



От ЭЛЕКТРОХИМИИ до LENR

Ю.К. Евдокимов
д.т.н., профессор

Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ)

Доклад на семинаре Климова-Зателепина
28 февраля 2024г.

Пленарные доклады на секции «Electrodifusion diagnostics of flows» на международном конгрессе CHISA 90 (Прага, 26-31 августа 1990 г.)



H4 Lectures - Tuesday afternoon: HYDRODYNAMIC PROCESSES AND EQUIPMENT

WORKSHOP ON ELECTRODIFFUSION DIAGNOSTICS OF FLOW II

13 M. Fleischmann and S. Pons
Univ. Southampton, Southampton, United Kingdom
Microelectrode probes of wall turbulence. [1384]

4 O. N. Kashinsky
Inst. Thermophys., Novosibirsk, USSR
Electrodifusional diagnostics of gas-liquid flows: techniques and instrumentations. [320]

8 B. M. Grafov
Inst. Electrochem., Acad. Sci. USSR, Moskva, USSR
Hydroelectrochemical impedance. [183]

9 K. B. Oldham
Trent Univ., Peterborough, Canada
Interrelation of current and concentration in voltammetry. [1369]

10 *R. Nigmatullin, U. Evdokimov and M. Vjaselev
Kazan Aviat. Inst., Kazan, USSR
Electrical models of electrode/electrolyte interface and their applications for flow measuring. [350]

WORKSHOP ON ELECTRODIFFUSION DIAGNOSTICS OF FLOW II

13 M. Fleischmann and S. Pons
Univ. Southampton, Southampton, United Kingdom
Microelectrode probes of wall turbulence. [1384]

Y O. N. Kashinsky
Inst. Thermophys., Novosibirsk, USSR
Electrodiffrusional diagnostics of gas-liquid flows: techniques and instrumentations. [320]

8 B. M. Grafov
Inst. Electrochem., Acad. Sci. USSR, Moskva, USSR
Hydroelectrochemical impedance. [183]

9 K. B. Oldham
Trent Univ., Peterborough, Canada
Interrelation of current and concentration in voltammetry. [1369]

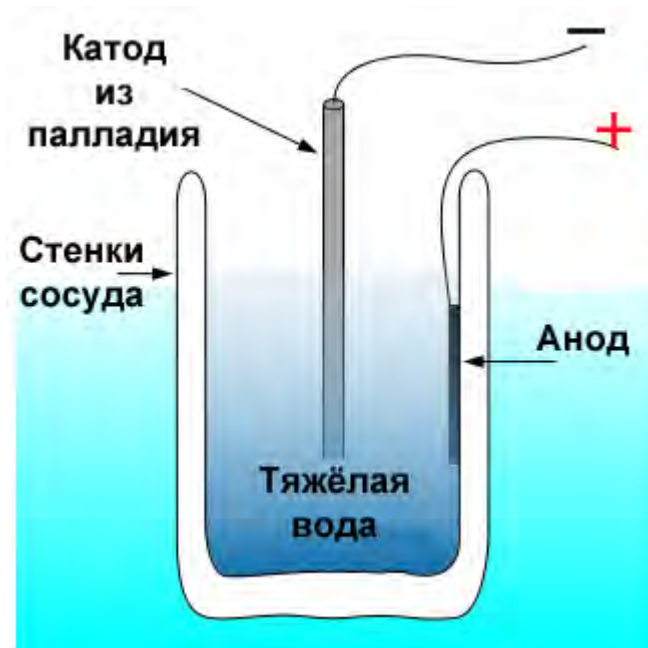
10 *R. Nigmatullin, U. Evdokimov and M. Vjaselev
Kazan Aviat. Inst., Kazan, USSR
Electrical models of electrode/electrolyte interface and their applications for flow measuring. [350]

Схема эксперимента Флейшмана-Понса (март, 1989 г.)

«*Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*» (J. Electroanal.Chem., 261 (1989), 301-308)

В эксперименте Флейшмана-Понса использовано уникальное свойство электрода из палладия:

- В одном объеме палладия растворяется 850 объемов водорода!
- В результате в кристаллической решетке палладия образуется «водородная жидкость», способствующая процессу LENR.
- Физический механизм «слияния» неясен, поскольку не наблюдаются нейтронное или гамма-излучения.
- Наблюдался периодический нагрев электролита на несколько градусов.



Традиционное представление:

- При объединении двух ядер дейтерия D ($2H$), состоящих из протона p и нейтрона n , образуется ядро $4He$ в сильно возбужденном состоянии (на 24 МэВ выше основного состояния).
- Ядро гелия может сбросить лишнюю энергию в виде нейтрона n , превратившись в ядро $3He$
- Или в виде протона p , превратившись в ядро трития T ($3H$).

1. Флейшман и Понс, в драматичный период профессиональной жизни, решили на международном конгрессе CHISA 90 (Прага, 26-31 августа 1990 г.) представить доклад *«Микроэлектродные (электродиффузионные) датчики пристенной турбулентности»?*

2. Казалось бы, тема доклада далека от их сенсационной работы *«Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium»* (J. Electroanal. Chem., 261 (1989), 301-308)?

3. Какие особенности и процессы на межфазной границе электрод/электролит могут быть привлекательны с точки зрения LENR?

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦ (ГЕТЕРОСТРУКТУР) И ПРИБОРЫ, СОЗДАННЫЕ НА ИХ ОСНОВЕ

- **Электрод/вакуум** – вакуумные приборы (*электронные лампы, электронно-лучевые трубки и т.д.*);
- **Электрод/газ** – газоразрядные и плазменные приборы;
- **Электрод/жидкое тело** – жидкостные приборы (*электрохимические приборы, жидкокристаллические приборы, датчики и т.д.*)
- **Электрод/твердое тело** – твердотельные приборы (полупроводниковые диоды, транзисторы, микроэлектронные приборы)

МЕЖФАЗНАЯ ГРАНИЦА ЭЛЕКТРОД/ЭЛЕКТРОЛИТ

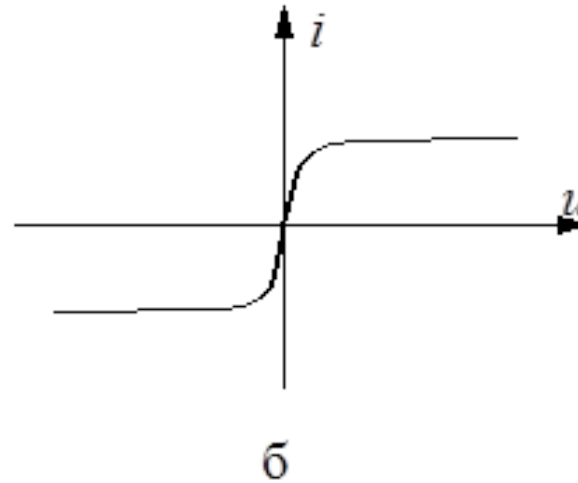


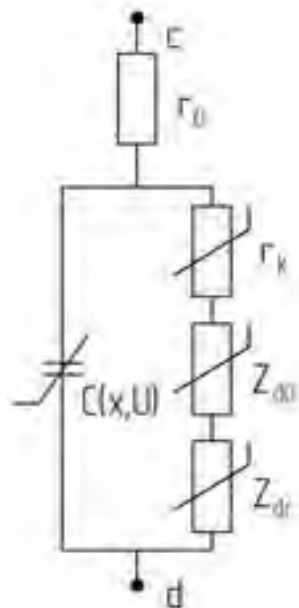
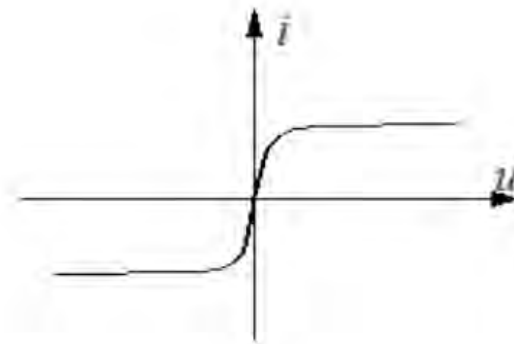
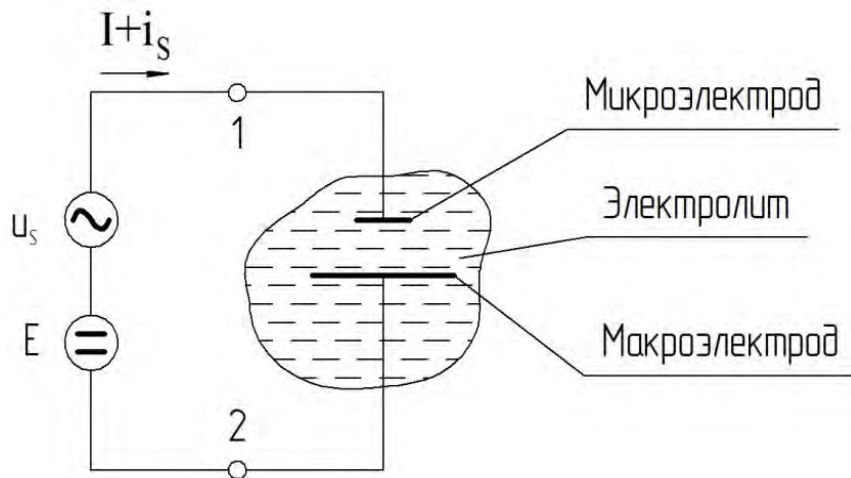
Рис. 1.1 Электрохимическая ячейка (а) и ее вольт-амперная характеристика (б).

Микроэлектрод – площадь микроэлектрода на 3-4 порядка меньше площади макроэлектрода. Обычно микроэлектрод является катодом. Типичный размер микроэлектрода в электрохимических датчиках от 10 мкм до 1 мм.

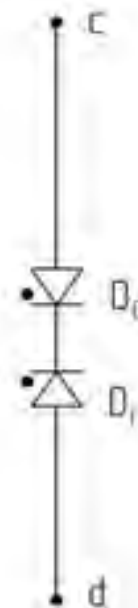
Сопротивление переносу заряда и массы сосредоточено на границе микроэлектрод/электролит.

МЕЖФАЗНАЯ ГРАНИЦА ЭЛЕКТРОД/ЭЛЕКТРОЛИТ

Электрическая модель



См след



МЕЖФАЗНАЯ ГРАНИЦА ЭЛЕКТРОД/ЭЛЕКТРОЛИТ

Электрическая модель

Импеданс межфазной границы (без учета емкости двойного электрического слоя) образован суммой *сопротивления электролита r_0 , сопротивления электрохимической реакции r_k и диффузионного импеданса Z_d* :

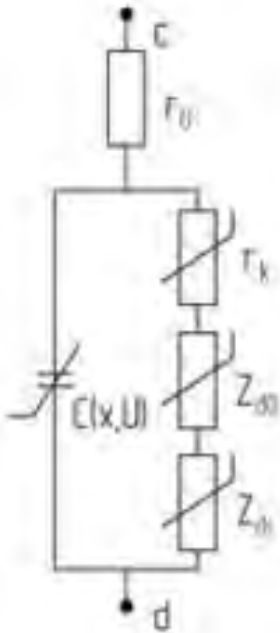
$$Z(p, I) = r_0 + r_k(I) + Z_d(p, I),$$

Диффузионный импеданс в слое конечной толщины δ_D (толщина диффузионного пограничного слоя на электроде при обтекании потоком) :

$$Z_d(p, U) = \frac{r_t \cdot k_f}{\sqrt{p \cdot D_o}} th\sqrt{\delta_D^2 \cdot p / D_o} + \frac{r_t \cdot k_b}{\sqrt{p \cdot D_r}} th\sqrt{\delta_D^2 \cdot p / D_r}$$

Для полубесконечной диффузии $\delta_D \rightarrow \infty$ диффузионный импеданс вырождается в *импеданс Варбурга*:

$$Z_d(p) = kr_k / \sqrt{pD}$$

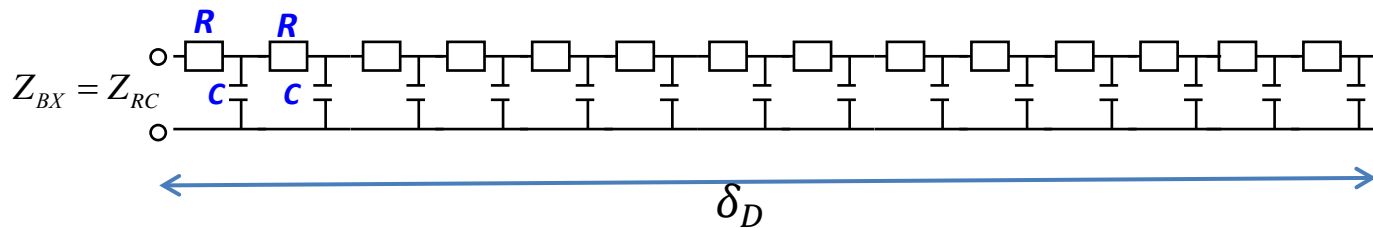


МЕЖФАЗНАЯ ГРАНИЦА ЭЛЕКТРОД/ЭЛЕКТРОЛИТ

Диффузионный импеданс и входной импеданс распределенной RC-структуры

$$Z_d(p) = kr_k / \sqrt{pD}$$

$$Z_{RC}(p) = \sqrt{R / pC}$$



D - коэффициент диффузии, *p* – оператор Лапласа. Видим аналогию электрохимического импеданса и входного импеданса электрической RC-цепи. Здесь важно понимание того, что диффузионный импеданс электрохимической ячейки и входной импеданс распределенной RC-структуры являются аппаратной основой для реализации *дробного оператора половинного порядка*

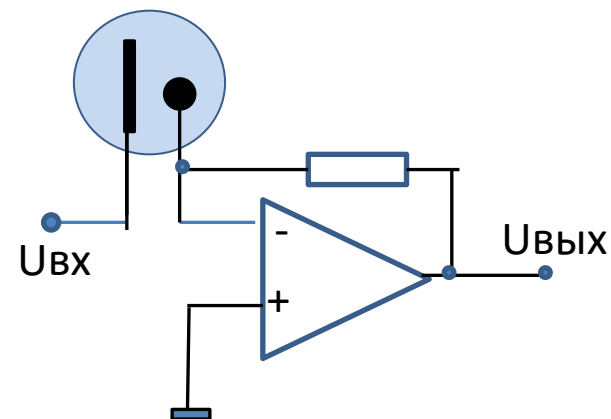
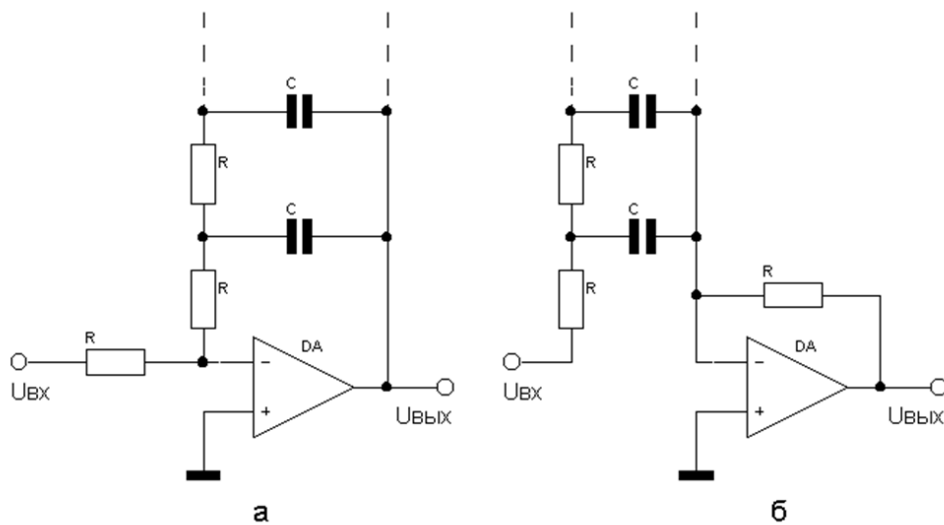
Оператор интегрирование половинного порядка

$$\sqrt{\frac{R}{pC}} \sim p^{-1/2} \leftrightarrow \int dt^{1/2}.$$

Оператор дифференцирования половинного порядка

$$p^{1/2} \leftrightarrow \frac{d^{1/2}}{dt^{1/2}}$$

Аппаратная реализация дробного интегрирования и дифференцирования половинного порядка $\frac{d^{1/2}}{dt^{1/2}}$



Интегрирование и дифференцирование половинного порядка $d^{1/2}/dt^{1/2}$ с использованием распределенных RC-структур (КАИ, 1962 г)

Дифференцирование половинного порядка $d^{1/2}/dt^{1/2}$ с использованием электрохимической ячейки (КАИ, 1962 г)

Дробная производная и дробный интеграл Летникова А.В.

$$\frac{d^\nu f(t)}{dt^\nu} = D^\nu f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\nu)} \frac{d}{dt} \int_0^t (t-\tau)^{-\nu} f(\tau) d\tau,$$

$$-\infty < \nu < 1$$

Интегральное
представление
дробной производной

$$D^\nu f(t) \leftrightarrow p^\nu f(p);$$

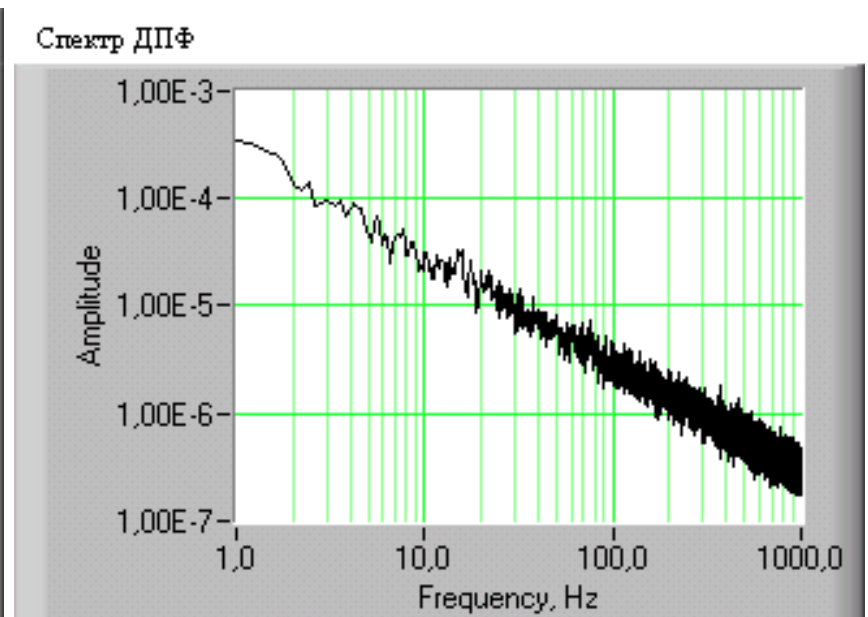
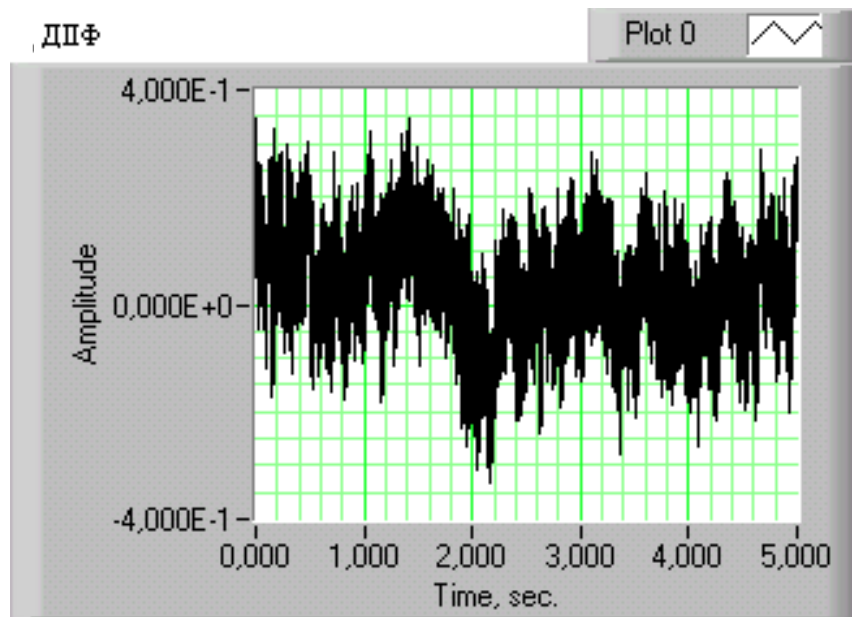
$$D^{-\nu} f(t) \leftrightarrow p^{-\nu} f(p)$$

Операторы дробной
производной и
дробного интеграла
в области изображений

ПРИЛОЖЕНИЯ ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

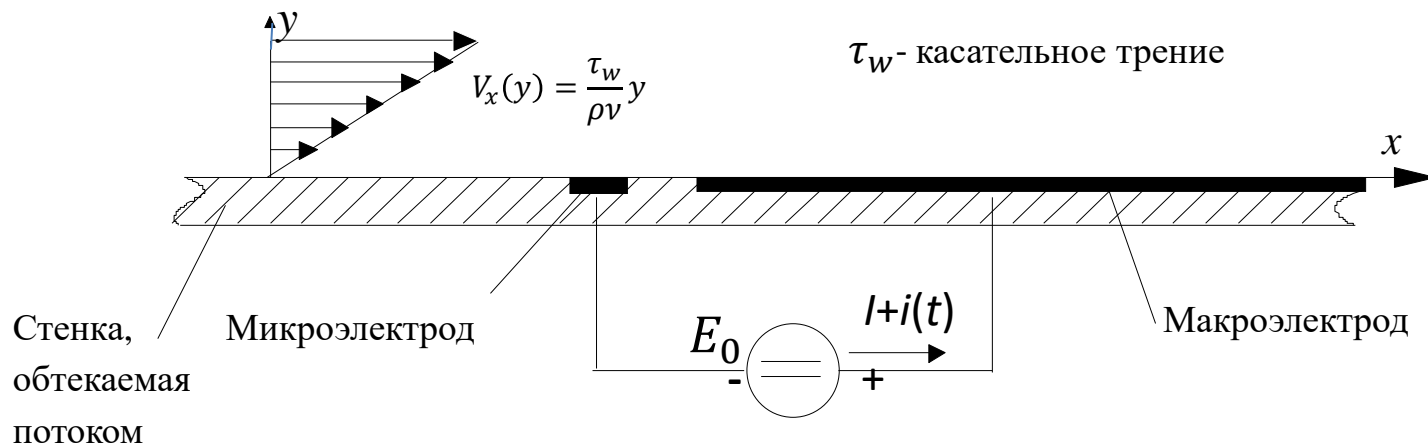
1. Генерация фликкер-шумов типа $f^{-\alpha}$ (фрактальных процессов) с заданным показателем α ;
2. Обработка и восстановление сигналов датчиков;
3. ПИД-регуляторы с дробным законом интегрирования и дифференцирования;
4. Генерация фрактальных объектов с дробной размерностью $1 < D < 3$;
5. И многое другое...

Пример генерации фликкер-шума с использованием дробного интегрирования половинного порядка



$$\gamma_{\text{зад}} = -0,5 \quad \gamma_{\text{пол.}} = -0,502$$

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ПРИСТЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И КАСАТЕЛЬНОГО ТРЕНИЯ



$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\tau_w}{\mu} y \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}$$

Уравнение конвективной диффузии

$$\bar{I} = 0,681 n F c_{\infty} \mu^{-1/3} D^{2/3} d_p^{5/3} \bar{\tau}_w^{-1/3}$$

Характеристика преобразования датчика
«ток-касательное трение»

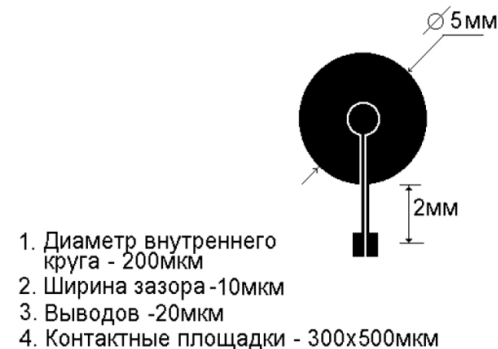
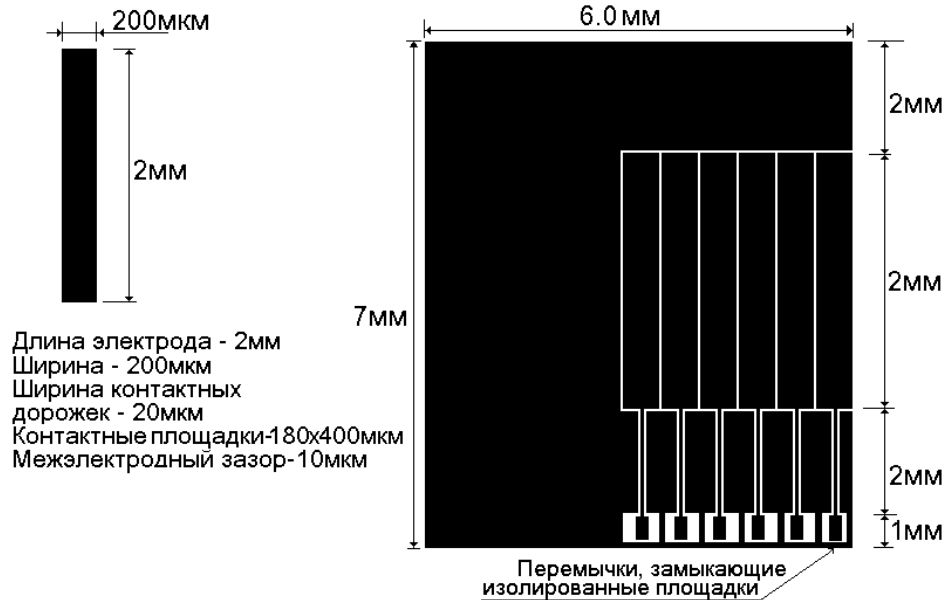
$$H(j\omega^*)$$

Частотная характеристика датчика
касательного трения

$$S_i(\omega^*) = |H(j\omega^*)|^2 S_{\tau}(\omega^*)$$

Связь спектра тока датчика с спектром
пульсаций касательного трения

Микроэлектродные датчики пристенной турбулентности



Микропленочный электрохимический датчик для исследования массопереноса и структуры пристеночной турбулентности (топология "круг в круге")

Микропленочный электрохимический многоэлектродный датчик для зондирования структуры пристеночной турбулентности (топология "электрод в электроде")

Микроэлектродные датчики пристенной турбулентности. Одномерный распределенный датчик

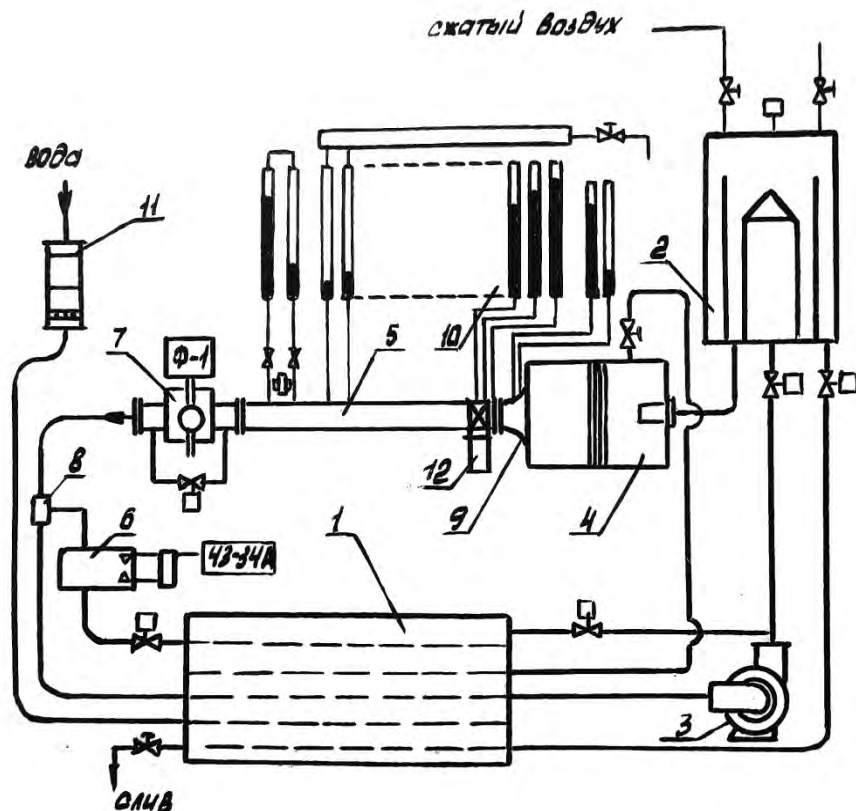


Два одномерных микропленочных платиновых микроэлектрода с измерительной базой 15 мм и шириной 50 мкм. Расстояние между микроэлектродами 200 мкм. Полное сопротивление микроэлектрода – 360 Ом. Датчик устанавливался «заподлицо» в плоском прямоугольном рабочем канале гидродинамического стенда.

Многоэлектродные датчики касательного трения



Гидродинамический электрохимический стенд для исследования закрученных потоков



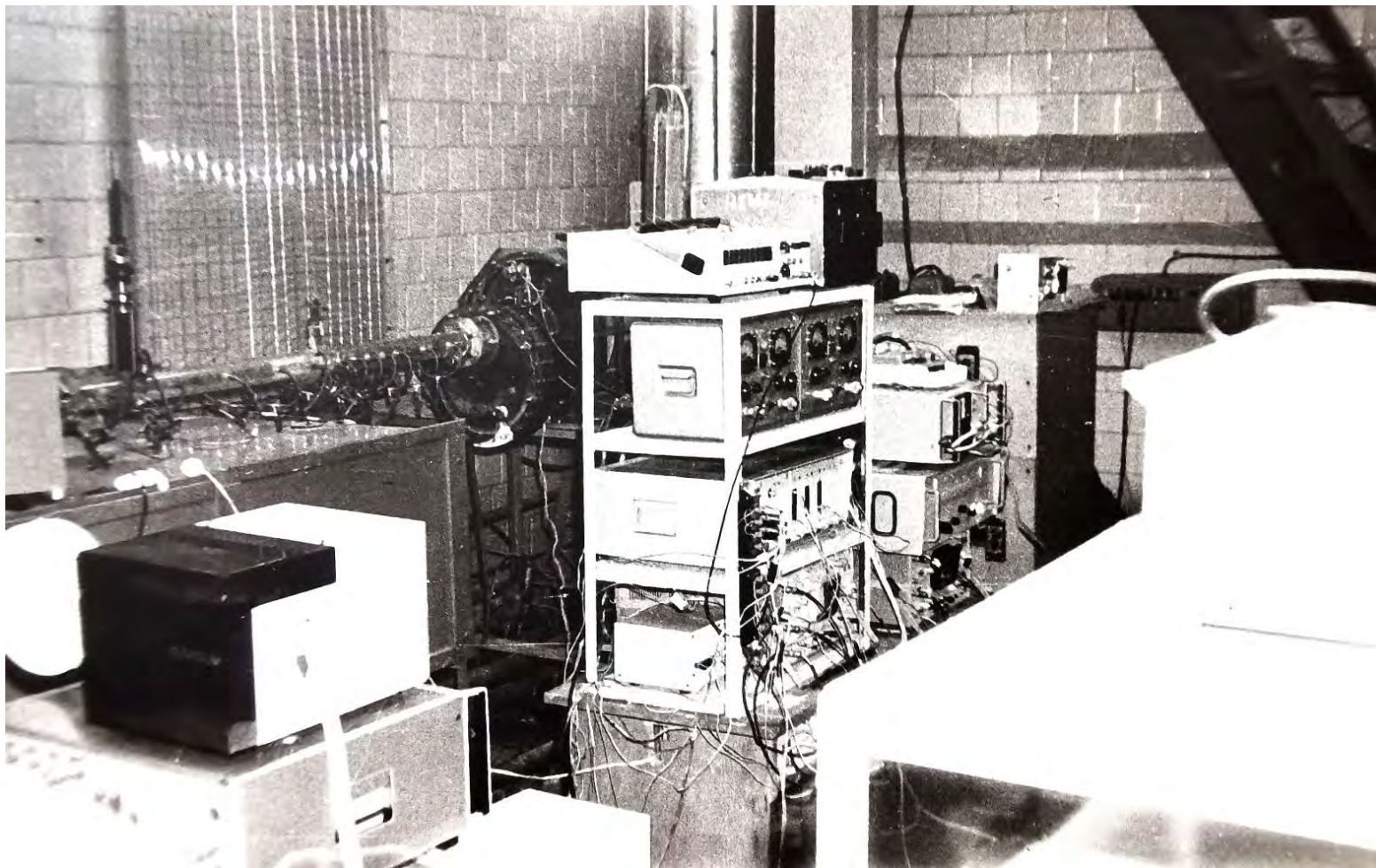
- 1. Приемно-сливной резервуар
- 2. Система стабилизации напора
- 3. Насосы
- 4. Форкамера
- 5. Рабочий участок
- 6. Объемный расходомер
- 7. Пульсатор
- 8. Перекидное устройство
- 9. Расходомерное сопло
- 10. Пьезометрический щит
- 11. Дистиллятор
- 12. Узел смены завихрителей

Электролит: водный раствор ферро-феррицианида калия и фоновый электролит на основе хлористого калия. Состав раствора: $K_4Fe(CN)_6$ 0,01Н; $K_3Fe(CN)_6$ 0,01Н; KCl (0,1Н).

На микрокатоде датчика $[Fe(CN)_6]^{3-} + e \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$. **На аноде** $[Fe(CN)_6]^{3-} - e \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$

Объем электролита - 300 литров. Число Рейнольдса – до 120000. Скорость нагрева 0.5 град/мин.

Гидродинамический электрохимический стенд для исследования закрученных потоков

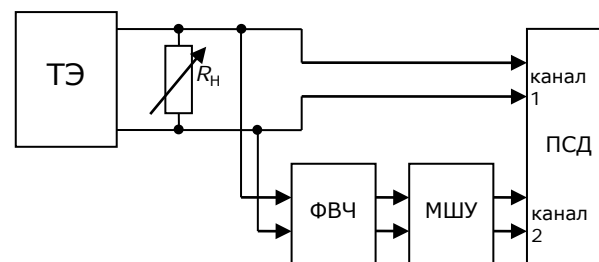
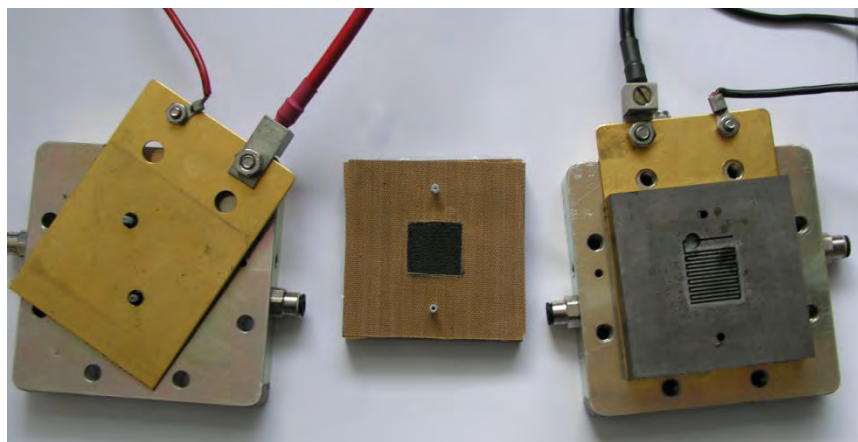


Стенд для исследования водородных топливных элементов с протонообменной мембраной

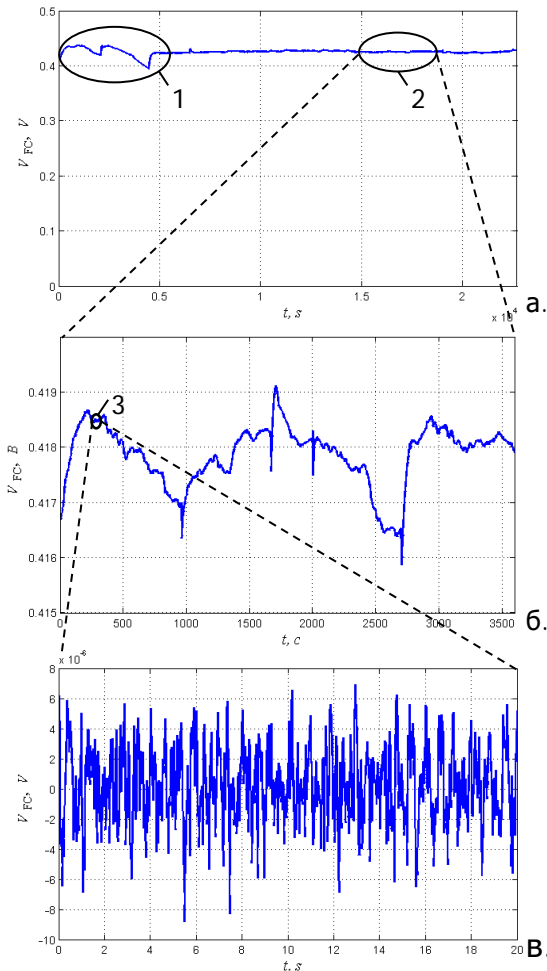


Описание эксперимента

- В ходе эксперимента, изучался топливный элемент с протонообменной мембраной, мембранно-электродный узел (МЭУ) которого был изготовлен методом горячего прессования (площадь 5 см^2).
- Для измерений использовалась система сбора данных, состоящая из платы сбора данных NI PXI-5922 (ПСД) фирмы *National Instruments* и малошумящего усилителя (МШУ), изготовленного на базе микросхемы INA 103 фирмы *Burr Brown*.
- Электрические шумы ТЭ изучались в режиме постоянной нагрузки ($R_H = \text{const}$).



Виды электрических флуктуаций в водородных топливных элементах с протоннообменной мембраной



1. Макрофлуктуации (МФ) – флуктуации тока и напряжения соизмеримые с уровнем среднего тока I_0 и напряжения V_0 ТЭ:

$$\varphi_T < V_{MF} < V_0, \quad \varphi_T = \frac{kT}{q}$$

2. Флуктуации среднего уровня (ФСУ)

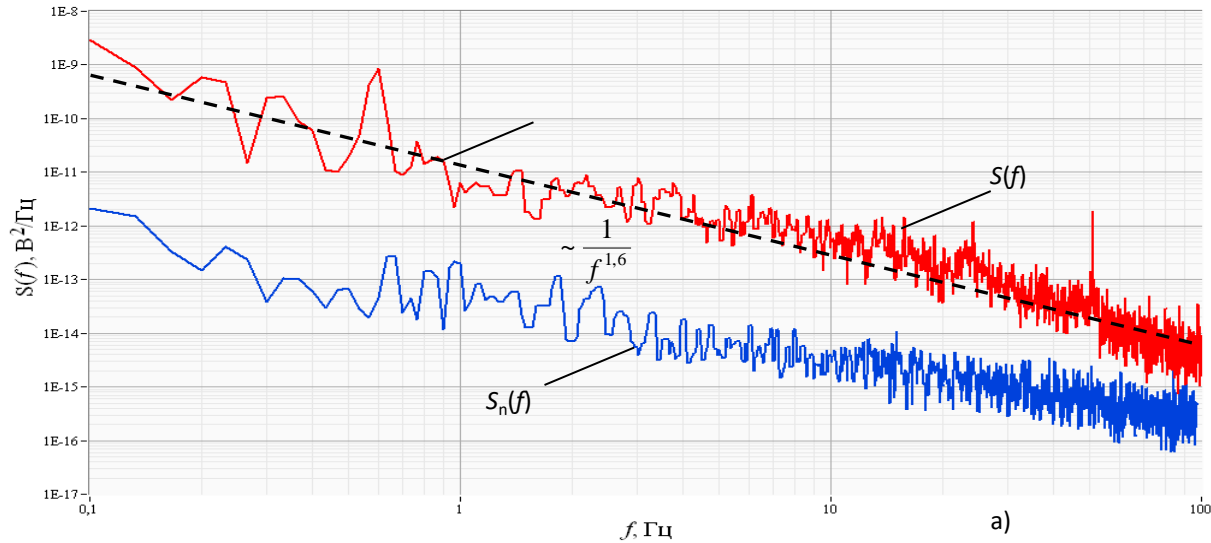
$$\sqrt{4kTR_L \Delta f} \ll V_{mF} < \varphi_T,$$

3. Микрофлуктуации (мкФ) – флуктуации, обусловленные собственными электрическими шумами ТЭ.

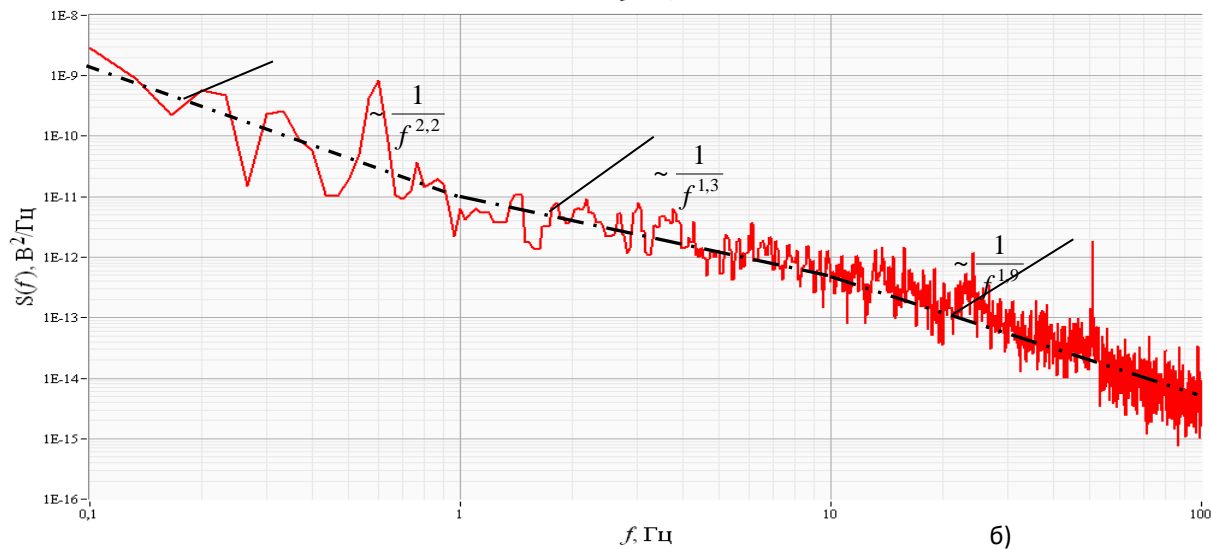
Среднеквадратическое отклонения (СКО) микрофлуктуаций $\sigma_{\mu F}$ могут быть сравнены с СКО тепловых флуктуаций ТЭ:

$$\sqrt{4kTR_L \Delta f} < \sigma_{\mu F} \ll \varphi_T,$$

Спектры электрических шумов в водородном топливном элементе с протонообменной мембраной



$$S(f) \sim \frac{1}{f^\gamma}$$



$$S(f) \sim \begin{cases} \frac{1}{f^{\gamma'}} , f \leq 1 \text{ Hz}; \\ \frac{1}{f^{\gamma''}} , 1 \text{ Hz} < f \leq 10 \text{ Hz}; \\ \frac{1}{f^{\gamma'''}} , 10 \text{ Hz} \leq f \leq 100 \text{ Hz}. \end{cases}$$

ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ

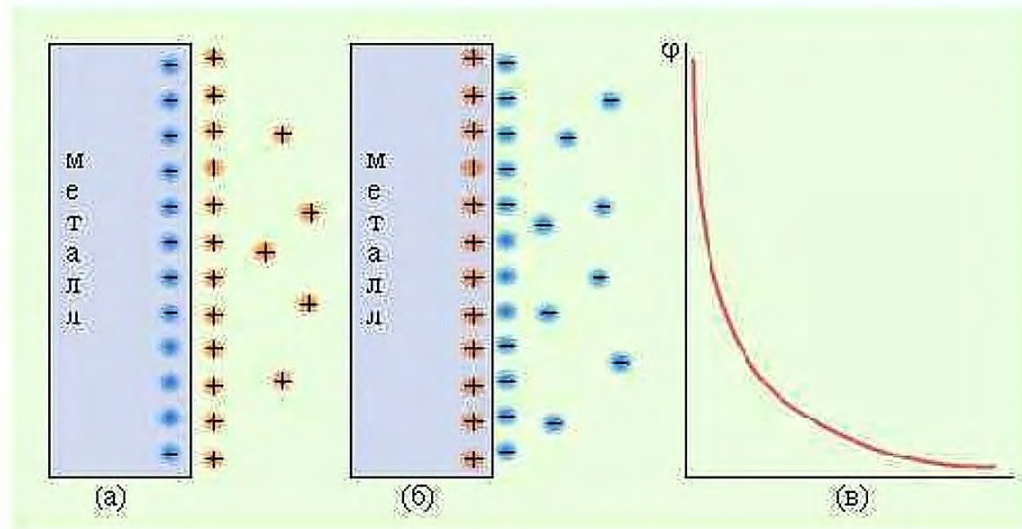
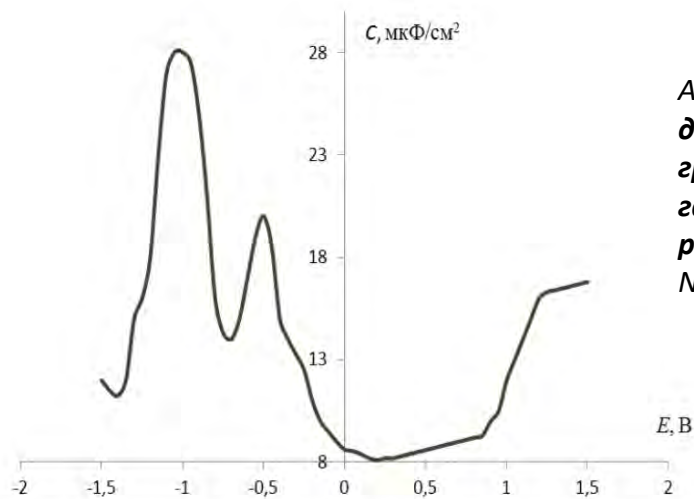


Схема двойного электрического слоя (а) и (б); распределение заряда в объеме электролита (в)

1. **Емкость двойного слоя** – зависит нелинейно от приложенного напряжения $C(U)$;
2. Значение **дифференциальной емкости** составляет 20-30 мкФ/см².
3. **Эффективное расстояние между «обкладками»** ионного конденсатора составляет 50-100 пикометров;
4. **Напряженность электрического поля** в двойном слое достигает огромных величин 10^8 В/см или 10000 В/мкм. (см. следующий подробный слайд!)

Дифференциальная емкость двойного слоя на границе «электрод-электролит». Вольт-фарадная характеристика



*А.Г. Кагиров Измерение
дифференциальной емкости на
границе электрод/раствор в
гальваностатическом импульсном
режиме. Вестник науки Сибири. 2012.
N4. С.113-117*

Рис. 4. Зависимость дифференциальной емкости оловянного электрода в растворе 0,1 моль/дм³ хлорида натрия

СВОЙСТВА ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

- 1. Емкость двойного слоя** - нелинейная $C(U)$. Зависит от приложенного к ячейке напряжения. Значением статической и дифференциальной емкости можно управлять напряжением U . В водных электролитах это напряжение не превышает потенциала электролитического разложения воды – не более 1,5В;
- 2. Значение дифференциальной емкости** огромно и составляет **20-30 мкФ/см²**. Зависит от величины U – рабочей точки. Хороший накопитель заряда и энергии;
- 3. Расстояние d между «обкладками»** ионного конденсатора составляет 50-150 пикометров и зависит от вида потенциалопределяющих ионов в растворе электролита. «Ионная» пластина конденсатора **подвижна** и расстоянием **d можно управлять напряжением U** на ячейке. При наложении постоянного и малого переменного напряжения $U(t)=U_0+\Delta U \sin \omega t$ расстояние между обкладками за счет электростатических сил соответственно также будет меняться относительно среднего значения **$d(t)=d_0+\Delta d \sin \omega t$** ;
- 4. Напряженность электрического поля** в двойном слое достигает огромных величин **10^8 В/см или 10000 В/мкм**. Это сильное поле может подхватить и ускорить любую заряженную малую частицу;
- 5. Для неоднородных шероховатых поверхностей электрода** напряженность электрического поля также неоднородна. На «остриях» и «пиках» шероховатостей напряженность может превысить средних значений на порядок и более.
- 6. В палладиевом электроде**, в сравнении с электродами из других металлов, можно допустить, что напряженность поля в двойном слое намного выше. Это облегчает протекание многих реакций в сравнении с другими материалами электрода.

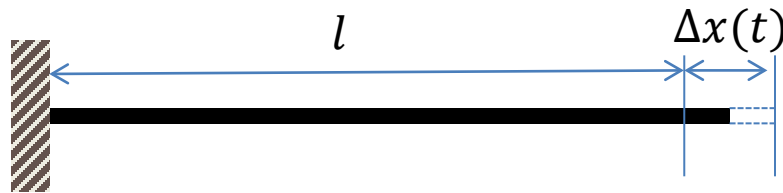
Флуктуации и электрические шумы. Можно-ли извлечь энергию из шумовых флуктуаций?

Особенности:

1. Очень малы по амплитуде и мощности;
2. Представляют широкополосный случайный процесс ;
3. В большинстве случаев можно их полагать белым шумом, либо фрактальным процессом;
4. Только длительным накоплением во времени или параллельным накоплением от множества источников флуктуации можно накопить достаточную энергию;
5. Что собой должен представлять накопитель энергии шумовых флуктуаций?
6. Можно-ли извлечь энергию флуктуаций? Можно - если есть энергия. Нужно найти способ.

Примеры флуктуаций физических систем

1. Механические (тепловые) флуктуации длины стержня

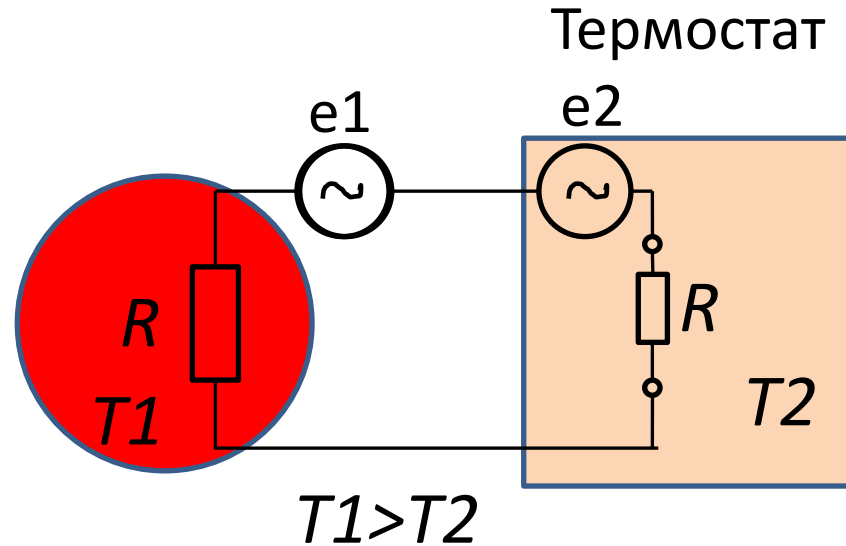
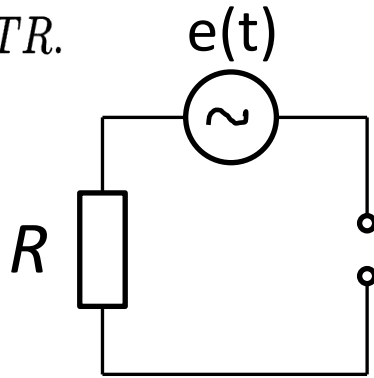
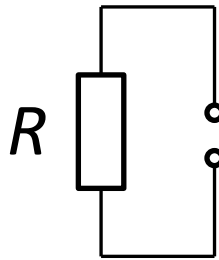


1. Тепловые флуктуации длины одномерного стержня $l \pm \Delta x(t)$;
2. В силу упругости стержень одновременно может выполнять роль резонатора, если закрепить свободный конец. Резонатор вырезает спектр флуктуаций на частоте собственных колебаний $f = v/2l$, v – скорость звука в стержне;
3. Резонатор не накапливает энергию флуктуаций в стержне. Получаем узкополосный случайный сигнал с мощностью, пропорциональной $\Delta F/F$, где ΔF - полоса пропускания резонатора; F - ширина частотного спектра флуктуаций;
4. Для накопления необходимо обеспечить подачу синхронизированных по фазе флуктуаций на частоте собственных колебаний стержня.

Примеры флуктуаций физических систем

1. Тепловые электрические шумы. Тепловой шум резистора

$$S_f = \frac{\overline{e_t^2}}{\Delta f} = 4kTR.$$



При $R=10$ кОм, $T=1500$,

$\Delta f = 500$ МГц: СКВ = 644 мкВ. ЗСКВ = 1.9 мВ

1. При $T1 > T2$ энергия тепла перекачивается в термостат и накапливается в нем. При равенстве температур $T1 = T2$ перекачка прекращается. При $T2 > T1$ перекачка идет в обратную сторону – справа налево. Термостат является накопителем энергии.
2. Заметное изменение температуры в термостате требует накопления достаточно длительного времени из-за малости электрических шумов. (у хорошего печника «свечкой можно истопить баню!»).
3. Важным моментом здесь является также возможность удаленной электрической перекачки тепла «по проводам».
4. При проведении длительных экспериментов в малых объемах необходимо учитывать вклад тепловой энергии от тепловых шумов резисторных элементов (сопротивление электролита, активная (реальная) часть импеданса элементов, сопротивление нагрузки и т.п.) входящих в состав экспериментальной установки. Эти элементы могут уменьшать внутреннюю энергию, передавая его во вне. Или же, наоборот, повышать внутреннюю энергию, поглощая внешнюю.
5. В связи с этим также возникает вопрос о возможном вкладе энергии тепловых и избыточных электрических шумов в экспериментах Флейшмана-Понса от активных (резисторных) составляющих электрохимического импеданса.

Накопление энергии теплового шума резистора на емкости

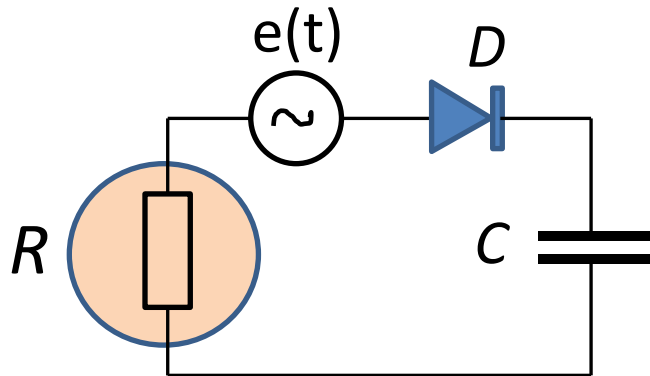
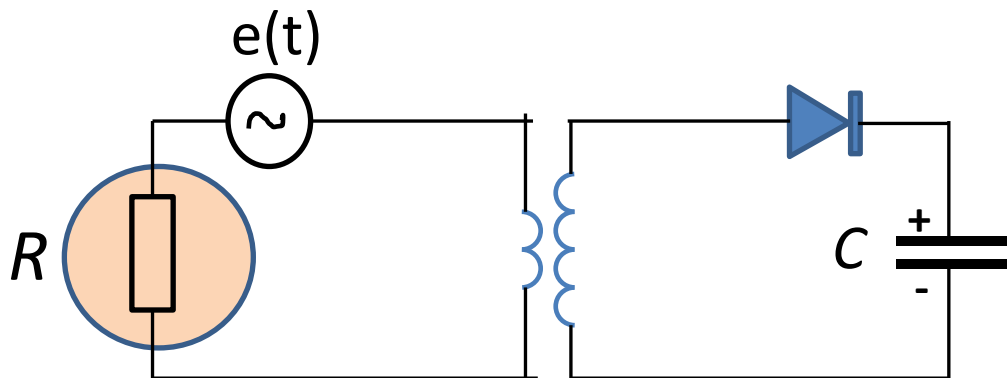


Схема не работоспособна. Для малых уровней шума диод эквивалентен резистору. Поэтому выпрямительный эффект отсутствует. Накопление заряда нет.



Трансформаторное повышение амплитуды шумов дает возможность для части шумов большей амплитуды пройти через диод с эффектом выпрямления. Появляется возможность накопления заряда на емкости и периодического съема накопленного заряда во внешнюю цепь или потребителю.

Способы накопления энергии.

Виды накопителей энергии

Индуктивность – электромагнитная энергия

Емкость – электрическая энергия

Резонатор – энергия колебаний

Накопление и хранение
энергии в
энергосистемах

=

Накопление и хранение
информации в
информационных системах

1. **Емкостная память** цифровых систем. **Адресные запись, хранение и извлечение энергии** в ячейках памяти.

2. **Запись и хранение энергии заряда** в плавающем затворе транзисторов. **SSD и RAM** - память, **флешки**.

3. **Бит информации** соответствует порции энергии $\Delta E = CU^2$ и заряда $\Delta q = CU$, полученных при записи в ячейку одного бита информации.

4. **N ячеек памяти флешки в 256 Гб** ($N = 256 \cdot 10^9$ с емкостью $C = 0,01$ пФ плавающего затвора транзистора и напряжении записи $U = 5V$) хранит энергию $E = N(CU^2) = 0,064$ Дж и количество заряда $Q = N\Delta q = 0,013$ Кулона. Срок хранения энергии заряда **до 10 лет**.

5. Таким образом, с энергетической точки зрения, **память компьютерных систем** можно рассматривать как **система накопления и хранения энергии** с возможностью адресного занесения и извлечения порций энергии. **КПД** информационных накопителей **низкий**, но некоторые принципы могут быть применены для систем организации хранения энергии нового типа для **LENR приложений**.

Резонаторы для извлечения, накопления и хранения энергии

1. Энергия колебаний способна накапливаться в резонаторе. Количество запасаемой энергии E зависит от его **добротности** $Q = \frac{\omega_0 E}{P}$. P - мощность потерь; ω_0 - резонансная частота. Современные резонаторы - *механические, оптические, резонаторы на ионных ловушках (квантовая память)* имеют добротность от 10^3 до 10^8 .

Пример: часовой кварцевый резонатор на 32 кГц имеет добротность около 55000.

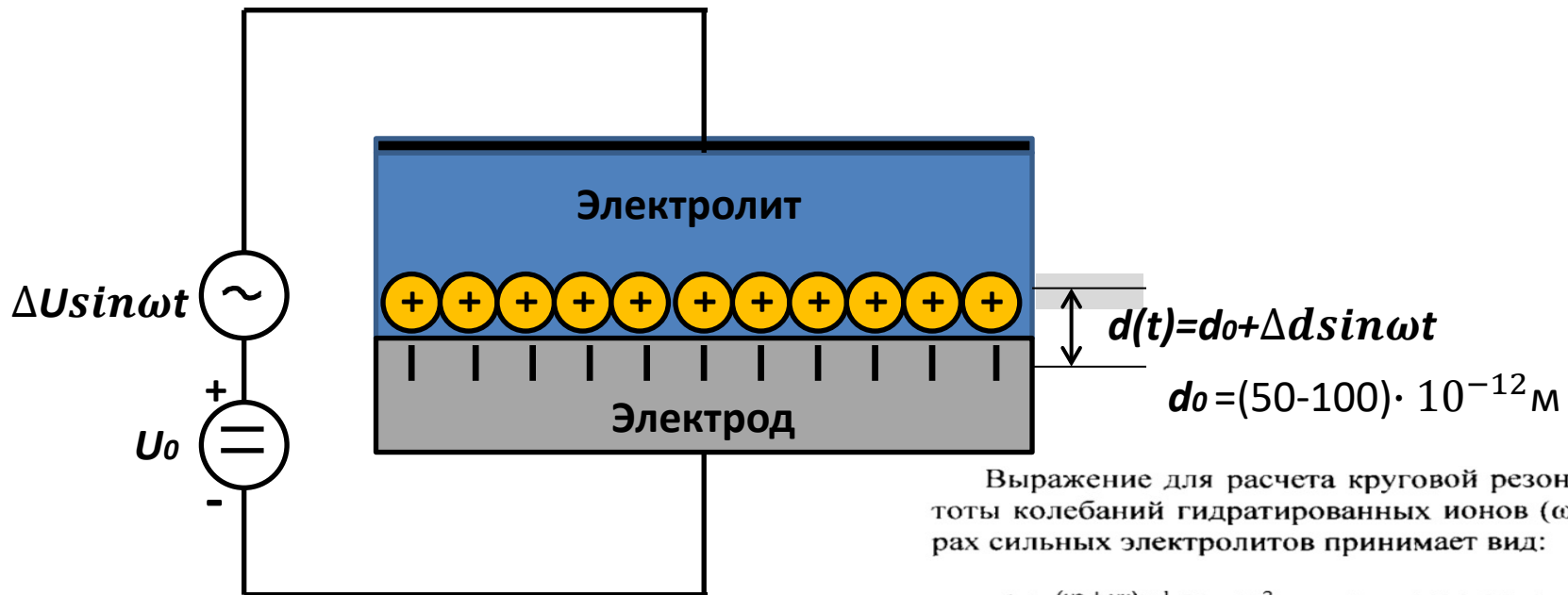
2. Длительность хранения (*длительность - пока «звенит» резонатор после снятия вынуждающего колебания*) также пропорциональна значению Q .

3. Преимущество резонаторов – накапливать крошечные по энергии входные воздействия до энергий $10^3 - 10^8$ раз превосходящих их. Для накачки резонатора необходимо фазировать подачу входных воздействий.

4. Необходим периодический съём накопленной резонатором энергии во внешнюю цепь.

5. Возможность перекачки энергии в связанных резонаторах. Возможность **синхронизации** множества связанных резонаторов

Двойной электрический слой как резонансная система



$$U(t) = U_0 + \Delta U \sin \omega t$$

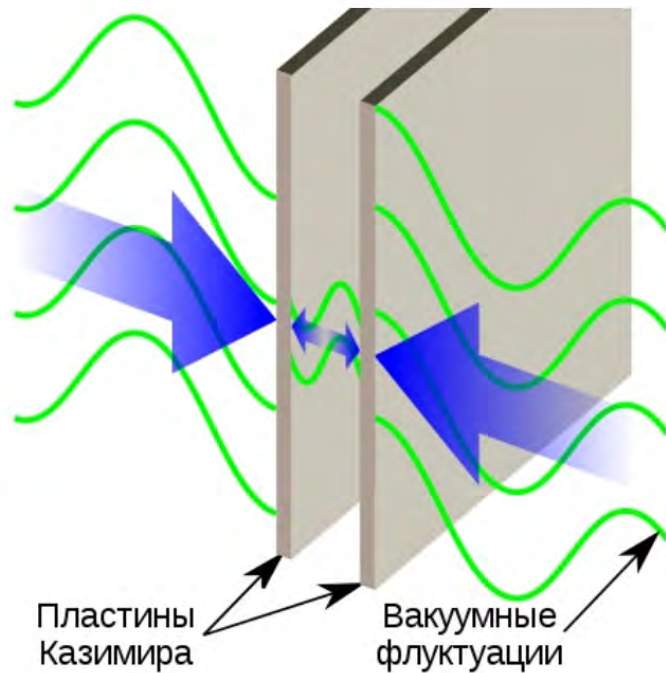
Выражение для расчета круговой резонансной частоты колебаний гидратированных ионов (ω_{\pm}) в растворах сильных электролитов принимает вид:

$$\omega_{\pm} = k (\varphi^{(v_a + v_k)})^{-1} [4\pi F^2 \gamma_{\pm} m \Lambda_{\pm, \kappa} / (M_a M_k \Lambda_{\pm, a})]^{0.5}, \quad (3)$$

где k^* — коэффициент, равный $3,8 \cdot 10^{-2} \text{ Кл}^{-1} \times \text{моль}^{-0.5} \cdot \text{кг}^{1.5} \cdot \text{с}^{-1}$; φ — относительная вязкость раствора электролита; v_a, v_k — числа анионов и катионов в молекуле электролита; F — постоянная Фарадея, $\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$; γ_{\pm} — средний ионный коэффициент активности раствора электролита; m — моляльная концентрация раствора электролита, $\text{моль} \cdot \text{кг}^{-1}$; $\Lambda_{\pm, a}, \Lambda_{\pm, \kappa}$ — предельные подвижности анионов и катионов, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кмоль}^{-1}$; M_a, M_k — массы колеблющихся гидратированных анионов и катионов, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$.

А.Б. Килимник Колебательные процессы в двойном электрическом слое при наложении переменного тока. Вестник ТГУ. т11., вып 4, 2006

Эффект и сила Казимира



Сила Казимира между двумя параллельными пластинами в вакууме.

$$\frac{F_c}{A} = \frac{\hbar c \pi^2}{240 d^4},$$

где

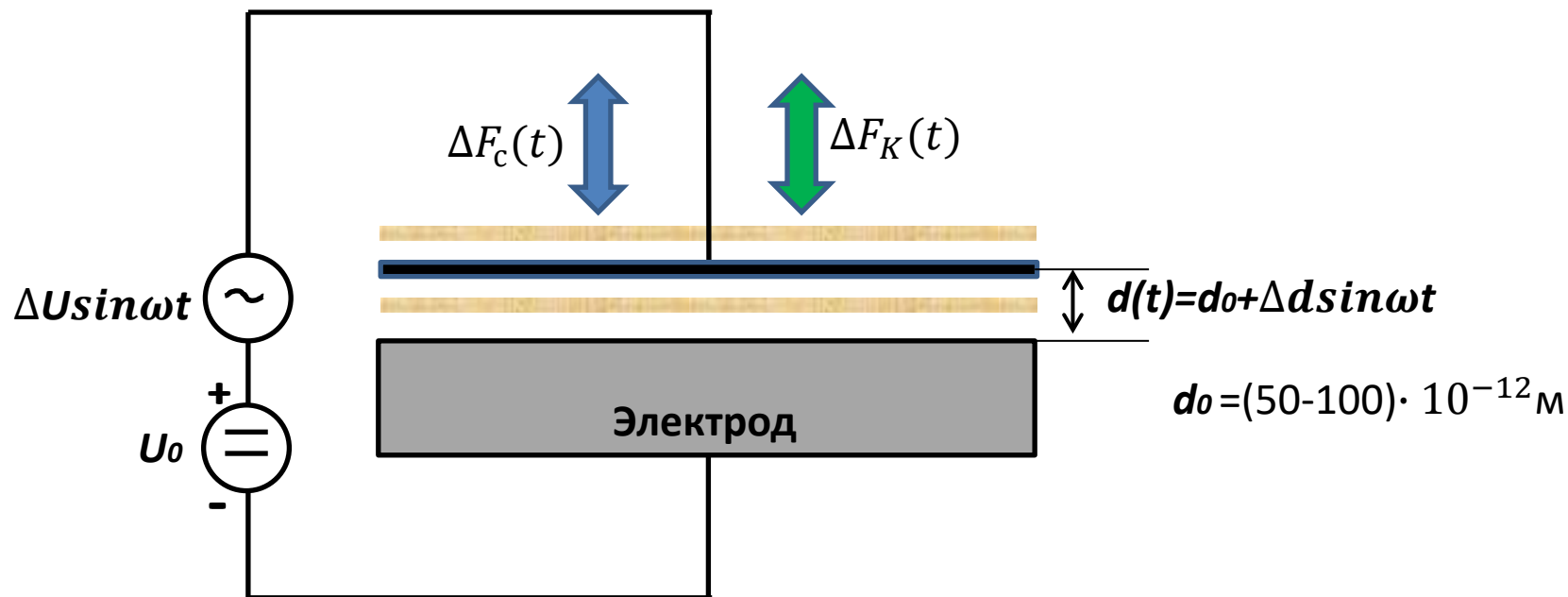
\hbar – приведённая постоянная Планка,

c – скорость света в вакууме,

d – расстояние между поверхностями.

A – площадь пластины

Извлечение энергии вакуумных флуктуаций

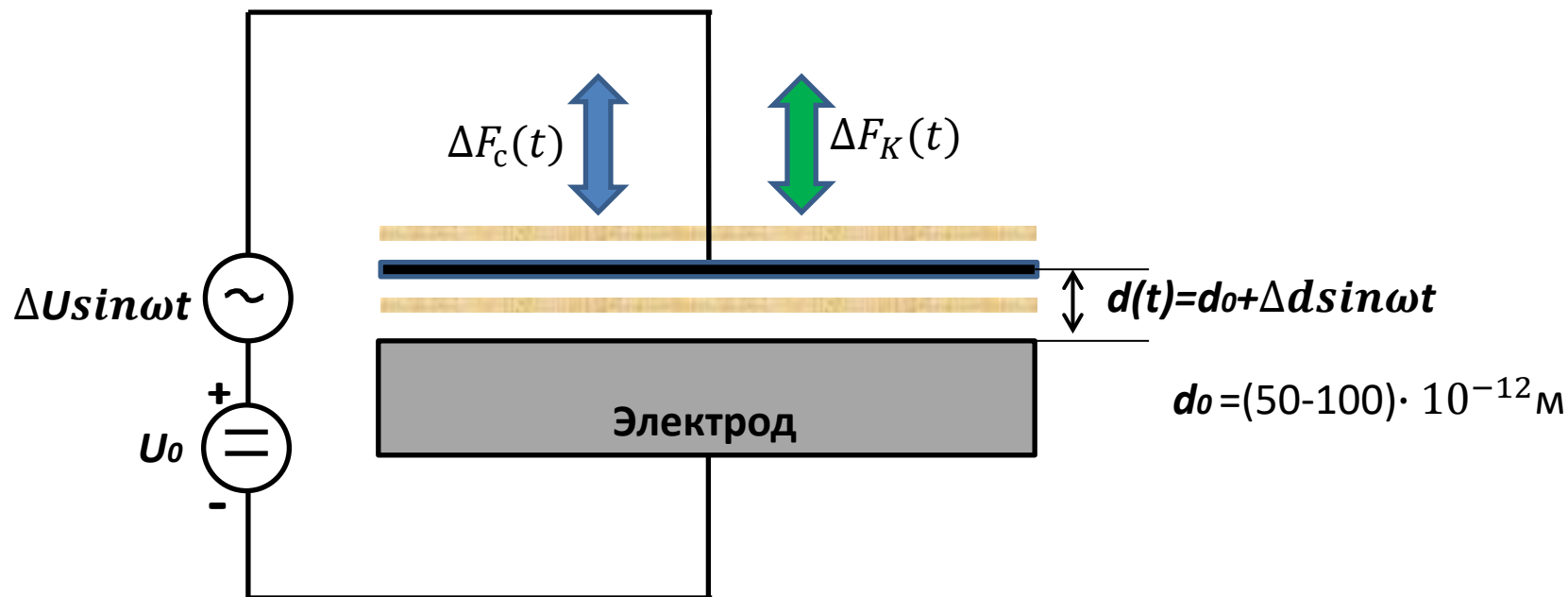


1. При наложении переменного напряжения $\Delta U \sin \omega t$ **резонансной частоты ω** расстояние между пластинами «ионного» конденсатора будет меняться также по гармоническому закону $\Delta d \sin \omega t$ под действием кулоновских сил $\Delta F_c(t) = \Delta F_c \sin \omega t$

2. Периодические изменения расстояния $\Delta d \sin \omega t$ приводят к периодическому изменению силы Казимира, действующей на подвижную пластину - так как сила Казимира определяется расстоянием между пластинами. Таким образом, на пластину действуют две составляющие силы Казимира – постоянная и переменная составляющие силы:

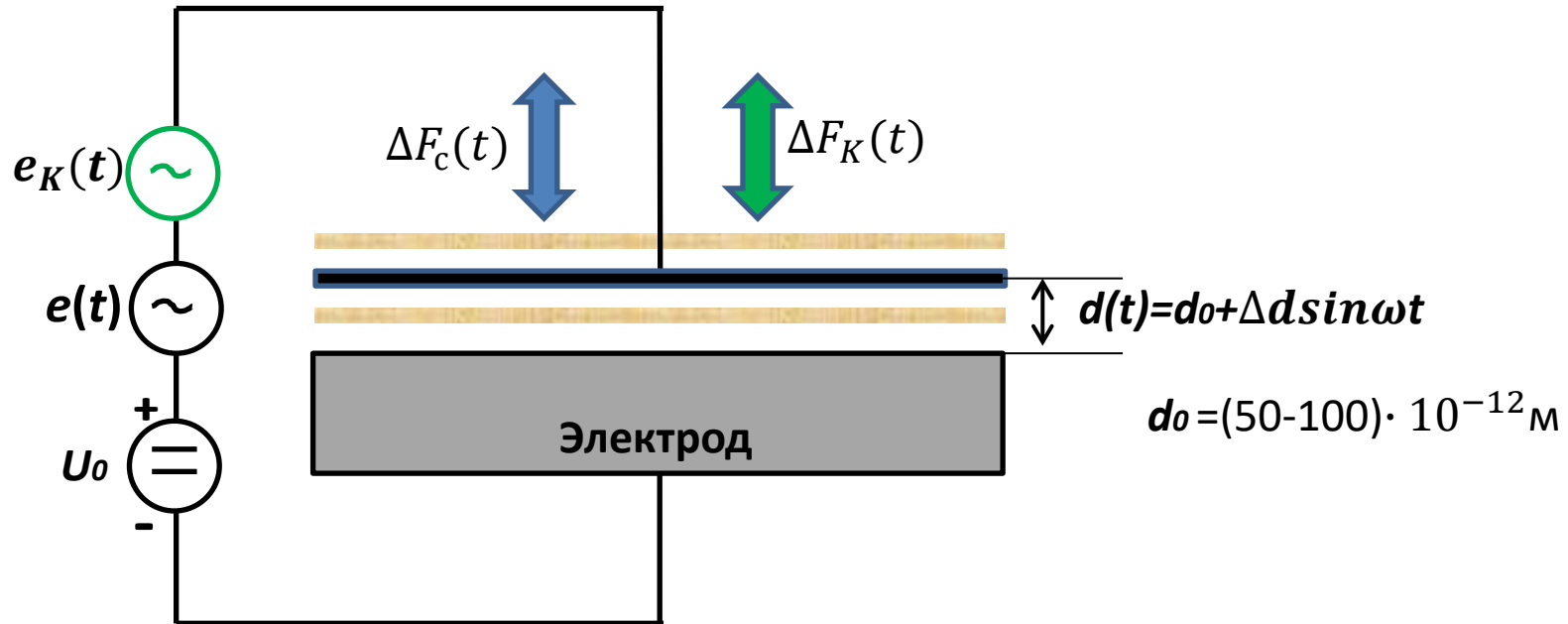
$$F_K(t) = A \frac{hc\pi^2}{240d(t)^4} = F_{K0} + \Delta F_K(t)$$

Извлечение энергии вакуумных флуктуаций



3. Важно, что при этом переменная кулоновская сила $\Delta F_c \sin \omega t$ совпадает по фазе с переменной составляющей силы Казимира $\Delta F_K(t)$. Поскольку при увеличении кулоновской силы пластины сближаются, что приводит к увеличению силы Казимира. При уменьшении кулоновской силы сила Казимира также уменьшается. То есть эти две силы суммируются $\Delta F_c(t) + \Delta F_K(t)$.

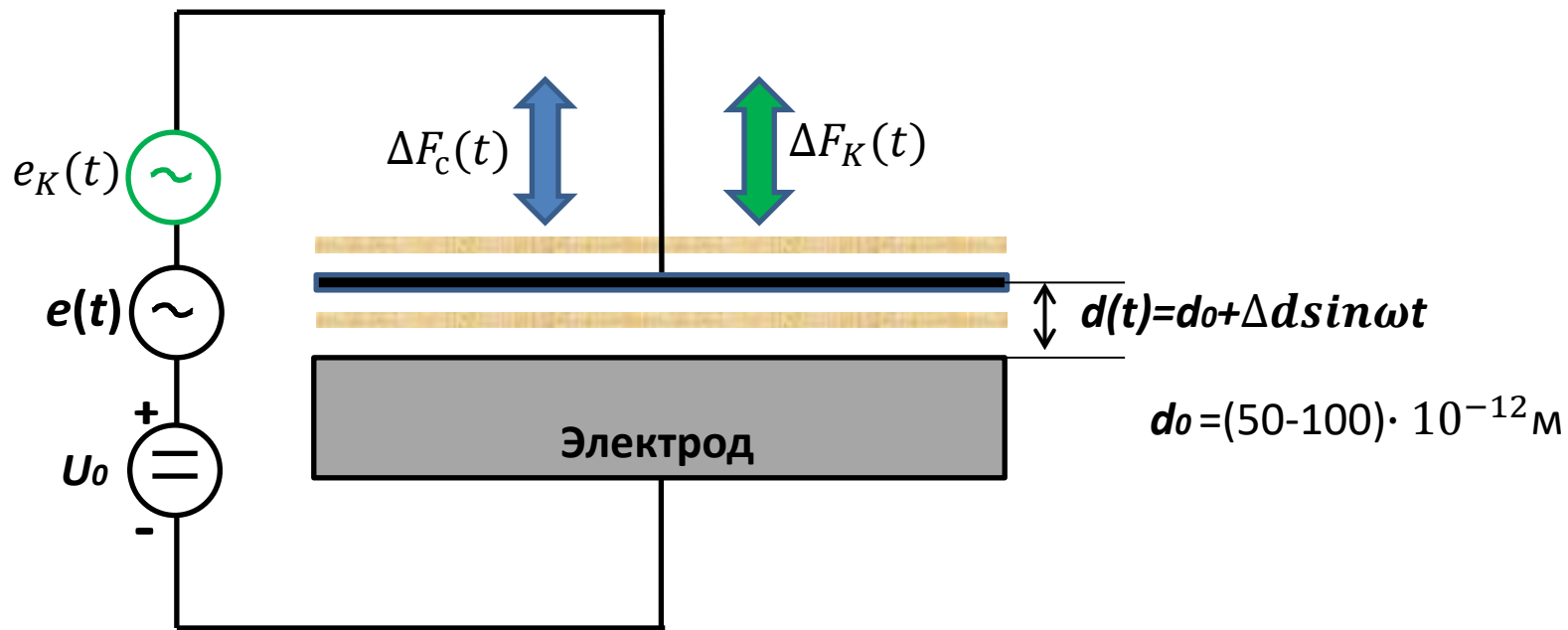
Извлечение энергии вакуумных флуктуаций



4. Таким образом, **работу по колебанию пластины** выполняют синхронно **две силы** $\Delta F_c(t) + \Delta F_K(t)$. Одна из них выполняется источником $e(t)$, а вторая за счет энергии флуктуаций вакуума. Энергия E , накапливаемая на резонансной частоте ω , пропорциональна времени накопления T и суммарному пути S перемещений пластины $E = \omega T \Delta d (\Delta F_c + \Delta F_K)$.

5. Поскольку время накопления пропорционально добротности Q резонатора, то формулу можно переписать как: $E = \beta Q \omega \Delta d (\Delta F_c + \Delta F_K)$.

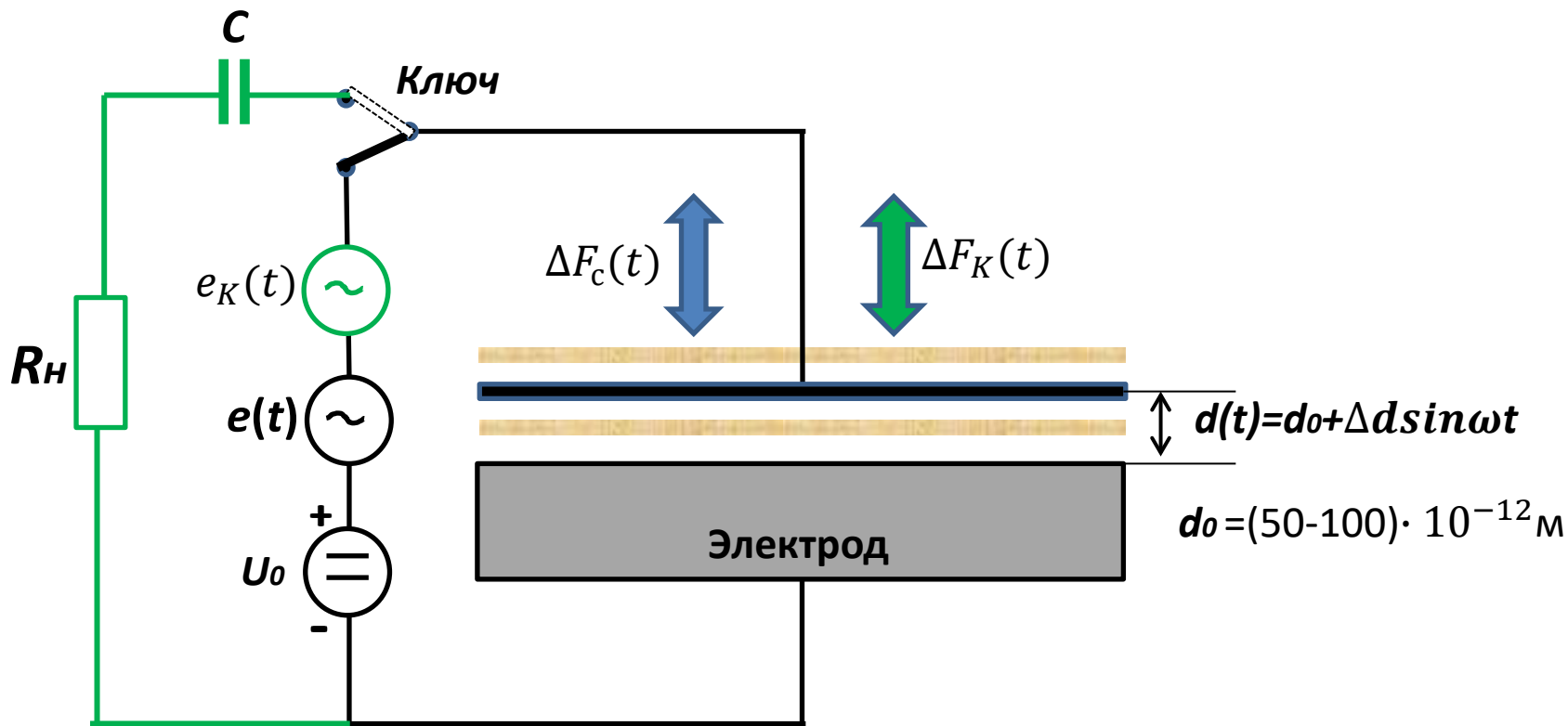
Извлечение энергии вакуумных флуктуаций



6. Источником энергии переменной кулоновской силы $\Delta F_C(t)$ является источник ЭДС $e(t)$. Аналогично, источник энергии переменной составляющей сил Казимира $\Delta F_K(t)$ можно представить последовательным включенным источником переменной ЭДС $e_K(t)$, фаза которой совпадает с фазой источника $e(t)$.

7. Таким образом, в эквивалентной электрической схеме источник энергии вакуума отображается дополнительным источником $e_K(t)$.

Извлечение энергии вакуумных флуктуаций. Съем энергии, накопленной в резонаторе



После замыкания Ключа в нижнее положение в течение длительности T , определяемой добротностью резонатора Q , идет накопление энергии. Для скачивания накопленной энергии в нагрузку по переменной составляющей Ключ переключается в верхнее положение. После скачивания цикл «накачивание-скачивание» повторяется.

Извлечение энергии вакуумных флуктуаций. Оценка сверхединичного КПД

1.Оценку значения КПД извлечения энергии флуктуацией вакуума можно получить из **сравнения кулоновских сил и сил Казимира**. Производимая энергия пропорциональна этим силам. Следовательно, отношение этих сил характеризует превышение энергии, полученной из вакуума, над работой, затраченной кулоновскими силами.

2.Кулоновские силы квадратично обратно пропорциональны расстоянию d между пластинами:

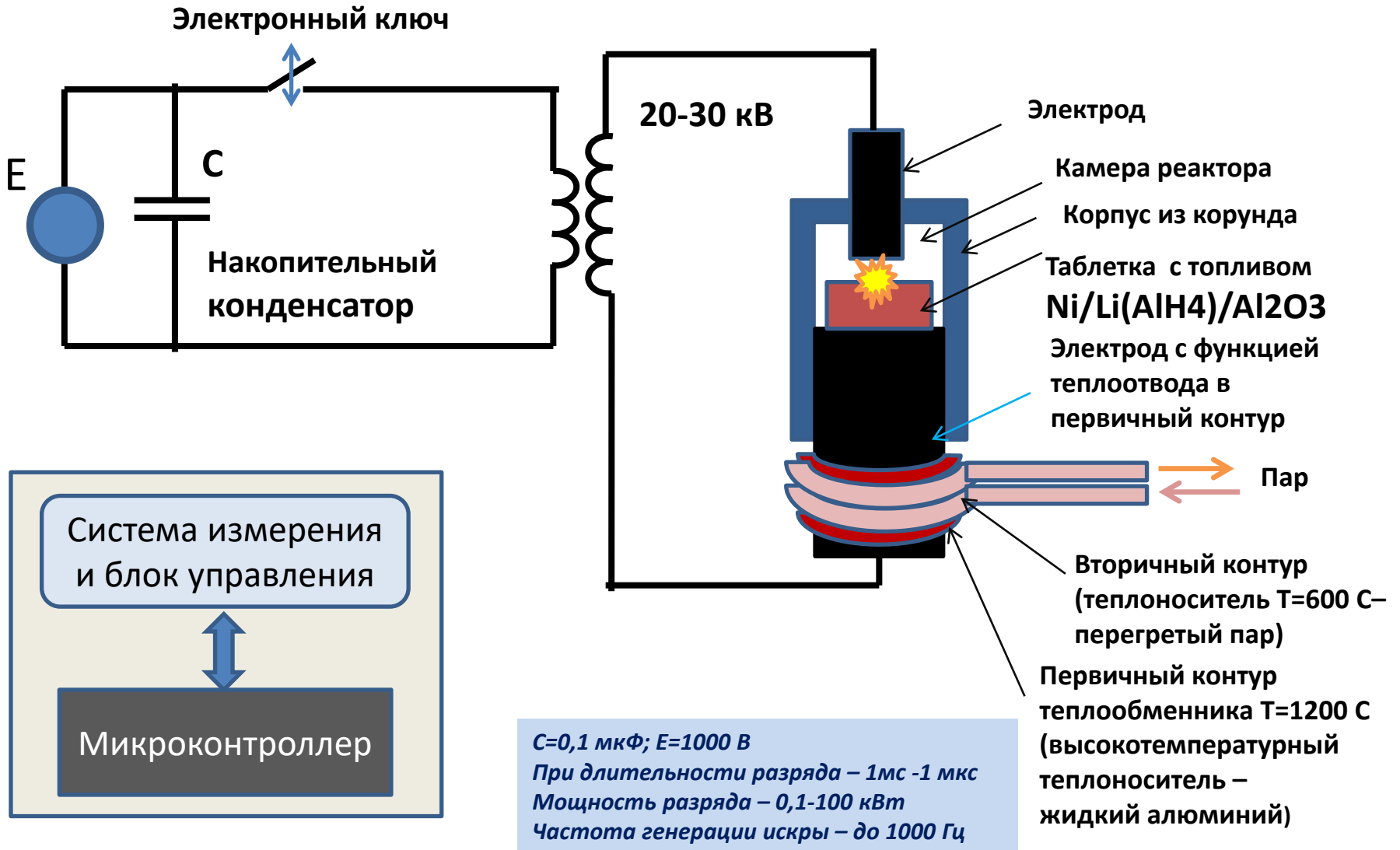
$$F_c \sim \frac{1}{d^2} . \quad F_c = A \frac{\varepsilon_0 \varepsilon U^2}{2d^2}$$

3. Казимировские силы обратно пропорциональны расстоянию в четвертой степени:

$$F_K \sim \frac{1}{d^4} . \quad F_K(t) = A \frac{h^* c \pi^2}{240 d^4} .$$

4. Отношение этих двух сил F_K / F_c для $d = (50-100) \cdot 10^{-12} \text{ м}$ для $U=1\text{В}$ составляет $10^3 - 10^4$. То есть энергия, производимая силами Казимира, превышает подаваемую энергию от источника $e(t)$ на три-четыре порядка. Следовательно, оценка сверхединичного КПД составляет $10^3 - 10^4$

ПРОЕКТ: Генератор тепловой энергии «Теплогенератор –КАИ» (2015г)



Генератор тепловой энергии «Генератор –КАИ»

- 1. Быстрый локализованный (точечный) тепловой нагрев** , осуществляемый мощными импульсными электрическими разрядами «изнутри» топлива. Нагрев сочетается с одновременной генерацией инициирующей реакцию «магнитных монополей».
- 2. Возможность электронного управления мощностью (0,1-100 кВт) и длительностью (1мкс-1 мс) искры.** Температура в центре искры 900-2000 градусов. Диаметр искры – 10-200 мкм. Радиальное распределение температуры – гауссовое.
- 3. Длительность разогрева топлива - несколько десятков секунд, что дает возможность быстро включать и выключать реактор.**

Генератор тепловой энергии «Генератор –КАИ»

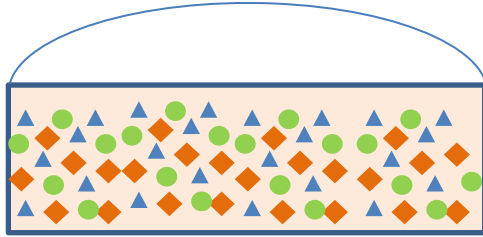
4. Объем камеры реактора уменьшен в 10-15 раз.

5. Возможность управления мощностью и длительностью искры в широких диапазонах позволяет включить реактор в контур автоматического управления и добиться высокой устойчивости и надежной работы реактора.

6. Появляется возможность создания микрореакторов с объемом камеры 1-2 мм³ и малой тепловой мощности 1-10 Вт с длительностью работы 5-10 лет для электропитания портативных электронных устройств, ноутбуков и т.п.

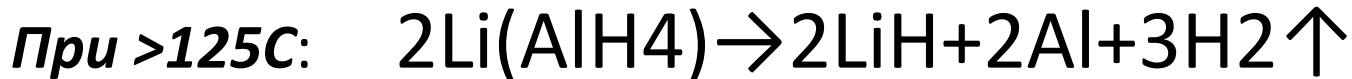
7. Ожидаемый КПД «генератора КАИ» - 15-30.

Структура таблетки с топливом. Процессы, предшествующие реакции LENR



- ▲ Нанопорошок Ni (630 мг). Зерна 20-80нм – 4,1м²
- Порошок алюмогидрида лития Li(AlH₄) (60 мг)
- ◆ Порошок корунда Al₂O₃ (для диффузного рассеяния «монополей» частицами корунда - диамагнетиками)

1 фаза: Начальный разогрев топлива до 250 градусов



2 фаза: Растворение водорода в никеле (0,8см³ в 1г Ni при 1атм). Сближение протонов с атомами никеля.

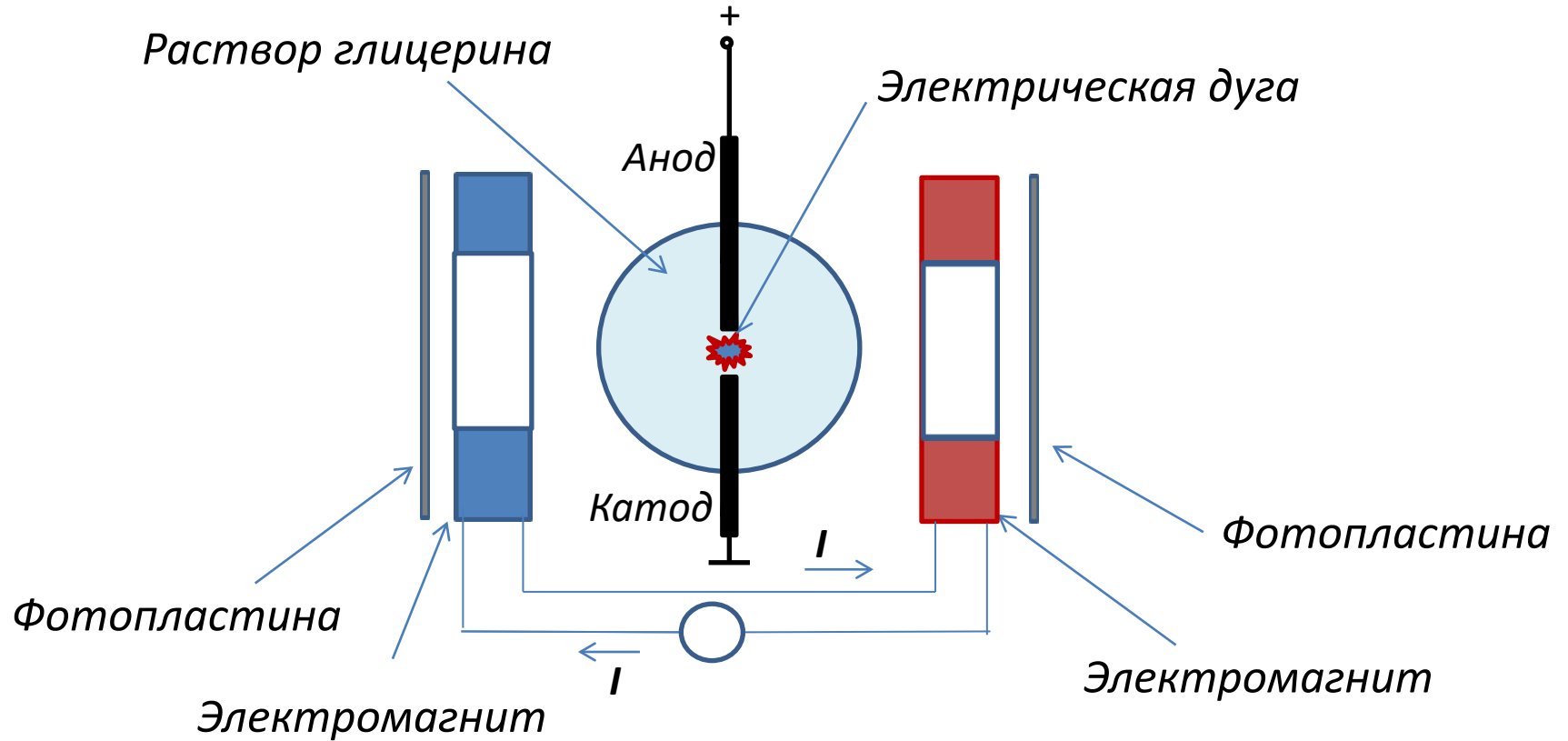
3 фаза: Дальнейший нагрев топлива электрическими разрядами до 1200-1400С. Максимальное флуктуационное сближение протонов с ядрами никеля.

4 фаза: Точечное, на уровне отдельных атомов, инициирование «странными частицами» трансмутаций ядер никеля. **Выделение энергии.**

Первый этап проекта. Начальные задачи (2015)

1. Организация специальной лаборатории и исследовательской группы;
2. Создание и наладка стенда для экспериментов;
3. Экспериментальное подтверждение существования странных частиц;
4. Проведение экспериментов;
5. Получение треков частиц ("монополей") на фотопластинках;
6. Масс-спектрометрический анализ продуктов реакции

Схема эксперимента



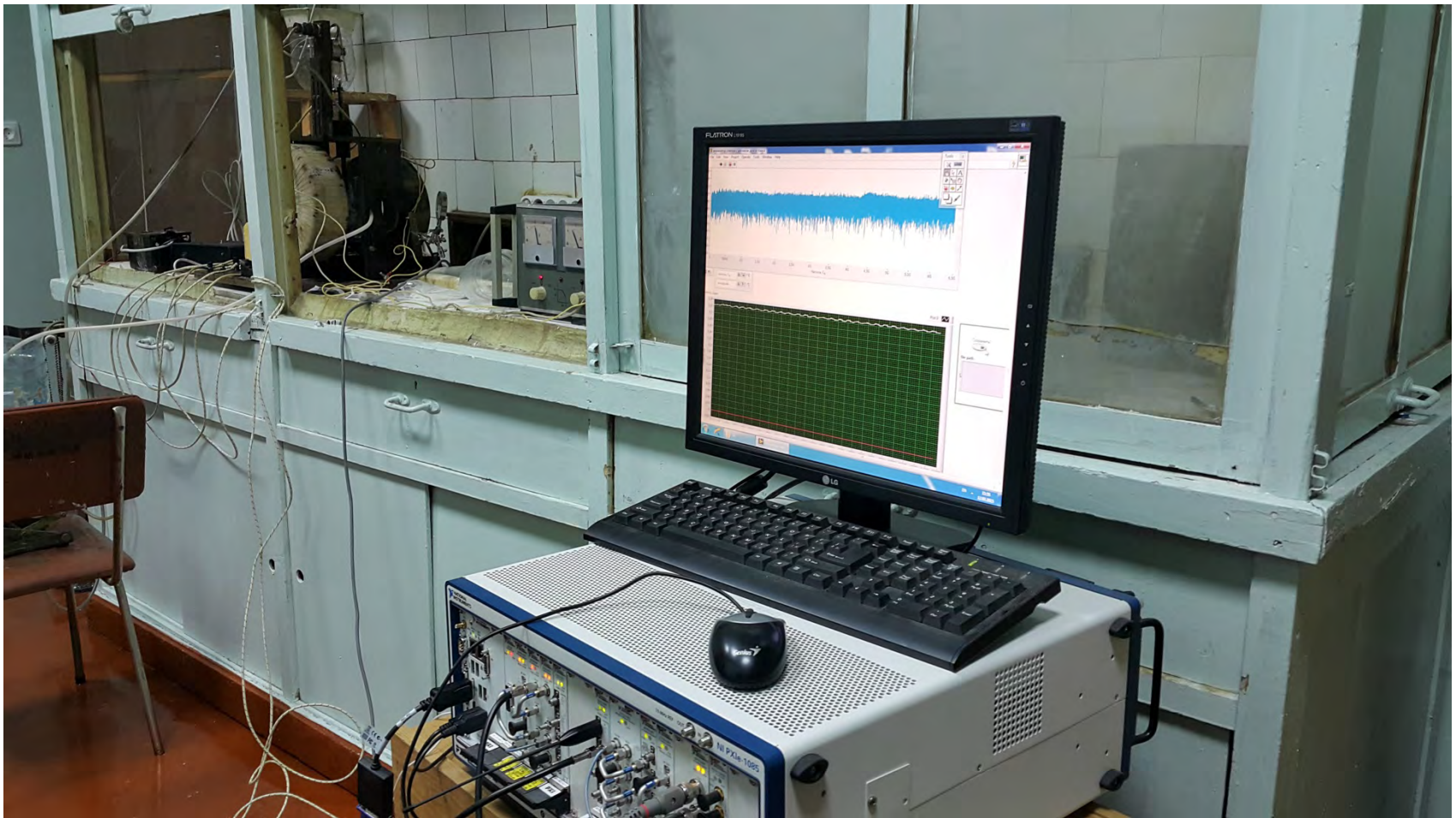
Регистрируемые и измеряемые величины в экспериментах

- Радиационный фон в течение эксперимента
- Ток и напряженность магнитного поля электромагнитов
- Ток и напряжение дуги
- Масс-спектрометрический анализ фильтрованного осадка продуктов реакции
- Регистрация треков на фотопластинах
- Радиочастотный спектр дуги

Генерация и регистрация странных частиц на установке Н.Г. Ивойлова



Радиочастотный векторный анализатор. Измерение радиочастотного спектра электрической дуги



Эксперименты. Результаты

1. Была проведена серия из 14 экспериментов.

Длительность эксперимента (экспозиции) – от 30 мин до 1 часа. Использовалась специальная фотопленка с двухсторонним чувствительным слоем "Кодак-125".

Фиксировали при различных углах наклона фотопластинок (размером 80x80 кв. мм) к магнитным силовым линиям катушки, следовательно, и к направлению движения частиц.

2. Зафиксированы треки частиц. Количество треков на пластинах в проведенных экспериментах - от 0 до 12. Получены 9 разновидностей треков, свидетельствующие о принадлежности к различным типам частиц.

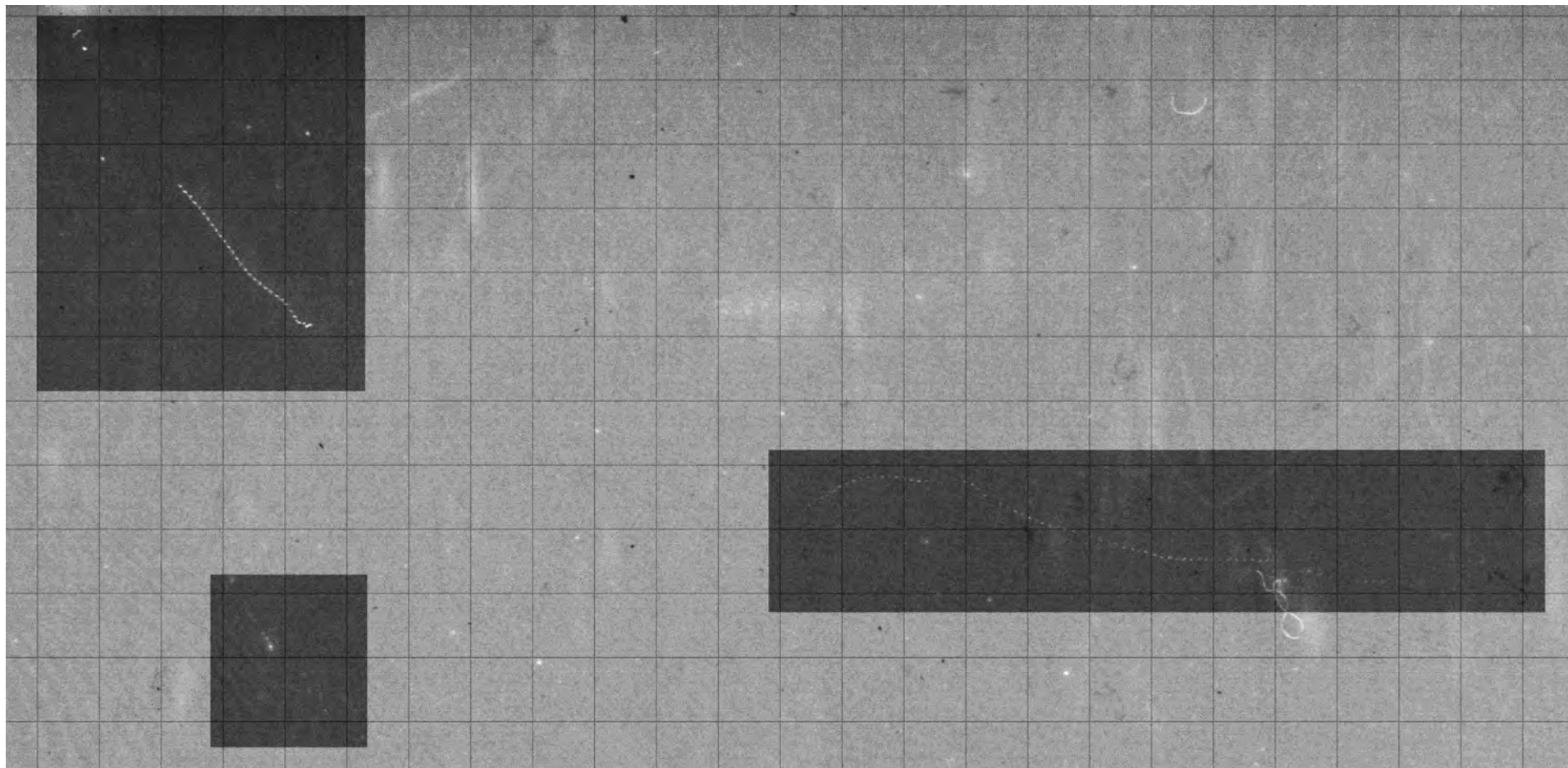
3. Типичная длина треков от 0,05 мм до 3 мм. Был также зафиксирован трек гигантской длины - около 60 мм.

4. Природа их совершенно не ясна. Оценка энергии по длине и ширине засвеченных треков (ионизированных галогенов серебра) говорит о высокой энергии частиц. Очевидно, этой энергии в отдельных случаях вполне достаточно для точечного (локального - на уровне отдельных атомов) трансмутирования элементов.

Три характерных трека на фотопластинке

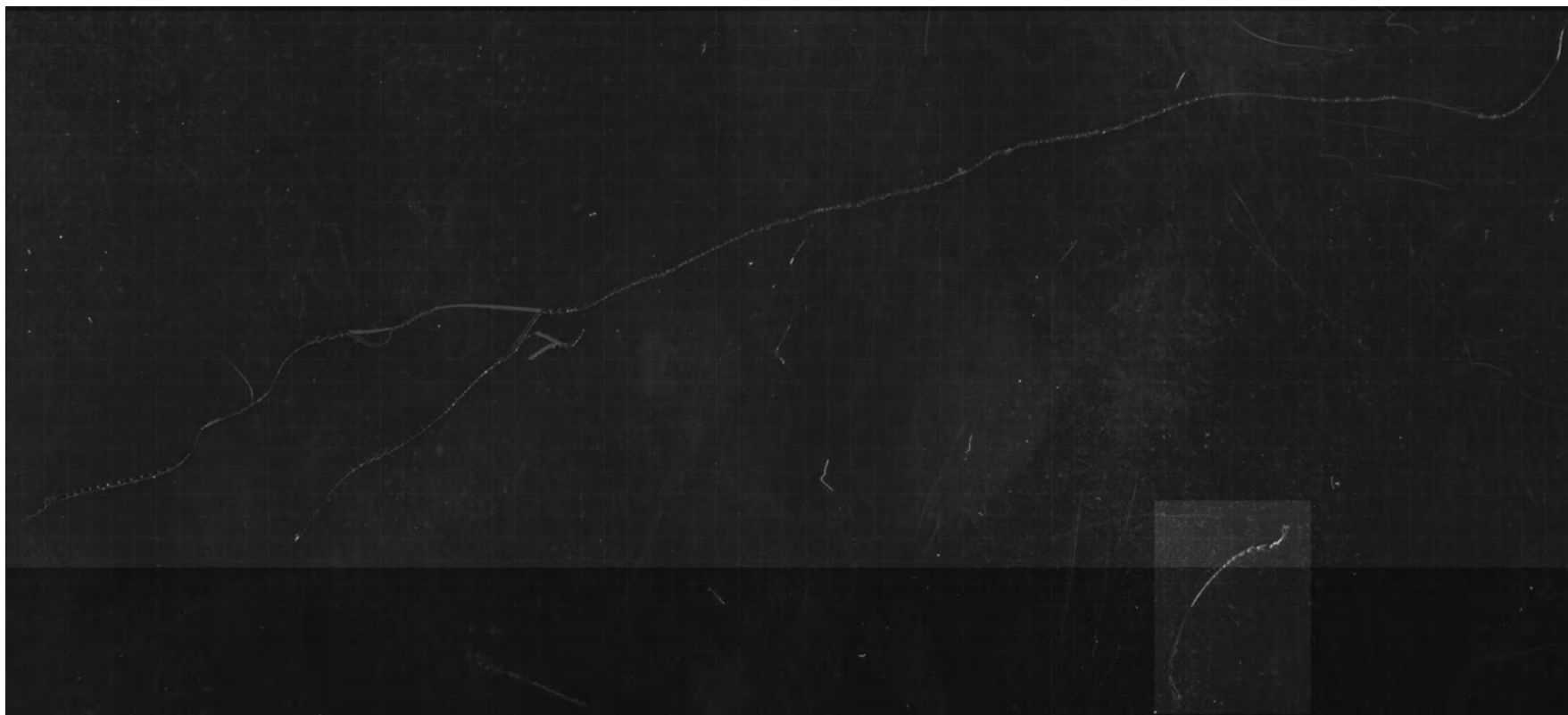
(Ю.К. Евдокимов)

(шаг сетки – 1мм)

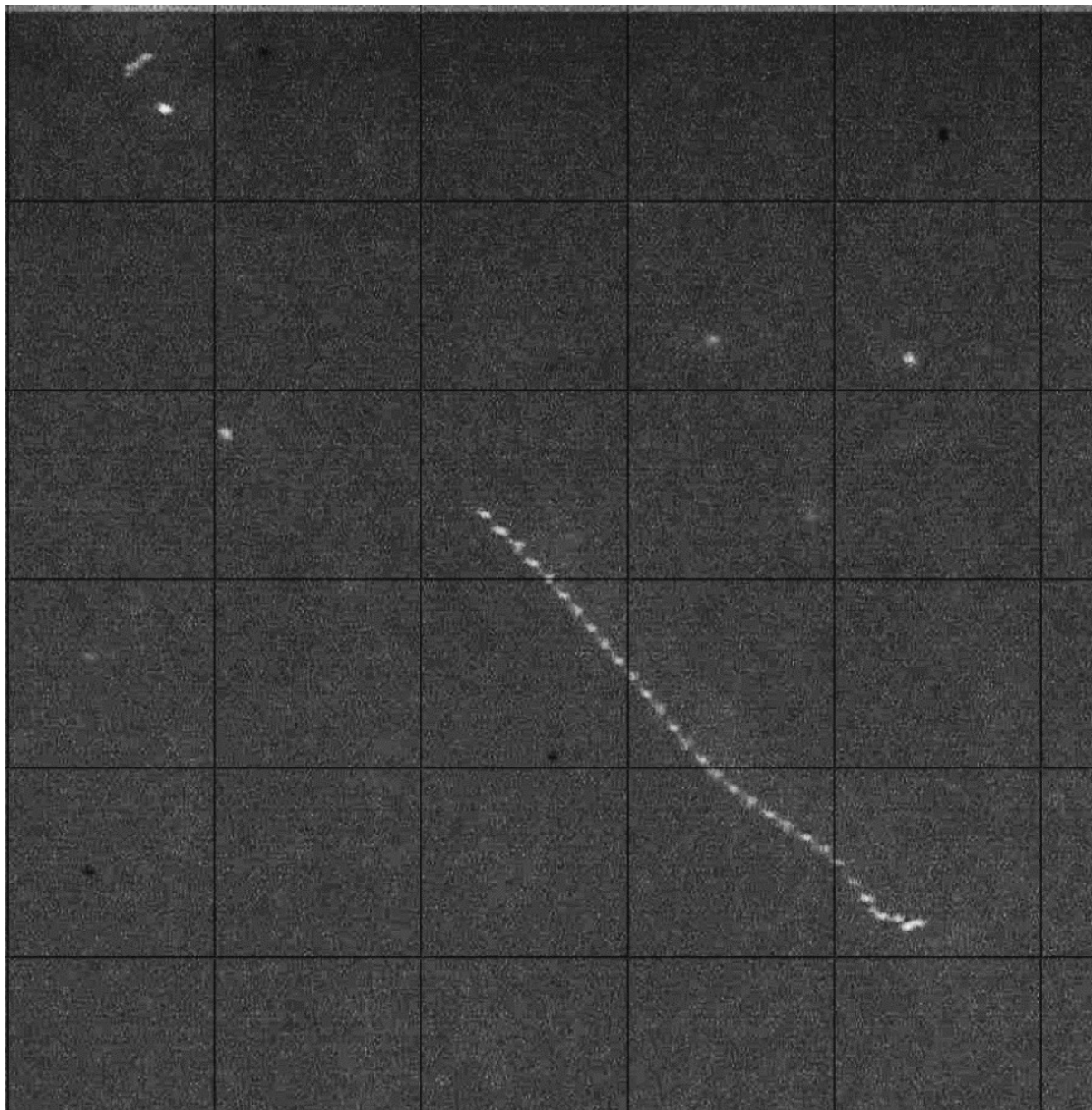


Самый «длинный» трек

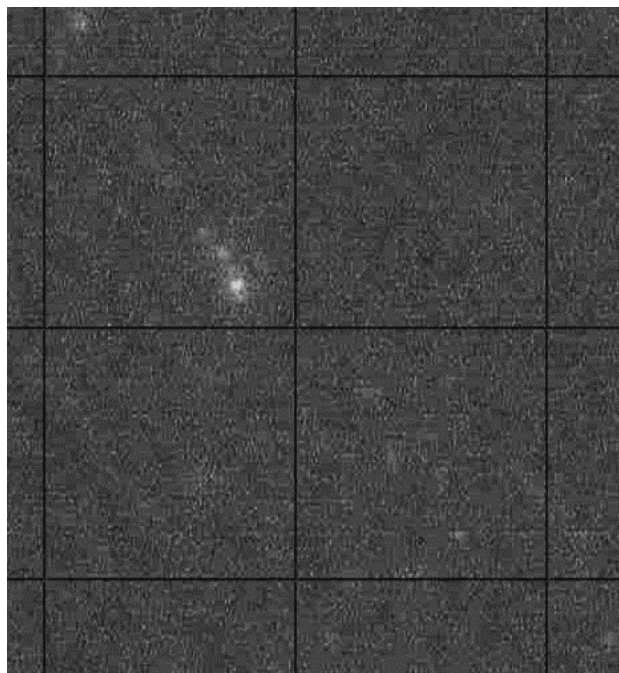
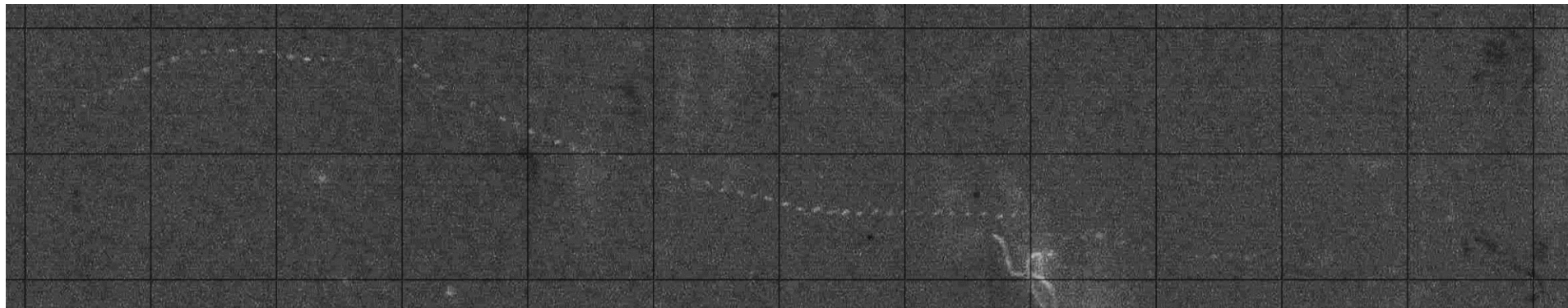
(Ю.К. Евдокимов)



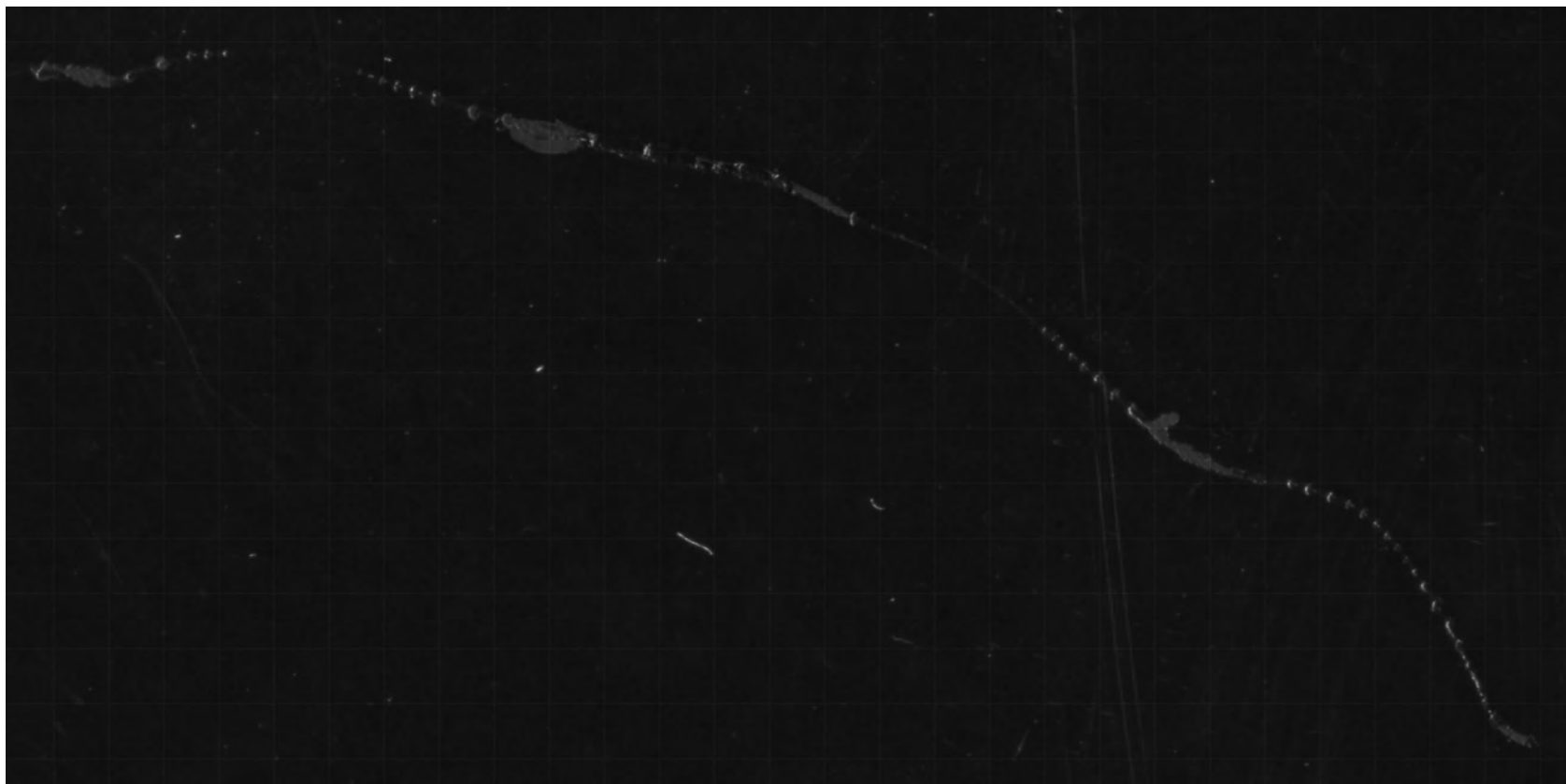
«Пунктирный» трек (Ю.К. Евдокимов)



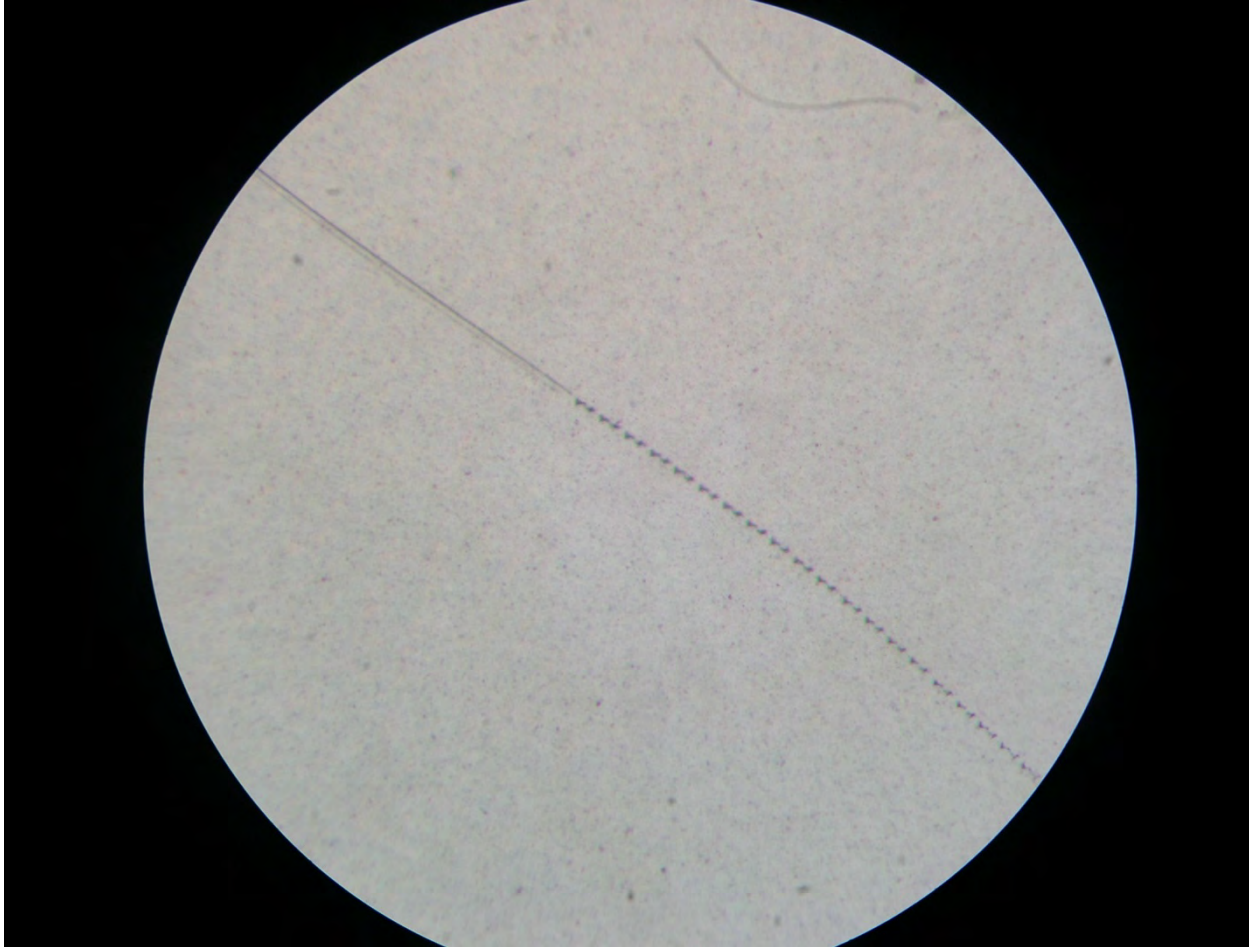
«Пунктирные» треки (Ю.К. Евдокимов)



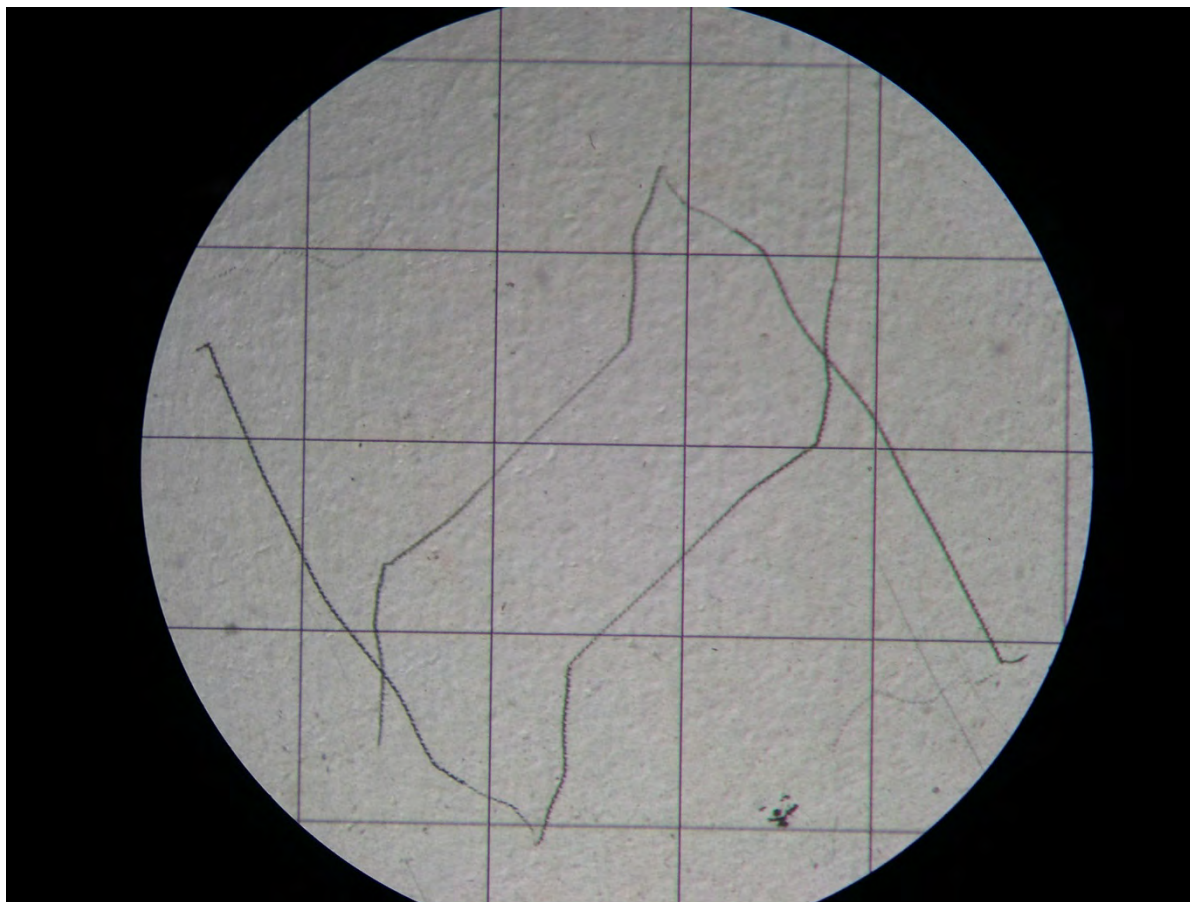
«Прерывистый» трек (Ю.К. Евдокимов)



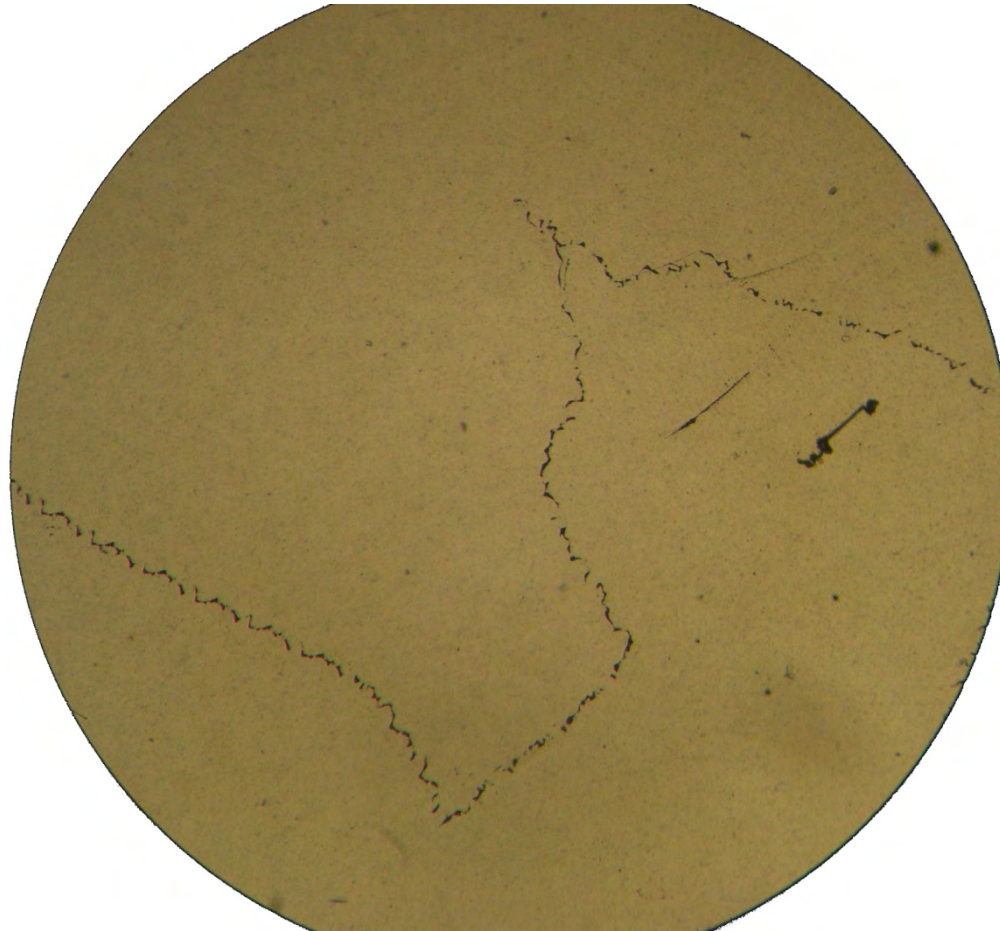
Треки линейные (Ивойлов Н.Г.)



Кирально-симметричные треки (Ивойлов Н.Г.)



Треки простые (Ивойлов Н.Г.)



Данные масс-спектрометрических измерений

Sample ID: Filtr 3

Sample Date/Time: Wednesday, March 04, 2015 12:35:22

Sample Description:

Solution Type: Sample

Blank File: F:\Elandata\Dataset\Default\Blank.10207

Sample File:

Method File: F:\Elandata\Method\TQ7_U.mth

Dataset File: F:\Elandata\Dataset\Default\Filtr 3.10211

Tuning File: F:\Elandata\Tuning\default.tun

Optimization File: F:\Elandata\Optimize\Default.dac

Response File: F:\Elandata\System\elan.rsp

Concentration Unit: ppm

Analyte Concentrations & Intensities

Analyte	Concentration	Intensity	Response
H			
He			
Li	0.0000000	0	1303439
Be	0.0000083	5	479447
B	0.0000000	0	744692
C	3.2684345	1597235	488685
N	0.0000000	0	50

O			
F		0	0
Ne		0	0
Na	0.0000000	0	8030278
Mg	0.0000000	0	6721566
Al	0.0033047	25553	7732236
Si	0.0190585	75044	3937522
P	0.0007929	319	401087
S	0.0000000	0	440266
Cl	0.0000000	0	21651
Ar		49863163	0
K	0.0000000	0	11955502
Ca	0.0000000	0	32222866
Sc	0.0000000	0	24421000
Ti	0.0014793	22856	15450404
V	0.0000000	0	12634231
Cr	0.0005486	7230	13177830
Mn	0.0000621	1003	16137545
Fe	0.0102579	173935	16956036
Co	0.0000045	67	14705053
Ni	0.0004818	5332	11065277

Ni	0.0004818	5332	11065277
Cu	0.0047119	50383	10692722
Zn	0.0022722	15143	6664243
Ga	0.0000017	34	19682764
Ge	0.0000000	0	12966861
As	0.0000000	0	1565322
Se	0.0000000	0	1678976
Br	0.0108195	4053	374541
Kr		0	0
Rb	0.0000000	0	23970611
Sr	0.0000000	0	26760294
Y	0.0000009	25	26243686
Zr	0.0000203	357	17564672
Nb	0.0000061	99	16169830

Mo	0.0000208	384	18494566
Ru	0.0000000	0	20612659
Rh	0.0000002	5	19889408
Pd	0.0000019	37	19114496
Ag	0.0000698	1366	19579443
Cd	0.0000050	91	17977958
In	0.0000000	0	29601638
Sn	0.0012277	33045	26915276
Sb	0.0000114	169	14723328
Te	0.0003495	1860	5321062
I	0.0000000	0	31306444
Xe		0	0
Cs	0.0000015	47	31409766
Ba	0.0000431	1290	29911603
La	0.0000030	91	29963263
Ce	0.0000000	0	29963263
Pr	0.0000008	29	33527859
Nd	0.0000000	0	32959590
Sm	0.0000000	0	33992806
Eu	0.0000000	0	35026022
Gd	0.0000000	0	33011251
Tb	0.0000001	3	34406092
Dy	0.0000008	29	34509414
Ho	0.0000001	5	34096127
Fr	0.0000000	0	34457753

Lu	0.0000000	0	35490969
Hf	0.0000000	0	35594291
Ta	0.0000005	13	25830400
W	0.0000047	112	23608985
Re	0.0000003	10	27328563
Os	0.0000000	0	37660722
Ir	0.0000000	0	27690188
Pt	0.0000000	0	20767641
Au	0.0000000	0	9867213
Hg	0.0002690	2391	8885657
Tl	0.0000000	0	31203123
Pb	0.0008700	25934	29808281
Bi	0.0001092	2623	24022272
Th	0.0000024	31	12346931
U	0.0000015	17	11572019

TotalQuant Equations

Analyte Equation

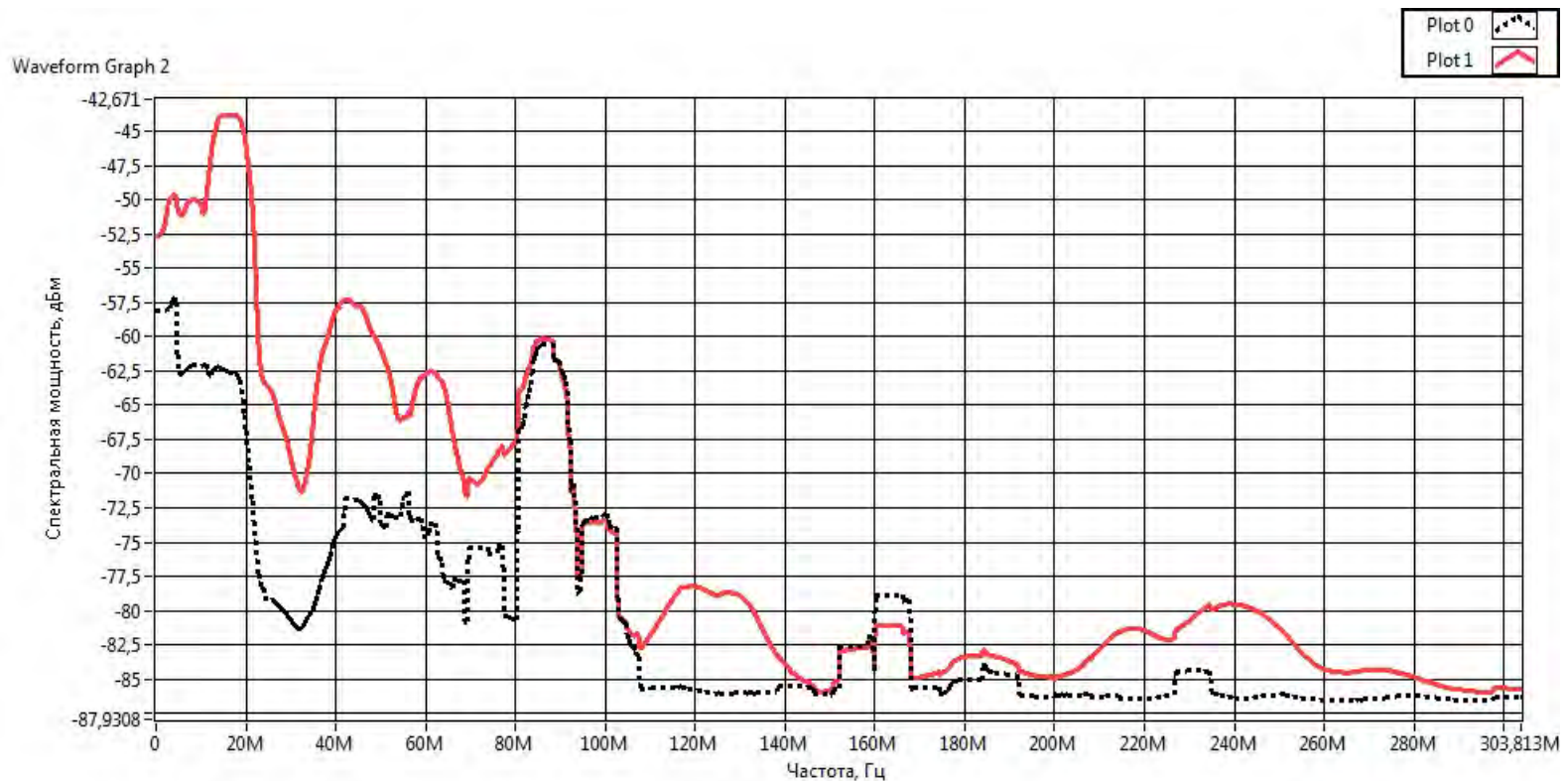
Ca +741*mass43

Fe +45.45*mass57

U +0.35*(mass235+mass238)

Радиочастотный спектр электрической дуги

Plot 0 – радиочастотный спектр фона;
Plot 1 – суммарный радиочастотный спектр (фон+дуга)

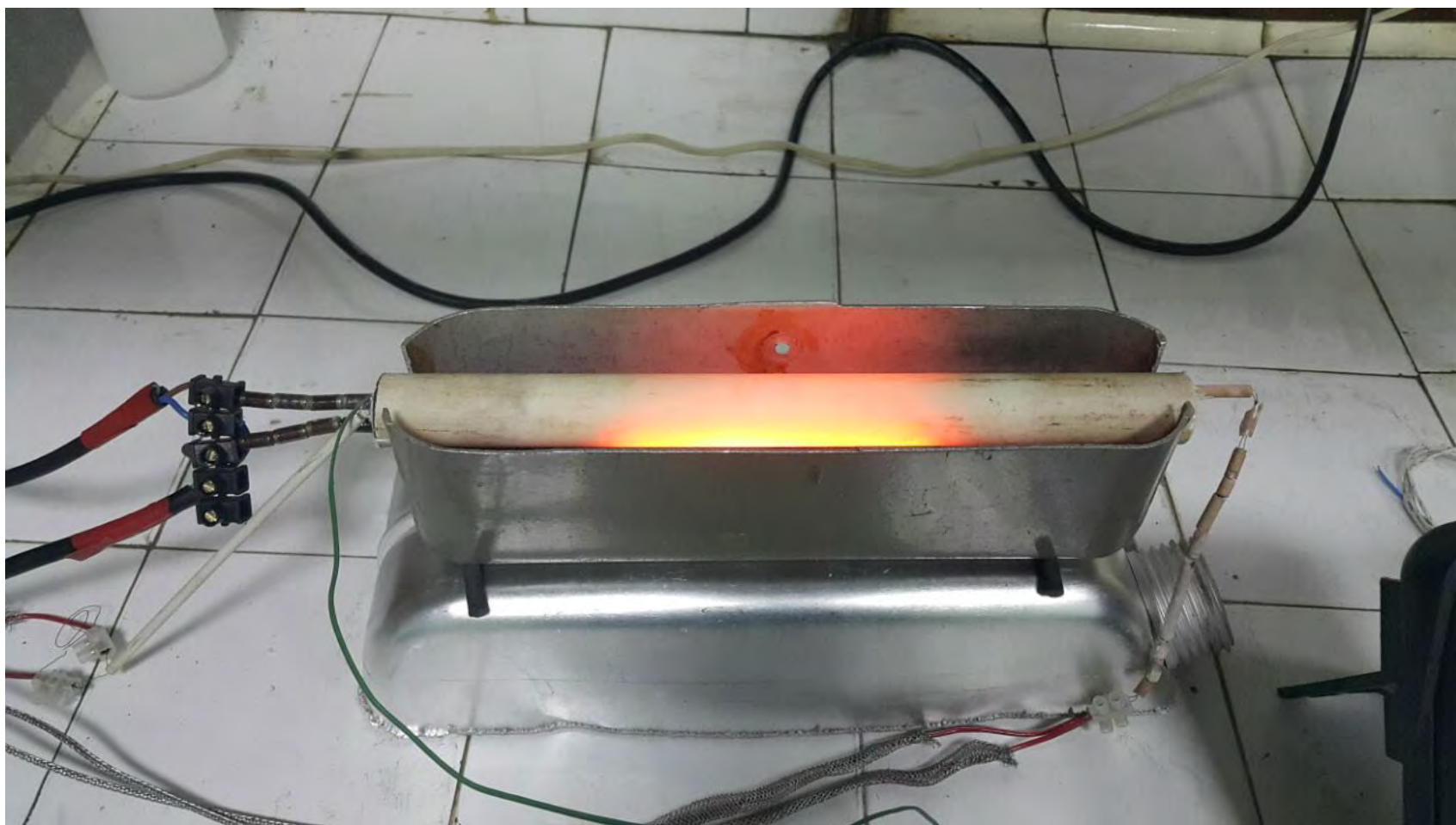


Промежуточные выводы по экспериментам первого этапа

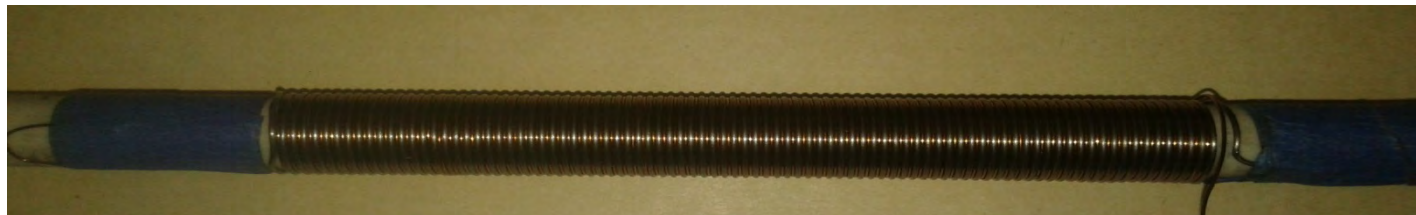
1. В осадке наблюдается **большое разнообразие элементов**, что следует из данных анализа продуктов реакции на масс-спектрометре. Можно предположить, что часть из них возникает в результате трансмутации элементов. Для окончательного вывода требуется **большая чистота** экспериментов, что не удастся пока осуществить. В дальнейшем, требуются уточняющие измерения изменения изотопного состава элементов;
2. Получены **треки неизвестных высокоэнергетических частиц** на фотопластинках. Типичная длина треков от 0,05 до 3 мм. Встречаются уникальные треки длиной десятки мм. Природа частиц **неизвестна**;
3. Частота фиксаций треков на фотопластинках **существенно зависит от состояния атмосферы и уровня радиационного фона**. Частота событий возрастает в географический полдень при облачной (пасмурной) погоде, при которой регистрировались повышенные уровни радиации в диапазоне 0,06 – 0,13 $\mu\text{Sv}/\text{час}$, что в 3-4 раза превышает обычный радиационный фон;
4. По данным серии экспериментов оценочная **интенсивность регистрируемых треков** на фотопластинке размером 80x80 кв. мм составляет 2-16 треков/час.

Тепловой реактор LENR

Тепловой генератор. Реактор КНИТУ-КАИ



Конструкция реактора



Расплавление реактора



Сгоревшее топливо, выгруженное из реактора

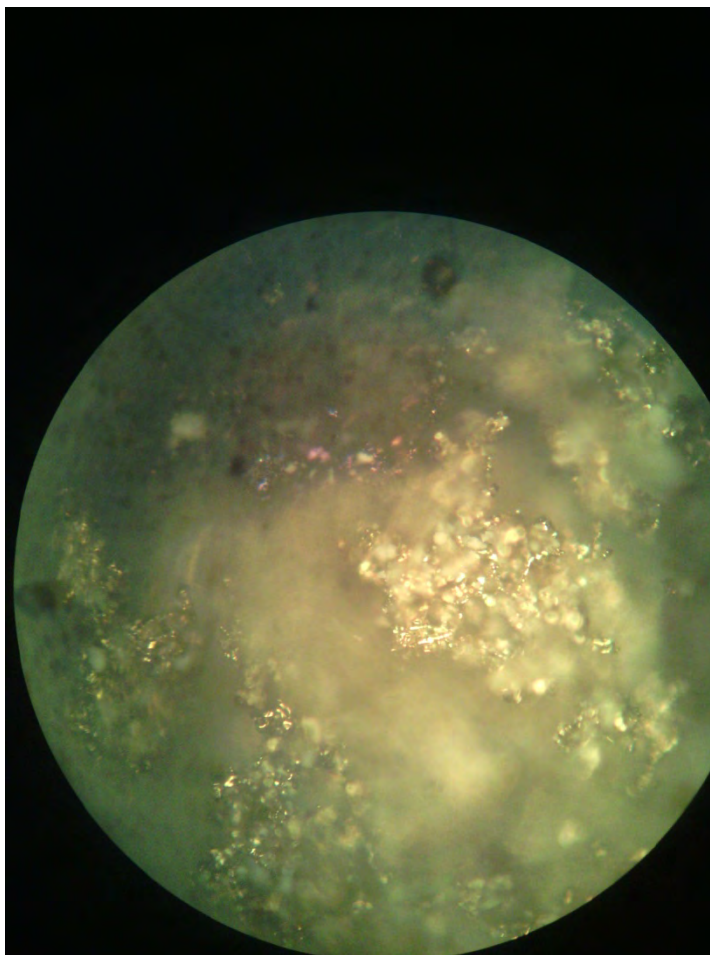
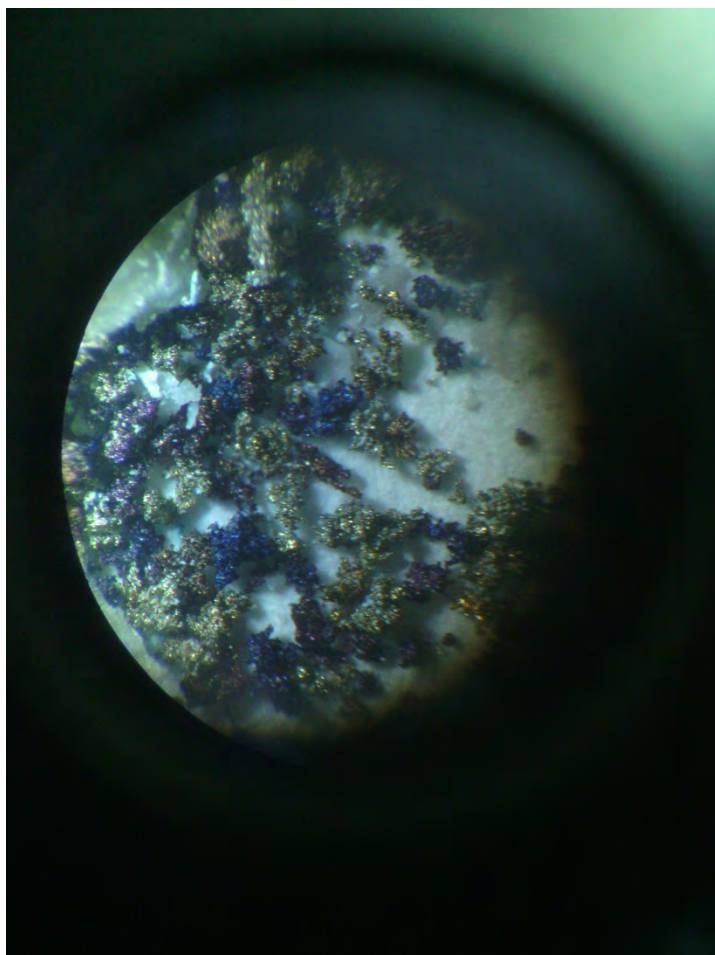


График эксперимента

Обведено синим кружком: Избыточное тепловыделение в течение 340 секунд

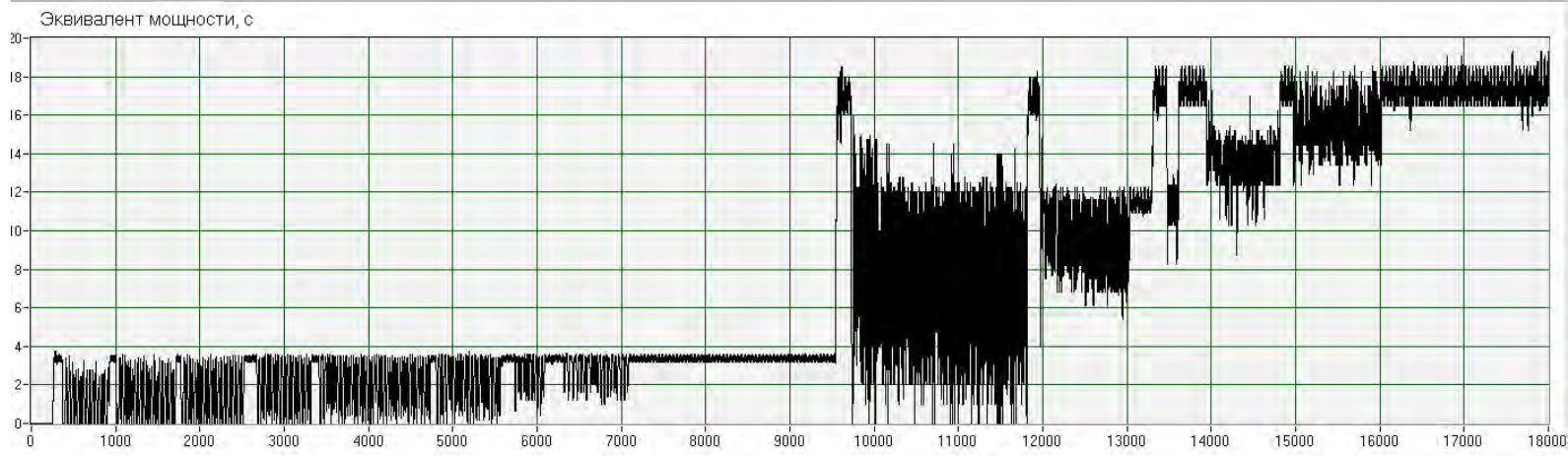
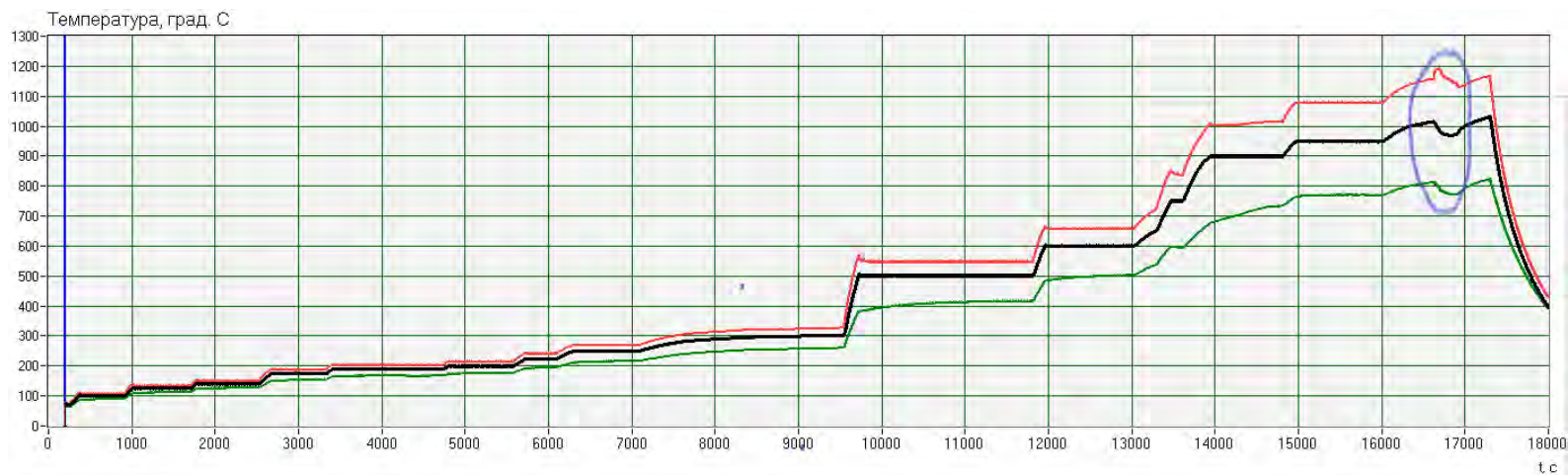
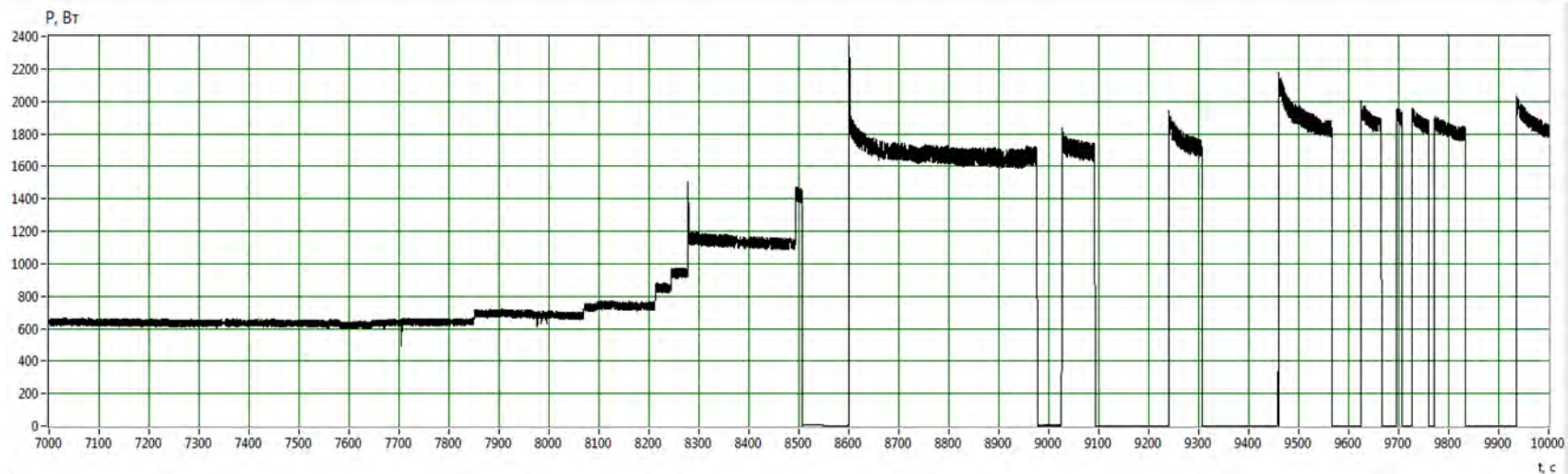
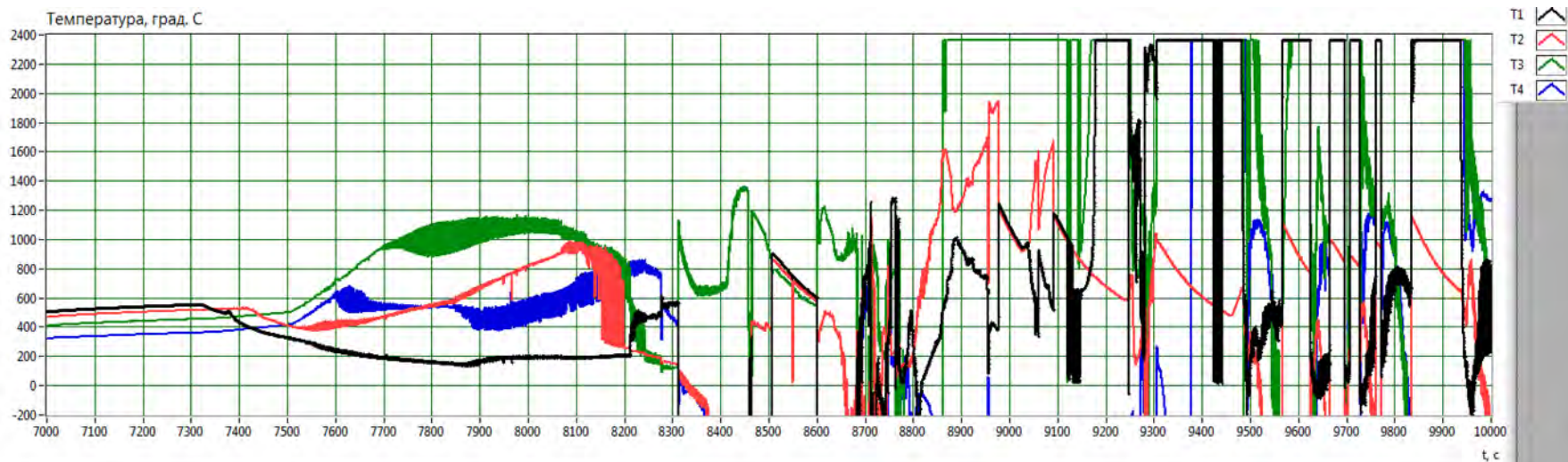


График эксперимента

Избыточное тепловыделение в течение около 700 с (интервал 7500-8200 сек)



Участок расплава



Идеалы: Микрореакторы для генерации тепла и электричества

- Создания микрореакторов с объемом камеры 1-2 мм³ и малой тепловой и электрической мощности 0,1-20 Вт
- «Вечные» источники энергии с длительностью работы 5-10 лет для электропитания автономных электронных устройств, встроенных систем, ноутбуков и т.д.
- КПД микрореактора - 500-600

Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора

Особенности и свойства

1. Внешний нагрев топлива реактора с помощью различных типов нагревателей (резистивные, СВЧ, индукционные, лазерные и т.п.) резко снижает КПД и эффективность LENR. Большие затраты энергии - на нагрев конструкции, на радиационное излучение (*как четвертая степень температуры*) и т.д. Сверхединичный КПД в них не превышает 2,5 -3.
2. В то же время эксперименты показывают, что процессы (акты) энерговыделения в топливе, скорее всего, идут локально-точечным и импульсным образом, а не одновременно во всем объеме топлива. К сожалению, нет работ по исследованию зависимости энерговыделения от массы топлива в реакторах типа Росси-Пархомова.
3. Для поддержания актов энерговыделения нет необходимости в непрерывном обеспечении пороговой температуры более 1300 градусов во всем объеме топлива. Достаточно стимулировать процессы LENR точечным импульсным нагревом.

Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора

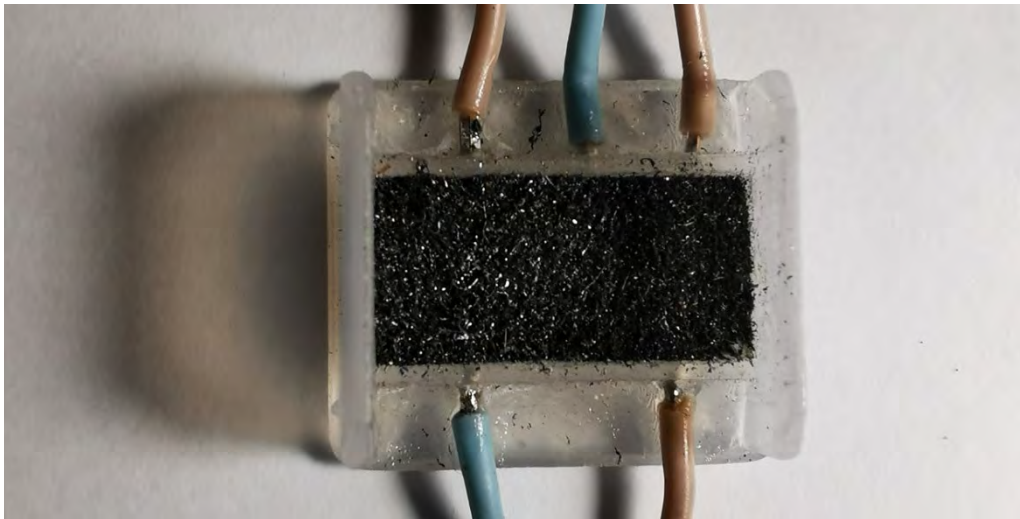
4. Порошки позволяют организовать смесь тугоплавких порошков, служащих точечными элементами нагрева, с порошками, необходимыми для протекания LENR.
5. Выбором комбинаций состава порошков, а также подбором их концентраций можно обеспечить широкий спектр возможных вариантов топлива для LENR.
6. Дисперсные порошки, материалы и их применение в радиотехнике известны давно. Когерер, угольный микрофон, ферриты, резистивные и токопроводящие материалы, графены, фуллерены и т.д.
7. В радиоприемнике Попова А. С. в качестве чувствительного детектора электромагнитной волны использовался *когерер*, представляющий собой металлический порошок в стеклянной трубочке, на концах которой помещены два электрода. При приеме электромагнитной волны за счет перестройки структуры происходит повышение электропроводности порошка. Механизм изменения проводимости порошков неясен и ему посвящены множество работ, включая и современные исследования.
8. Основными свойствами порошков при пропускании тока являются: 1.Изменение структуры порошка; 2. Память порошка, сохраняющая измененную структуру.

Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора

Особенности и свойства

1. Частица железа радиусом 5 мкм имеет массу $3,9 \cdot 10^{-12}$ г.
Для нагрева до 1000 град электрическим током мощностью:
1 мВт необходимо время 1,8 мс, 10 мВт – 0,18 мс, 1Вт- 2 мкс.
2. При подаче импульса (амплитудой 500 В и импульса тока 0,1 мА) наблюдается бегущий фронт (лидер) пробоя (лидер). Время нагрева частицы порошка на фронте до 1000 градусов составляет 4 мкс.

Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора



**Субмикронные металлические порошки и их смеси для
многоточечного импульсного нагрева топлива реактора.
«Горячие точки» сняты скоростным видео**

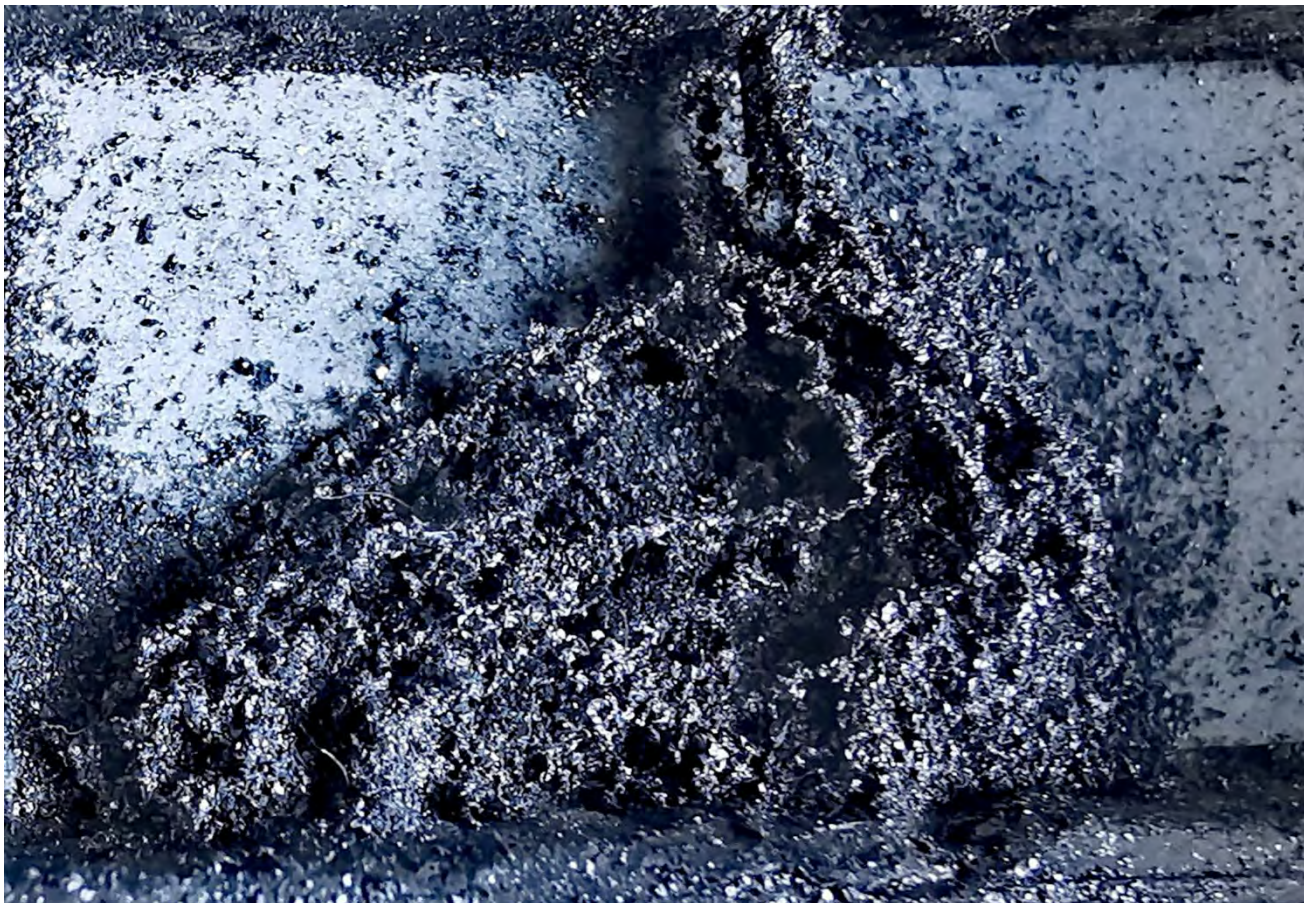


**Субмикронные металлические порошки и их смеси для
многоточечного импульсного нагрева топлива реактора.
«Горячие точки» сняты скоростным видео**

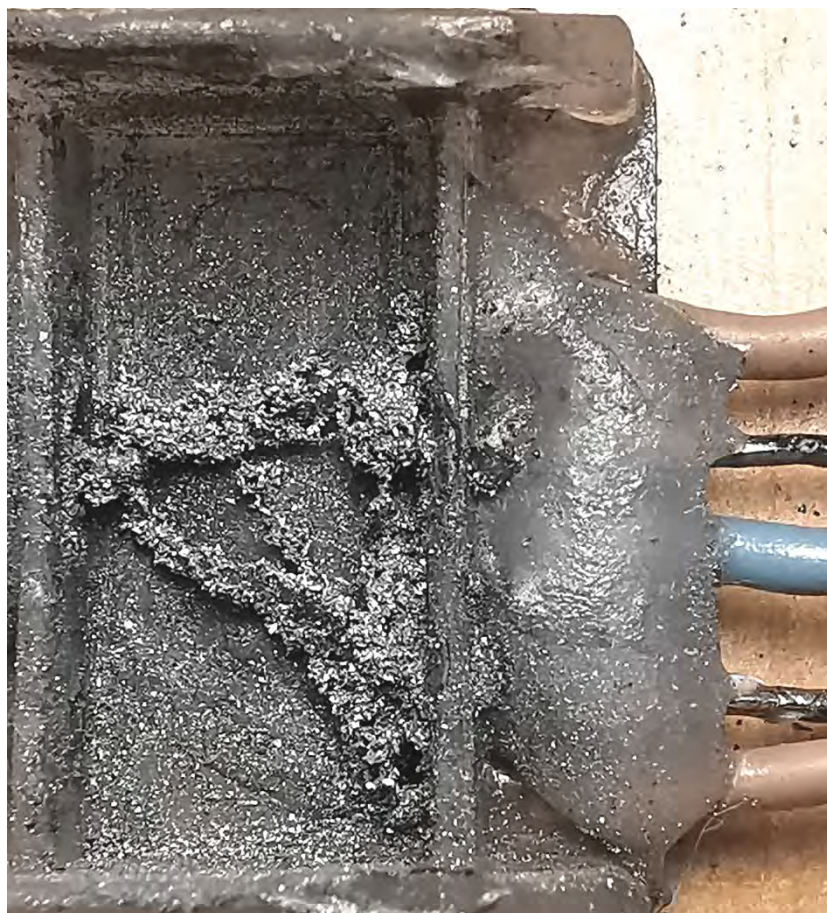


Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора.

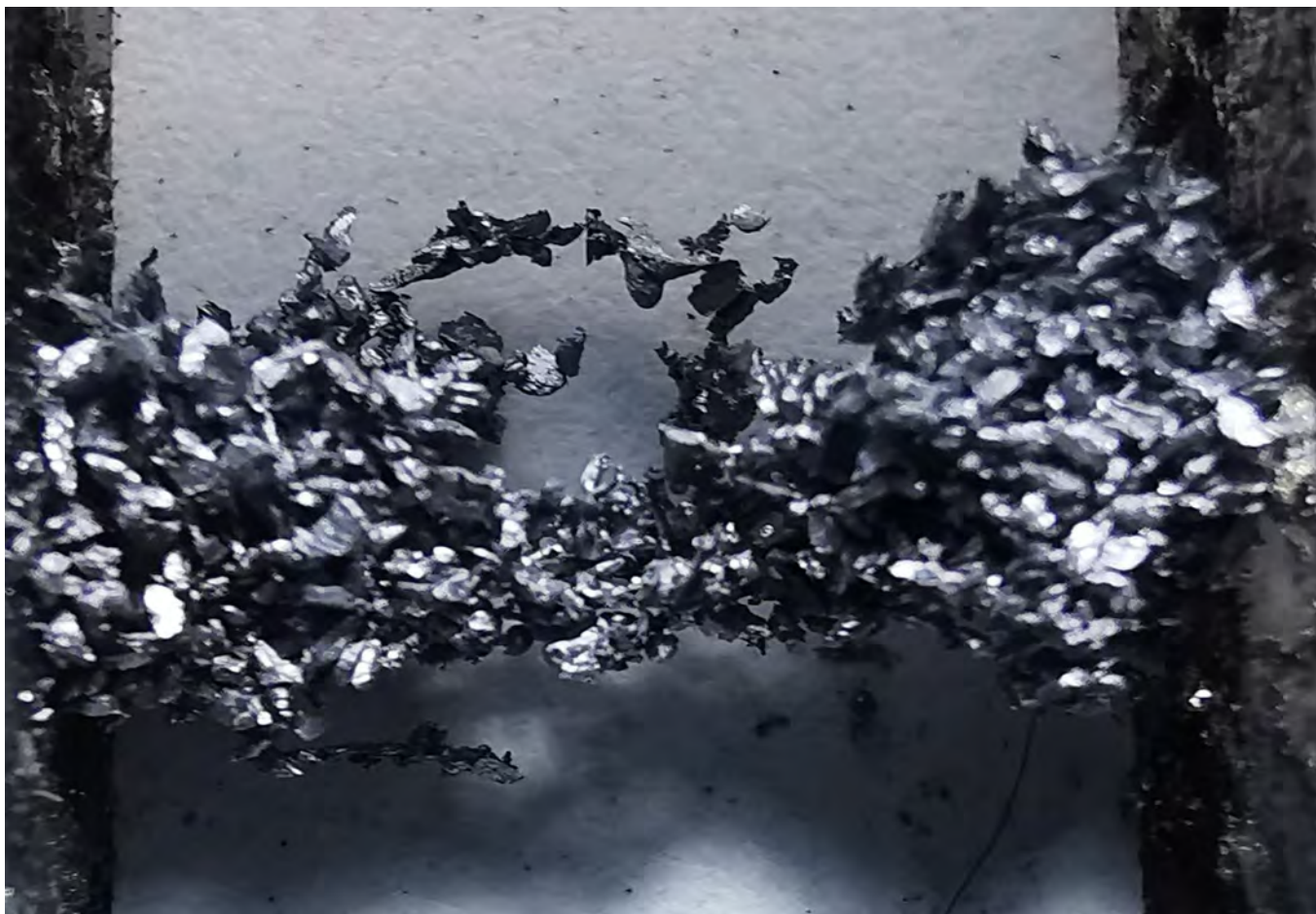
Проводящие дорожки и структуры, образованные при пропускании импульса тока



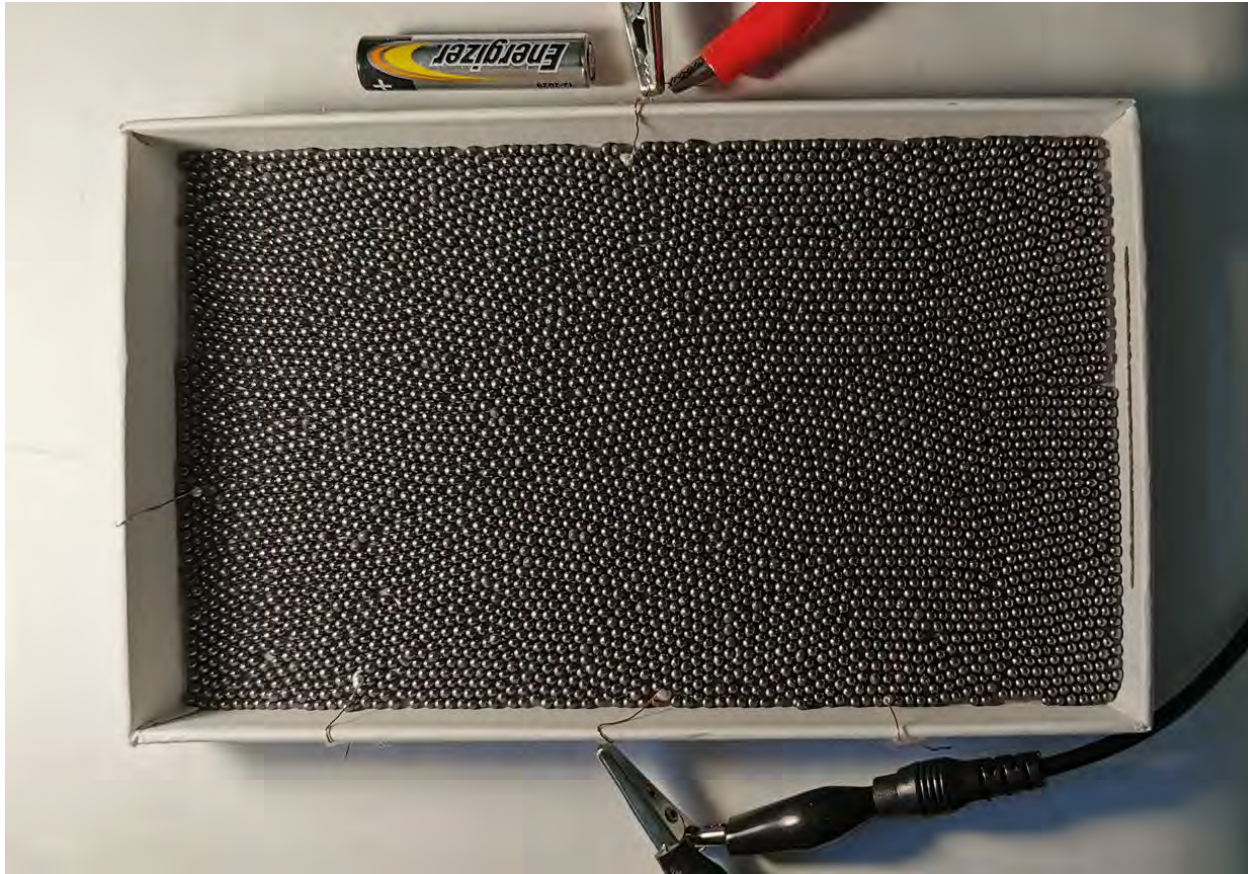
**Субмикронные металлические порошки и их смеси для
многоточечного импульсного нагрева топлива реактора.
Проводящие дорожки и структуры, образованные при пропускании
импульса тока**



**Субмикронные металлические порошки и их смеси для многоточечного импульсного нагрева топлива реактора.
Проводящие дорожки и структуры, образованные при пропускании импульса тока**



Моделирование двумерных и трехмерных процессов пробоя и импульсного нагрева.



На площадке 178x108 мм² :

Двумерный эксперимент – 4100 дробинок

Трехмерный эксперимент – 16400 дробинок

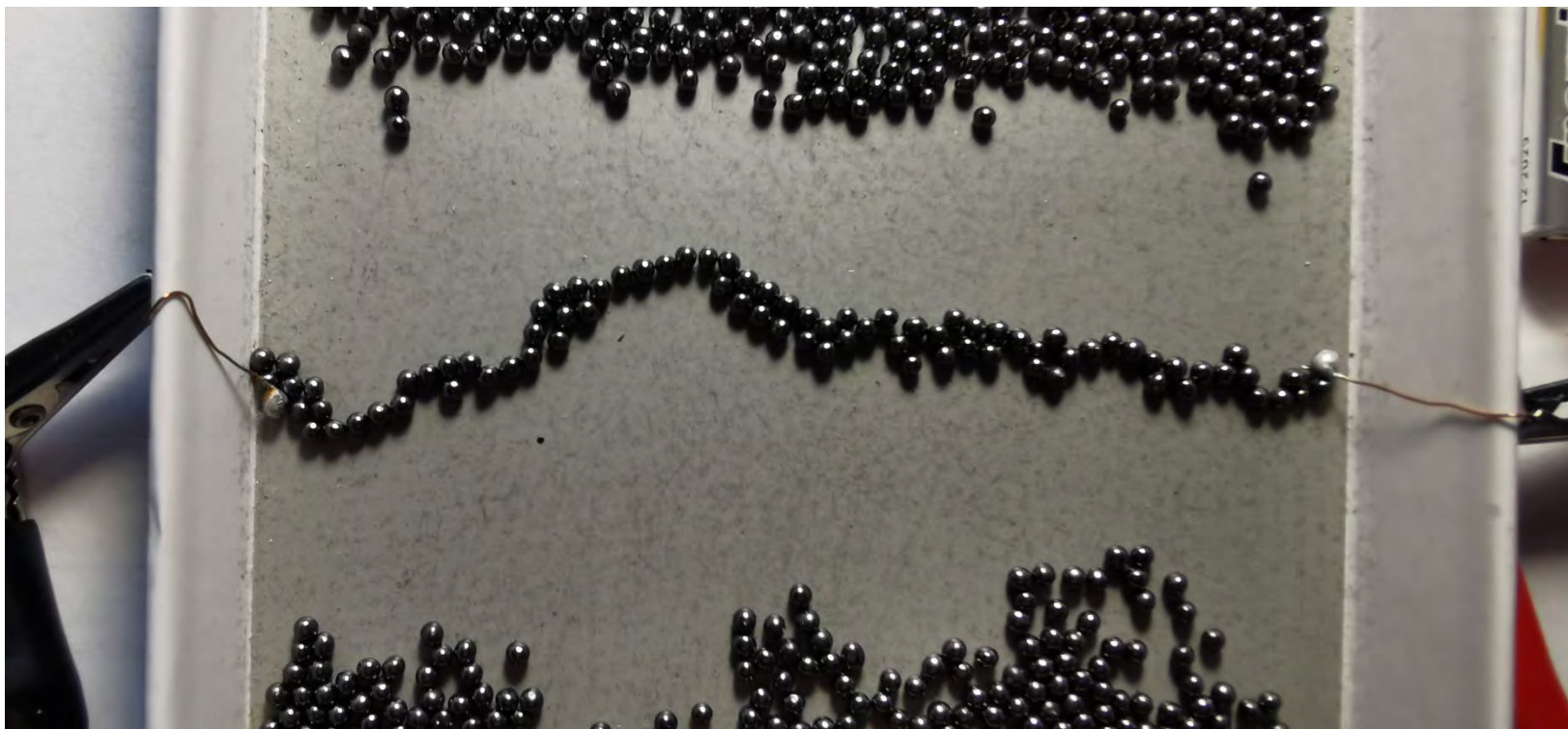
Средний диаметр дробинок – 2,17 мм

Моделирование двумерных и трехмерных процессов пробоя и
импульсного нагрева
Пробой в двумерном случае. Скоростная съемка



Моделирование двумерных и трехмерных процессов прооя и
импульсного нагрева

Пробой в двумерном случае. «Сигнатура прооя» в виде проводящей
дорожки



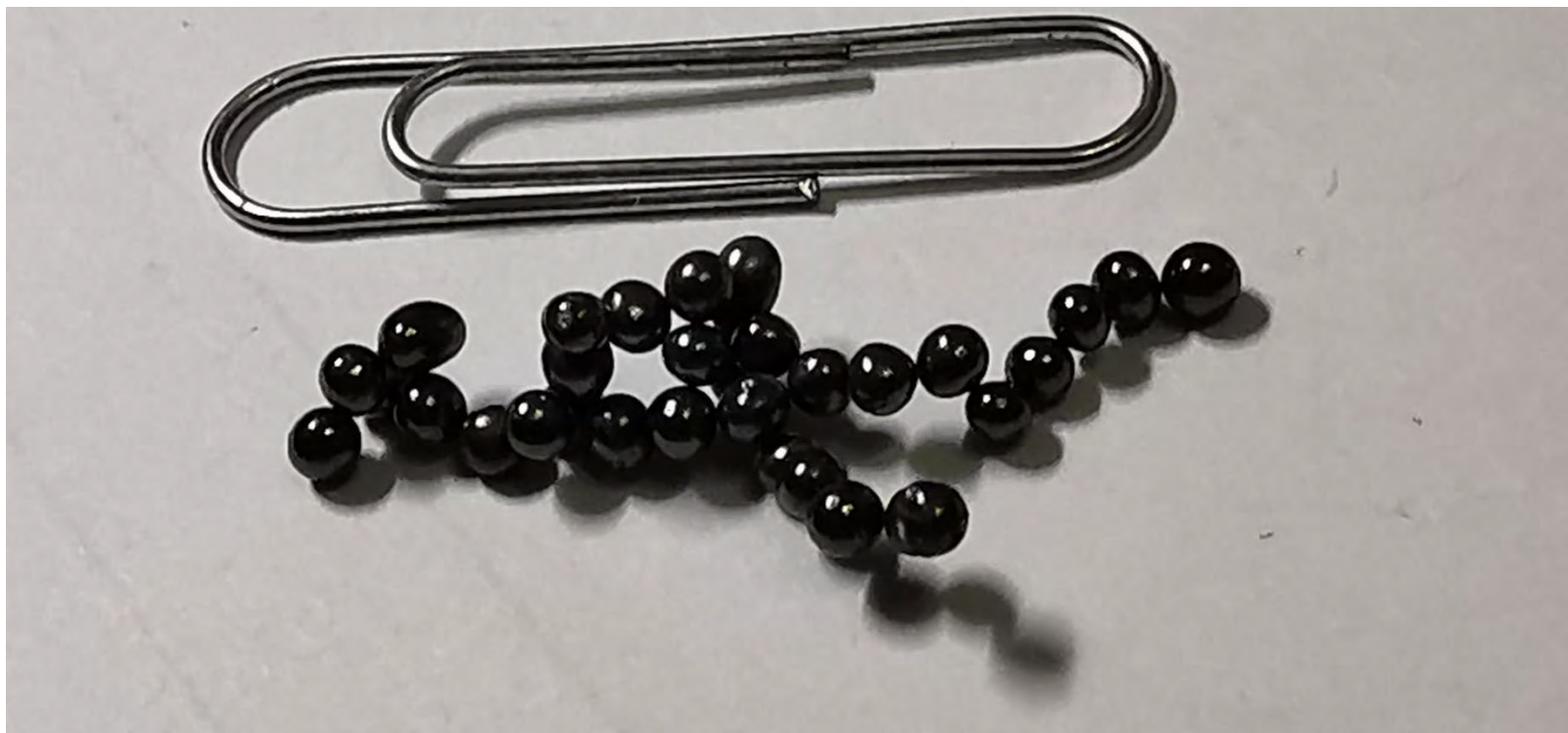
Моделирование двумерных и трехмерных процессов пробоя и
импульсного нагрева

Пробой в двумерном случае. Фрагмент цепочки сплавленных дробинок



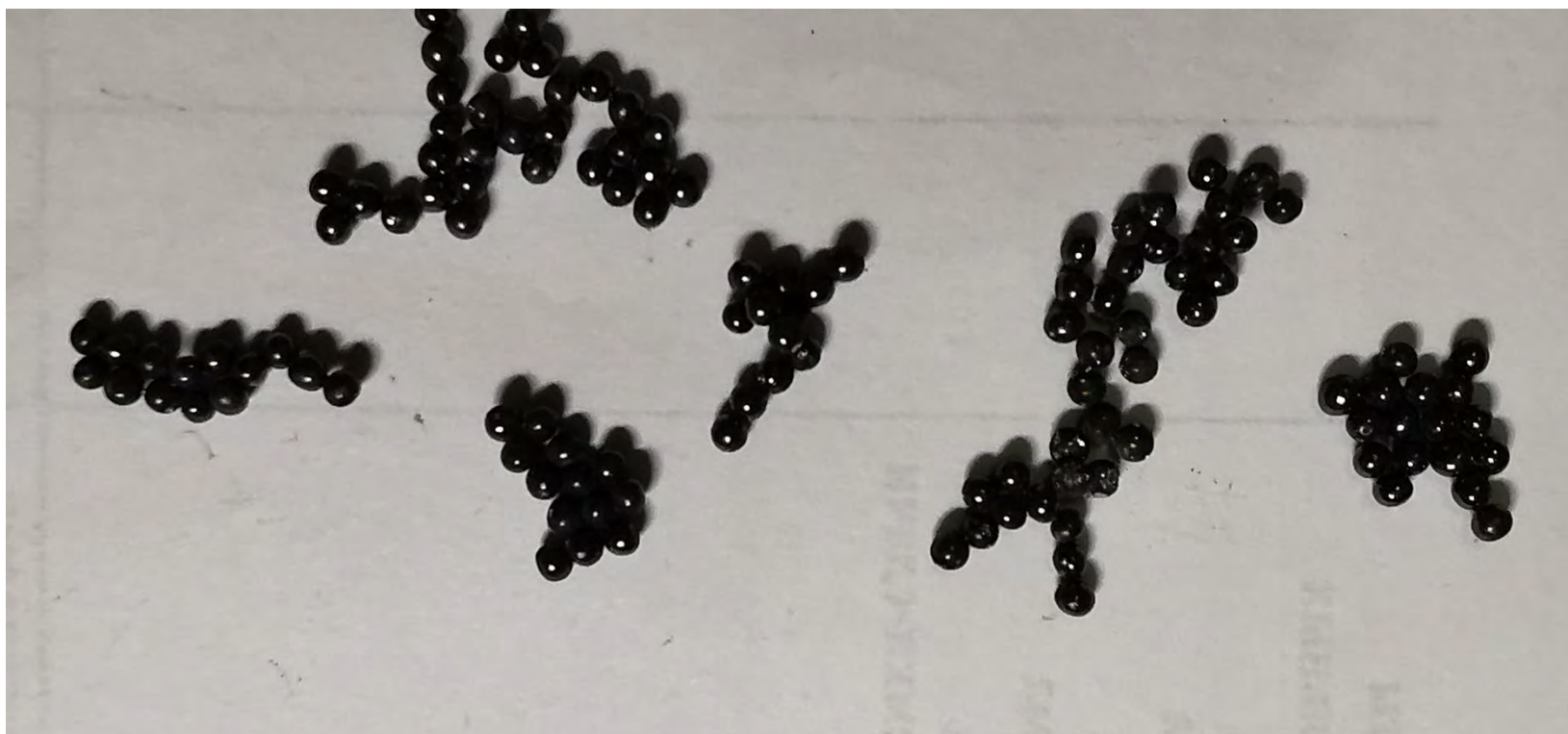
Моделирование двумерных и трехмерных процессов пробоя и импульсного нагрева

Пробой в трехмерном случае. «Сигнатура пробоя» в виде фрагмента проводящей дорожки



Моделирование двумерных и трехмерных процессов пробоя и
импульсного нагрева

Пробой в трехмерном случае. «Сигнатура пробоя» в виде фрагментов
проводящей дорожки



Спасибо за внимание!