $U_c \sim 4$ кВ.

Напряжение на ЭП - желтый.
Сигнал с микрофона - фиолетовый

Сигнал с нейтронного радиометра «Кран» (зеленый).
Допороговый режим. $U_c \sim 3$ кВ.

Напряжение на ЭП-желтый.
Сигнал с микрофона -фиолетовый





**Нормальное отражение плоских УВ от жесткой диэлектрической стенки в СНП.
Формирование ДПО в ударно-сжатом слое за отраженной УВ**

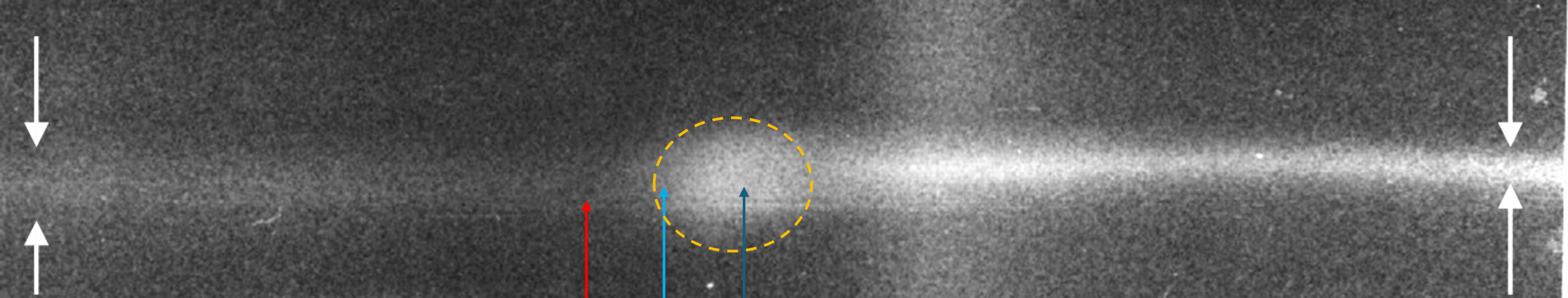
Климов А.И.

ОИВТ РАН

РКХТЯ и ШМ, Москва, 2026

Эксперимент на УТ-1 с падающей УВ в СНП. Формирование ДПО

- Величина накопительной емкости C составляла $0,2 \div 2$ мкФ.
- Квазистационарный ток разряда в диапазоне от 0,1 до 10 А.
- Характерное время горения разряда до момента прихода ударной волны не превышало $t_{\text{гор}} \leq 1$ мс.
- Температура T_a в разряде не превышала 600 К,
- Электронная температура T_e составляла $1 \div 2$ эВ.
- Диаметр светящегося плазменного шнура был ≈ 20 мм.
- Магнитометр имел равномерную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне частот от 1 кГц до 10 МГц и чувствительность $k = 0,127$ мкВ/А.
- Динамика светящегося плазменного шнура изучалась с помощью СФР с вертикальной щелью.



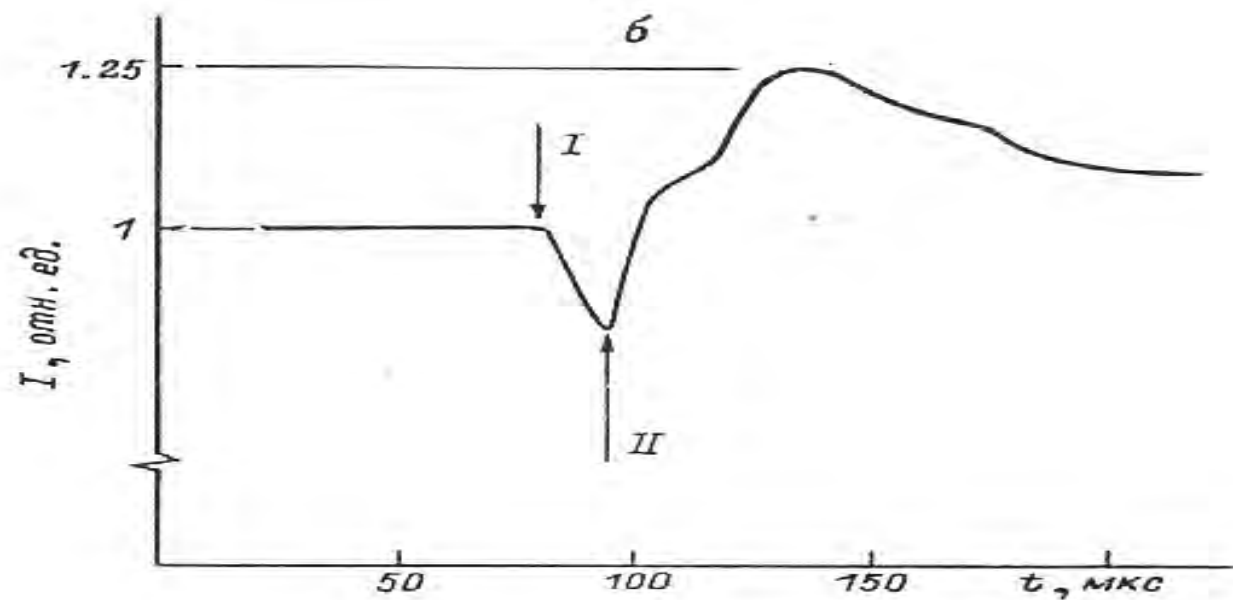
D_0

D_k

II

III

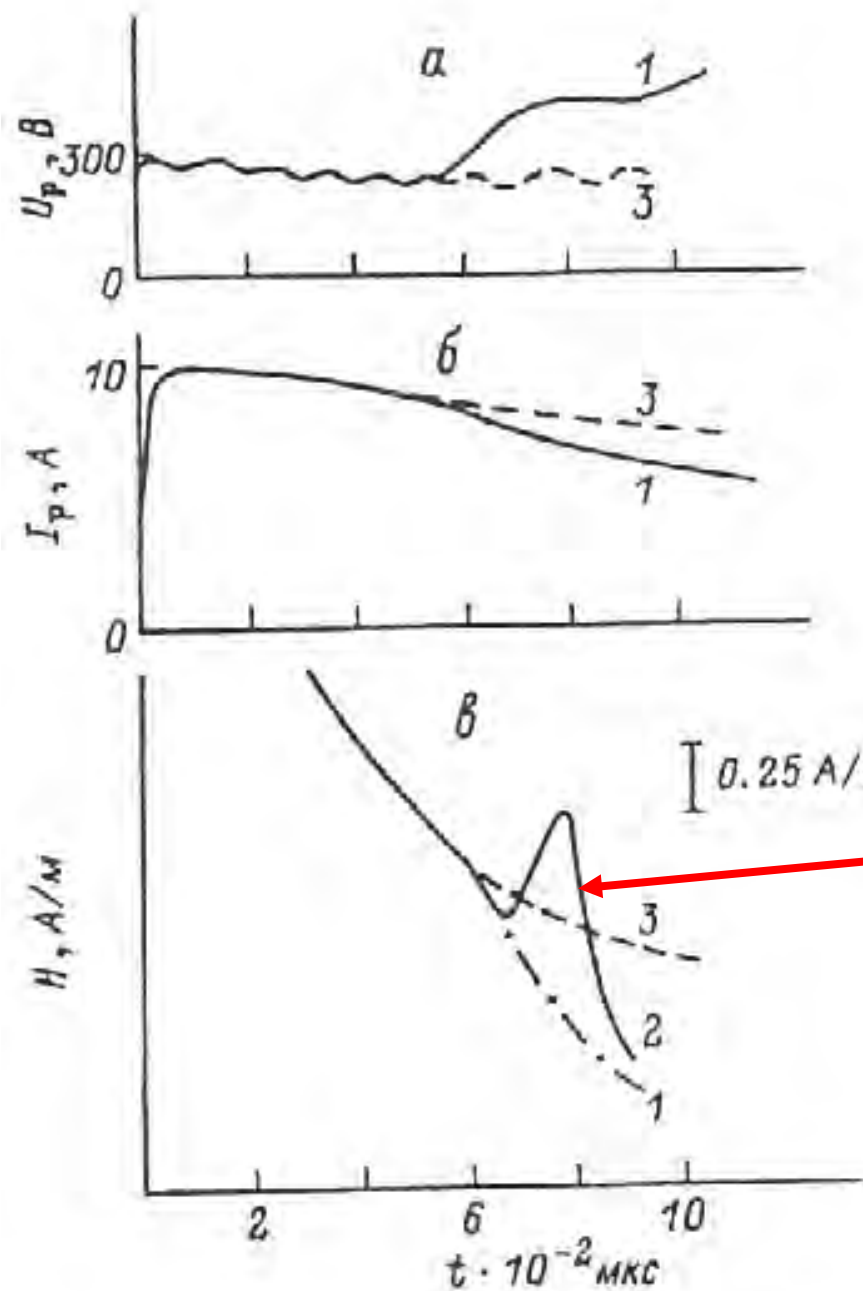
$\uparrow 20 \mu\text{с} \uparrow$



Фоторазвертка свечения
разрядной плазмы перед и за УВ
(вверху) и сигнал ФЭУ свечения
плазмы (внизу):

II- предвестник перед УВ,
III- шарообразный плазмод за
фронтом УВ в разряде,

Воздух, 6 Тор, $V_0 = 900 \text{ м/с}$



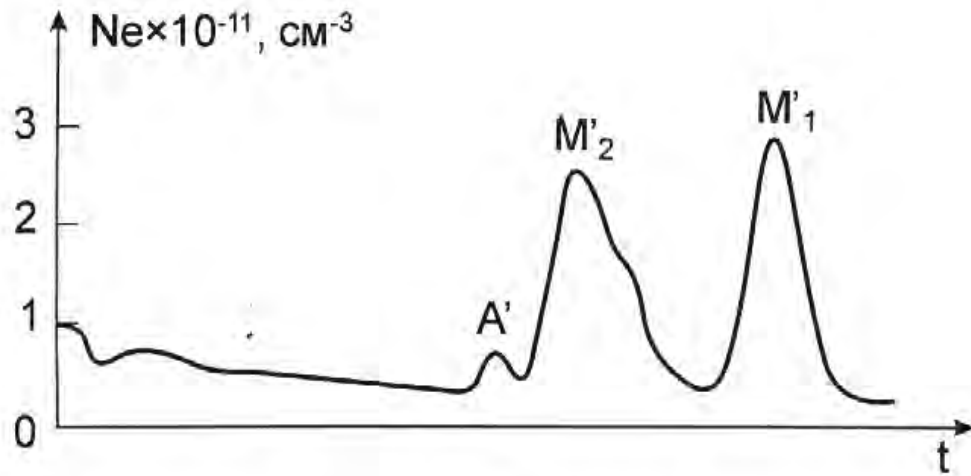
Характерные осциллограммы сигналов напряжения U_d , тока I_d в ИР и напряженности магнитного поля H вокруг разрядного шнура:

1- разряд с УВ, 3- разряд без УВ; 1-нормальный режим, 2- аномальный режим; воздух, 6 Тор, $V_0=900 \text{ м/с}$

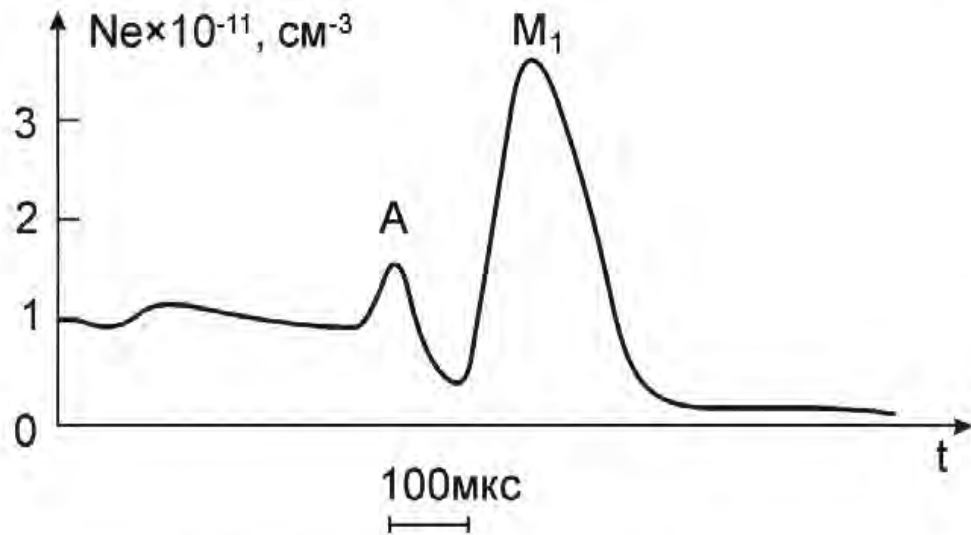
Генерация собственного магнитного поля в сферическом ДПО за фронтом УВ

Основные результаты

- В эксперименте обнаружена стимулированная контракция разряда за фронтом УВ:
 - отмечаются уменьшение диаметра плазменного столба в $2\div 3$ раза
 - одновременное увеличение его светимости в $1,3\div 1,5$ раза.
 - В прифронтальной зоне происходит формирование плазменного образования шарообразной формы (III) с генерацией магнитного поля
- Структура шарообразного плазменного образования (Ш), по-видимому, представляет из себя *тороидальный плазменный вихрь* (согласно результатам численного моделирования)
- Циркуляционное течение в плазменном вихре может обеспечить появление дополнительных токов в нем по отношению к основному току разряда, что в свою очередь, должно привести к появлению дополнительного магнитного поля, реально зарегистрированного в нашем эксперименте.



Формирование **ДПО** в СНП импульсного разряда в Аргоне.



Эволюция электронной концентрации в ДПО.
 Сечения регистрации расположены в $X_1 = 100 \text{ мм}$ и $X_2 = 150 \text{ мм}$, А-фронт УВ; M_1, M_2 - ДПО, генерируемые за фронтом УВ

Аргон, 24 Тор, $V_0 = 800 \text{ м/с}$, ИР, $j_d = 40 \text{ А/см}^2$, $t_i = 400 \text{ мкс}$

Экспериментальная установка УТ-2

Эксперименты проводились в ударной трубе УТ-2 сечением $10 \times 10 \text{ см}^2$.

- Плоские УВ со скоростями $V_0 = 400 \div 600 \text{ м/с}$ и длительностью спутного течения ударно-сжатого газа $150 \div 200 \text{ мкм}$.
- В рабочей секции (РС) ударной трубы создавался ИР со средней плотностью тока $j_d = 30 \text{ мА/см}^2$ и длительностью горения $t_i < 3 \text{ мс}$, Разряд зажигался перед приходом УВ в зону разряда с некоторым временным упреждением.
- В качестве рабочего газа использовался воздух при $P_0 = 3 \div 30 \text{ Тор}$. Размеры плазменной области в РС составляли $10 \times 10 \times 20 \text{ см}^3$,
- В плазменной зоне на расстоянии 15 см от ее начала располагалась плоская кварцевая стенка.

Процесс отражения УВ исследовался с помощью

- оптического интерферометра Майкельсона ($\lambda_1 = 0.52 \text{ мкм}$, $\lambda_2 = 0.63 \text{ мкм}$), [1,2],
- лазерной шпирен системы,
- специализированных пьезодатчиков [1],
- Зондов для измерения вольт - амперных характеристик (ВАХ)
- СВЧ интерферометра (регистрация концентрации электронов в СНП).

Отражение плоских УВ от жесткой диэлектрической стенки в СНП

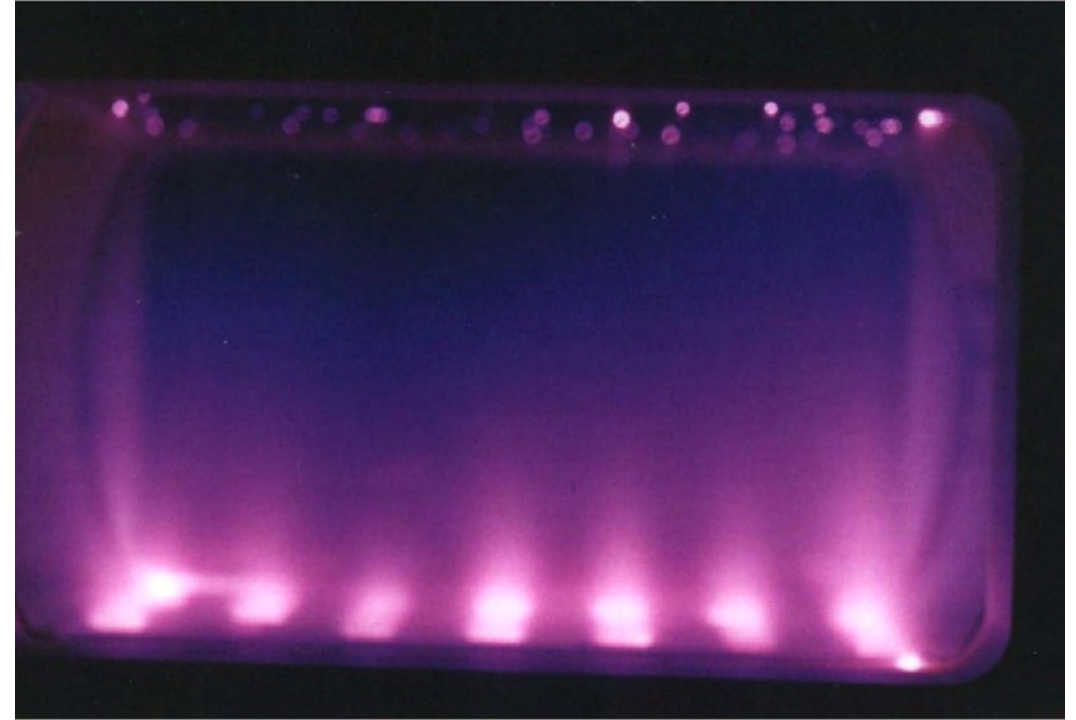
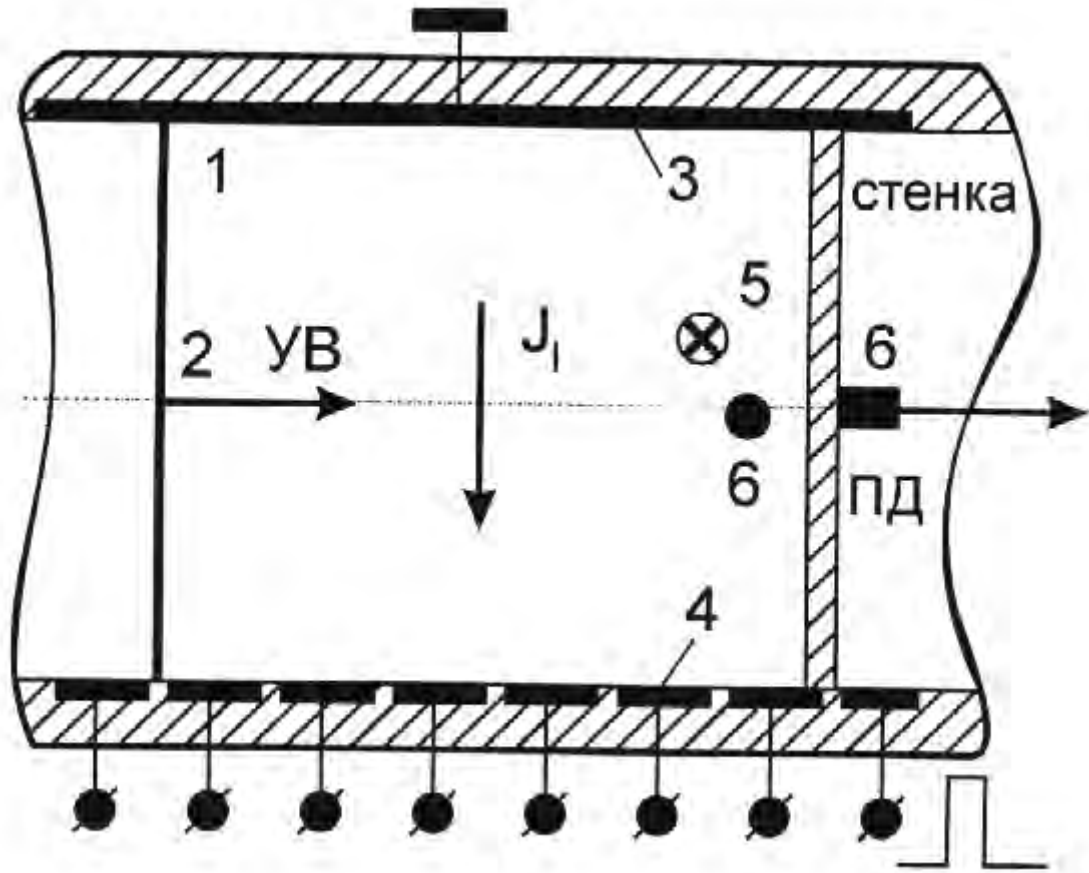
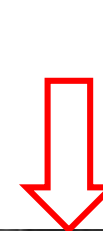


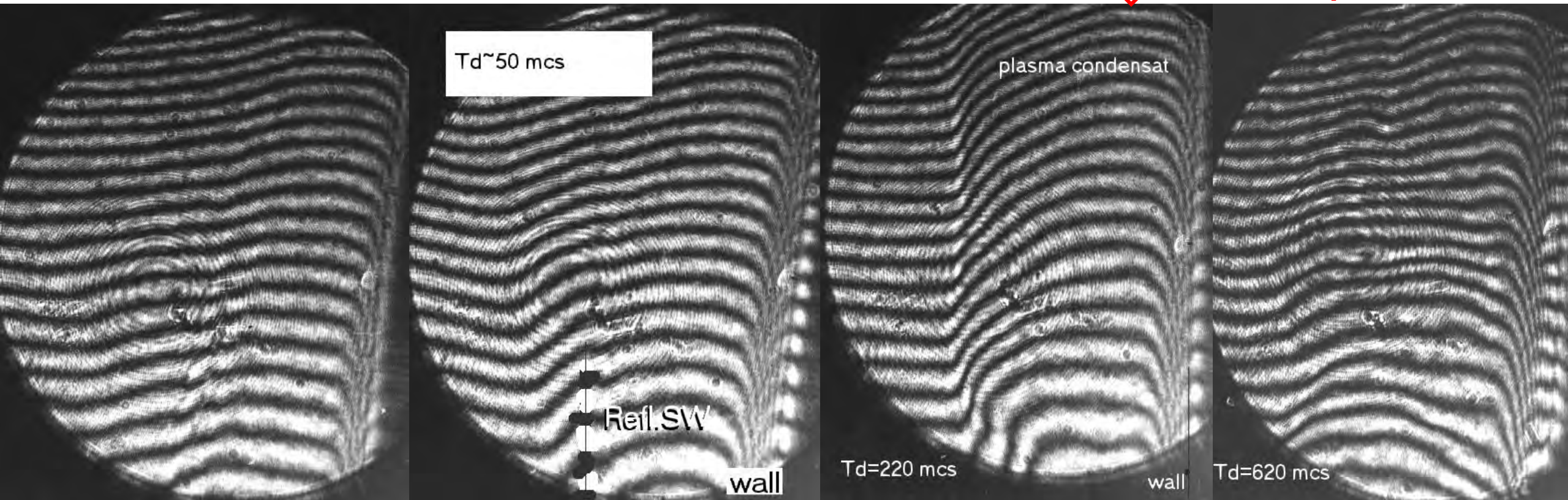
Схема эксперимента по отражению плоской УВ от диэлектрической стенки в СНП ИР (а), Распределение газовой температуры в пристеночной области (б); 1- рабочая секция УТ-2, 2- фронт УВ, 3- анод, 4- секционированный катод, 5- луч оптического интерферометра, 6- пьезодатчики (на стенке РС и на диэлектрической стенке)

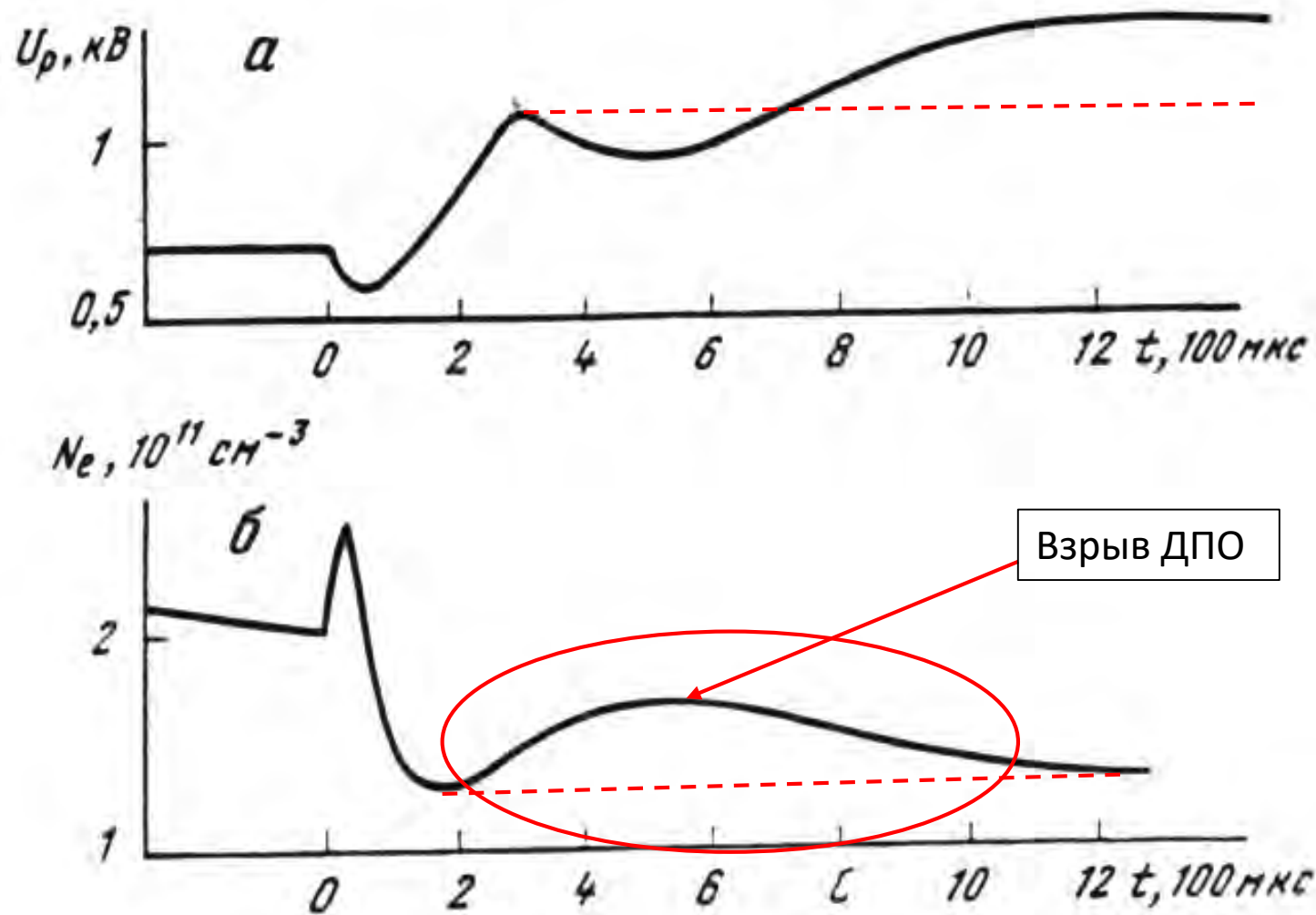
Динамика развития ДПО за отраженной УВ вблизи жесткой стенки

$SW_1 \rightarrow$ $T_d = -20 \text{ mcs}$ $\leftarrow \text{Refl. SW}$ $T_d = 50 \text{ mcs}$



Взрыв ДПО





Временные эволюции напряжения U_p и N_e в пристеночном ПО после отражения УВ
 ($t=0$ - соответствует приходу УВ к стенке, $t=2-10$ мс- соответствует моменту взрыва ПО),
 воздух, 20 Тор , IP , $j_d = 30 \text{ мА/см}^2$, $V_0 = 500 \text{ м/с}$

Основные экспериментальные результаты

- В ходе экспериментов было обнаружено возникновение около стенки специфического плазменного образования (ПО) с необычными параметрами и свойствами.
- Характерная длина сжатого ПО- 2 см. Ширина его границы ~ 6 мм.
- Время формирования данного специфического состояния не превышало ~ 200 мкс.
- Одновременно наблюдалось увеличение разности плотностей газа внутри зарегистрированного плазменного образования ρ_w и вне его .

$$T_w/T_1 = 3.7 ; P_w/P_1 \geq 1.0. \quad (1)$$

- Как показали оценки и численный расчет, такое аномально низкое значение нельзя объяснить первоначальным нагревом газа у стенки до $T_w \sim 500\text{K}$.

Нормальное отражение плоских УВ от жесткой диэлектрической стенки в СНП

1. Обнаруженное плазменное образование достаточно долго находилось в «замороженном» состоянии, не эволюционируя во времени.
2. Длительность его „времени жизни" t_p возрастала с увеличением начального давления газа:
 - при $P_0 = 12 \text{ Тор}$ t_p составляло $\sim 500 \text{ мкс}$,
 - при $P_0 = 30 \text{ Тор}$ „время жизни" ПО возрастало до $\sim 2000 \text{ мкс}$.
3. Затем происходило относительно быстрое (в течение короткого времени, не более 100 мкс) разрушение данного плазменного образования. При этом его граница начинала двигаться со скоростью $\sim 150 \text{ м/с}$ и размываться по мере продвижения. Внутри (ПО) развивались различные газодинамические турбулентные возмущения. **Давление на стенку резко возрастало более чем в 4 раза.**

Коллективные электроны

Важно отметить, что в **ДПО** были обнаружены коллективные свойства возбужденных и заряженных частиц:

1. Первоначально свободные электроны в СНП становились связанными внутри пристеночного **ДПО**. Анализ сигналов СВЧ *интерферометра и ВАХ разряда* (слайд 39) свидетельствуют об этом.
2. **Электронная концентрация N_e** уменьшалась более чем в **1,5 раза**. Как следствие, напряжение на **ДПО** увеличивалось, а **проводимость плазмы** уменьшалась почти **в 2 раза** (отметим, что одновременно изменялось давление и плотность газа в ПО, см.выше).
3. После взрывного разрушения **ДПО** величина N_e вновь возрастала почти до начального значения.
4. Таким образом, в пристеночном **ДПО** происходило связывание свободных электронов и уменьшение проводимости плазмы и последующее их взрывное освобождение.

Поверхностное натяжение в пристеночном ПО

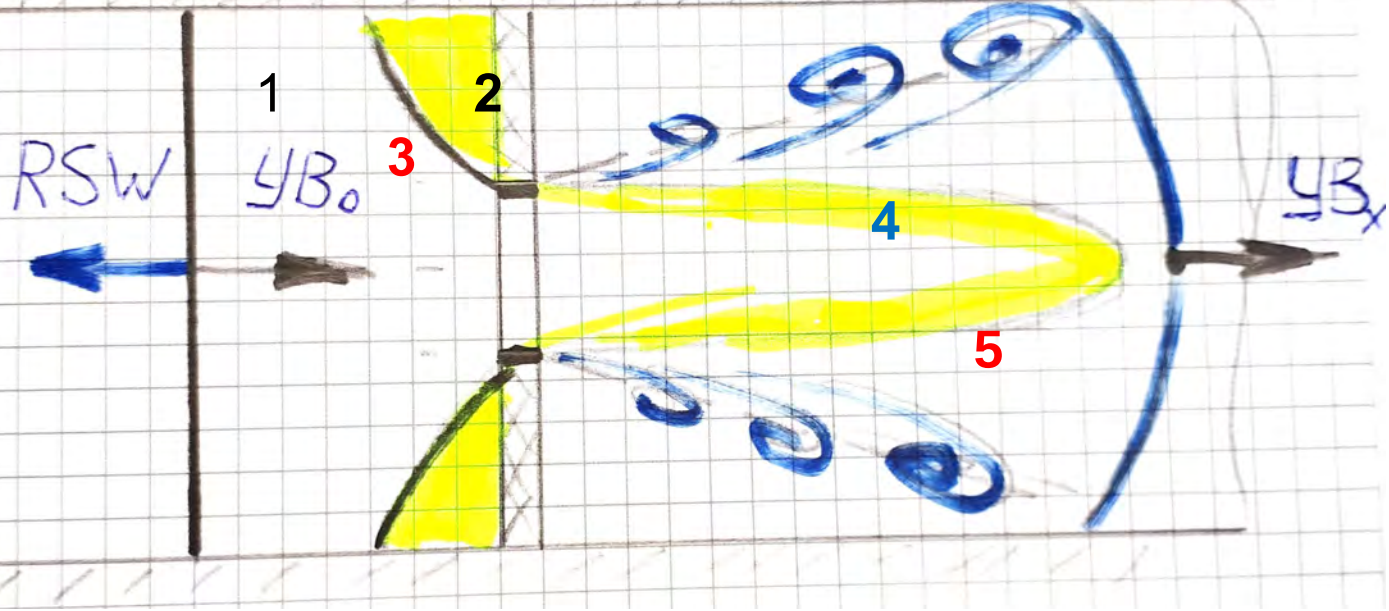


Схема проведения эксперимента для получения коллимированного ПО за стенкой с круглым отверстием: 1- стенки УТ, 2- стенка с отверстием, 3- остаточное пристеночное ПО, 4 – граница струи без плазмы, 5- граница ДПО,
УВ₀- падающая УВ, УВ_х- прошедшая УВ,

Поверхностное натяжение ПО

1. Пристеночная плазменная структура обладает, по-видимому, поверхностным натяжением.
2. В случае **ИР** на выходе отверстия после отражения УВ наблюдалось формирование ламинарной коллинеарной струи постоянного сечения, *по внешнему виду напоминающую струи жидкости*.
3. В случае отсутствия ИР в РС на выходе отверстия после отражения УВ формировалась ***затопленная турбулентная** газовая расширяющаяся струя*.
4. Следует отметить также, что с наветренной стороны стенки вне отверстия **ПО не выносилось** ударно-сжатым потоком (прилипало к поверхностям трубы и стенки???).
5. Наличие краевых углов между границей ПО и стенками $\varphi < 90^\circ$ указывает на то, что **пристеночная плазма “смачивает”** соответствующие поверхности.

Зондирование пристеночного ПО с помощью внешнего ЭМ излучения

1. Зондирование ПО после завершения его формирования электромагнитными волнами с различными длинами волн показало, что для лазерного излучения с $\lambda_1 = 0.638$ нм и $\lambda_2 = 0.534$ нм затухания нет, в то время как для лазерного излучения с $\lambda_3 = 10.6$ мкм обнаружено аномальное большое затухание.
2. Коэффициент затухания в этом случае оказался равным $\sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. Можно показать, что такой большой коэффициент затухания не может быть объяснен ни нагревом газа вблизи стенки, ни колебательной неравновесностью возбужденных молекул естественной примеси CO_2 в воздухе.
3. Зарегистрировано также сильное поглощение СВЧ излучения с $\lambda_4 = 8$ мм.

Выводы

В эксперименте по отражению УВ от диэлектрической стенки в СНП обнаружено:

1. Формирование долгоживущего плазменного конденсата (ДПО) вблизи стенки с типичным временем жизни порядка 1-2 мс,
2. Взрыва ДПО после этапа устойчивого замороженного состояния
3. Наличия в ДПО связанных электронов и их высвобождения в момент его гибели
4. Наличия поверхностного натяжения в ДПО