

*Экспериментальное изучение параметров  
аэрозольных частиц в тепловой трубе.*

Горбунов Николай

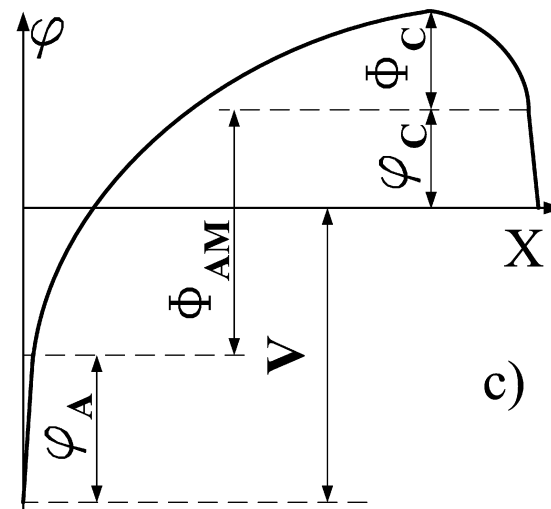
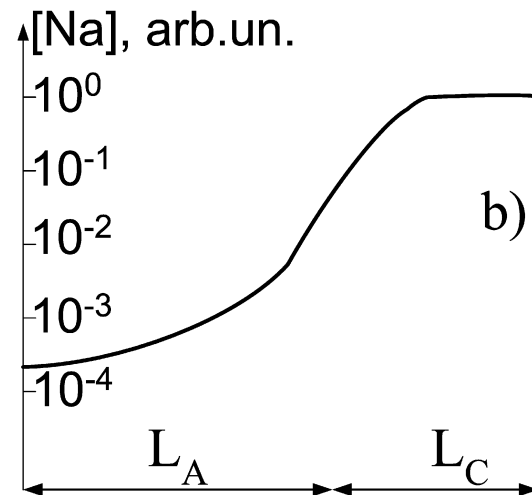
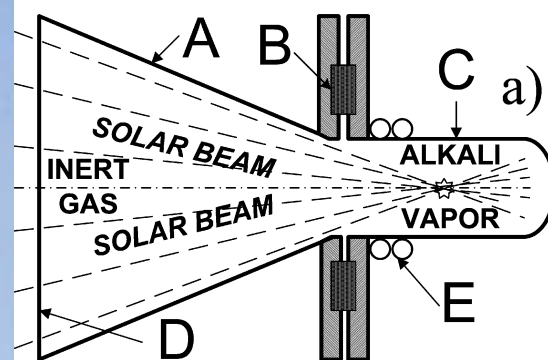


# Конструкция плазменного фотоэлектрического преобразователя (ПФЭП). ЖТФ 2009

## Три различные области ПФЭП:

- 1 – термическая плазма в катодной области;
- 2 – плазма с микро капельной компонентой в зоне охлаждения;
- 3 – неравновесная плазма в анодной зоне

A- anode; B- electric insulator; C- cathode; D- input window; and E - external cooling system.



# Постановка задачи для исследования переходной области

Необходимым условием высокой эффективности ПФЭП является:

- высокая поглотительная способность рабочей среды конвертора во всем спектральном диапазоне солнечного излучения;
- Высокая электрическая проводимость переходной области

# Предшествующие исследования

- тепловые трубы (ТТ) широко используются для проведения спектроскопических исследований с парами металлов.
- наблюдаемые в эксперименте зависимости поглощения в ИК области спектра ( $\lambda > 0,9$  мкм) на два-три порядка превосходят расчетные величины

Леонов А.Г., Руденко А.А.,  
Старостин А.Н. и др.//  
ЖЭТФ. 2002. Т. 122. N2, С.  
282.

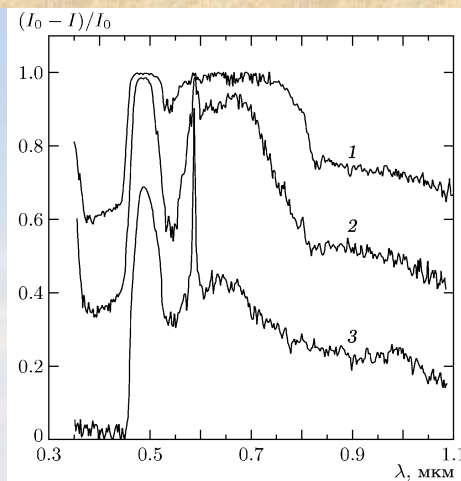
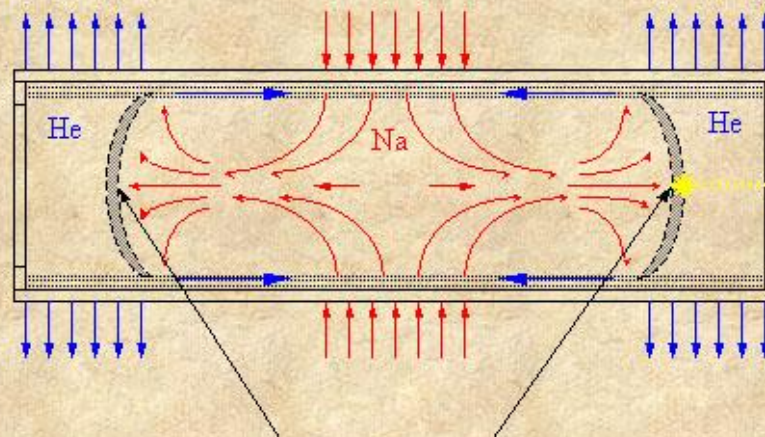
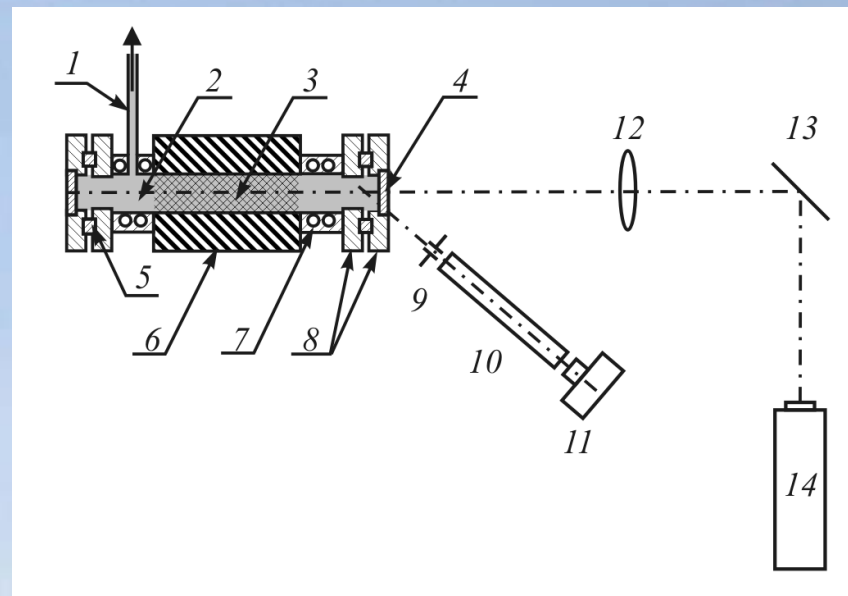


Рис. 1. Спектры поглощения паров натрия при различных температурах в центре кюветы. Буферный газ — аргон при давлении 1 атм; 1 —  $T_c = 903$  (1), 806 (2), 709 К (3)

# Экспериментальная установка

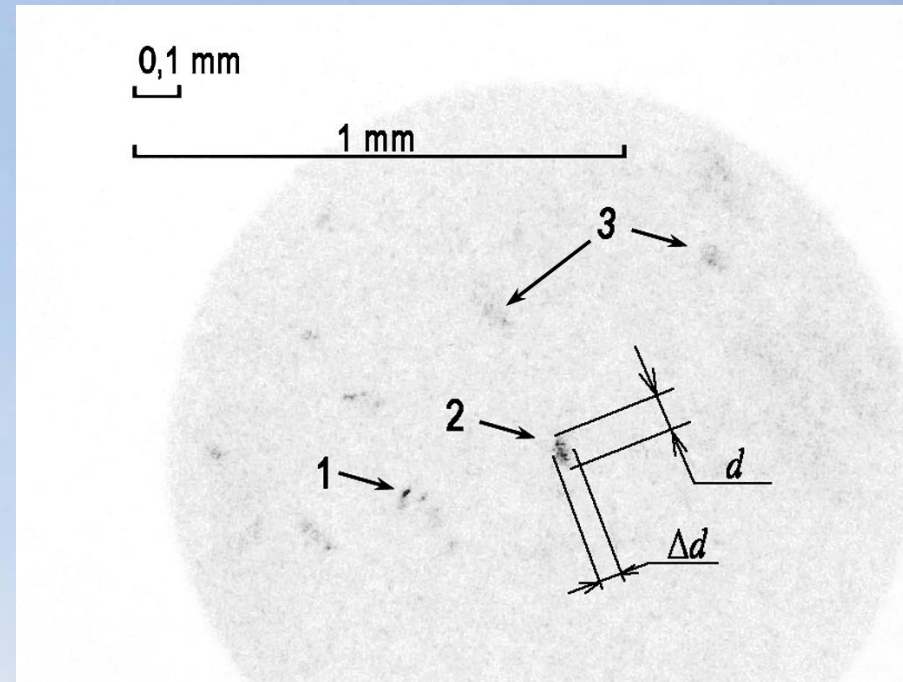
1 – подключение вакуумной системы и системы напуска газа; 2 – область буферного газа; 3 - область щелочных паров; 4 – оптическое окно; 5 – уплотнительная диэлектрическая прокладка; 6 – электрический нагреватель; 7 – система водяного охлаждения; 8 – электрически изолированные фланцы; 9 – апертурная диафрагма; 10 – микроскоп; 11 – фотоаппарат; 12 – фокусирующая линза; 13 – поворотное зеркало; 14 – лазер ИЛГИ-101.





# Обработка измерений

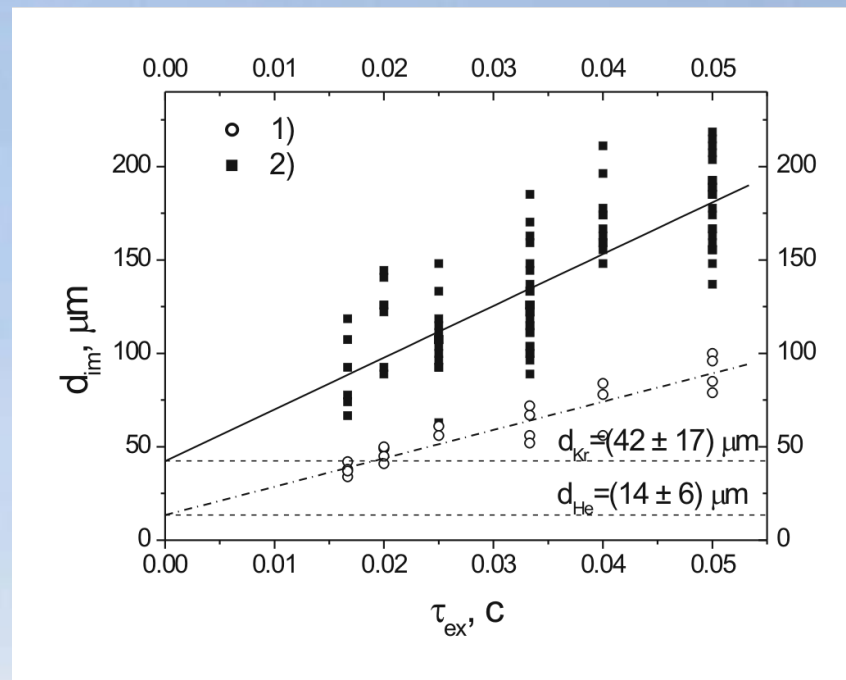
Конечная толщина лазерного луча ( $\Delta d \leq 1$  мм) в области наблюдения приводила к тому, что на регистрирующей матрице изображались не только объекты в плоскости наводки микроскопа, но и отстоящие от нее на расстоянии  $\Delta z \approx \Delta d$ . Отношение кружка размытия изображения  $\Delta d_{im}$  к величине истинного изображения составляет величину  $\Delta d_{im}/kd_{ob} \approx D\Delta z/Fd_{ob}$ , где  $k$  - увеличение микроскопа,  $D$  и  $F$  - диаметр и фокусное расстояние объектива соответственно. Для нахождения истинных размеров из фотографических измерений мы использовали цифровой фильтр, обычно применяемый при визуальных измерениях в аэрозольной среде. Суть цифровой обработки фотографии состоит в том, что отсекаются менее яркие области размытого изображения. Согласно рекомендациям, нами устанавливался уровень отсечки, равный 50% амплитуды сигнала от сфокусированного изображения.



# Зависимость размера изображения при различных временах экспозиции в смесях: 1 – $Na+He$ ; 2 – $Na+Kr$

Движение частиц в плоскости наводки микроскопа со скоростью  $v$  приводит к тому, что изображение объекта ( $d_{im}$ ) имеет величину  $d_{im} = d_{ob} + v \cdot \tau_{ex}$ , где  $d_{ob}$  – истинный размер объекта,  $\tau_{ex}$  – время экспозиции. Далее строился график  $d_{im}$  при различных величинах  $\tau_{ex}$ . Методом наименьших квадратов определялись величины  $d_{ob}$  и  $v$ . Плотность частиц ( $n$ ) находилась путем подсчета числа ( $N$ ) частиц в выделенном объеме ( $\Delta V$ ) наблюдения  $n = N / \Delta V$  [17]. Величина  $\Delta V$  рассчитывалась, исходя из площади поля наблюдения, толщины луча лазерной подсветки, и составляла  $\Delta V \approx 1,4 \text{ мм}^3$ .

Максимальная температура внешней стенки в центре кюветы составляла  $T_w = 420^\circ\text{C}$ , давление гелия  $p_{He} = 21 \text{ мм рт. ст.}$ , давление криптона  $p_{Kr} = 22 \text{ мм рт. ст.}$  при комнатной температуре газа



Скорость движения аэрозольных частиц вдоль оси ГТ составляет  $v_{He} \approx 2,8 \text{ мм/с}$  для гелия и  $v_{Kr} \approx 3,5 \text{ мм/с}$  для криптона.

Измеренные значения плотностей аэрозолей составили в гелии  $n_{He} = (16 \pm 8) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  и  $n_{Kr} = (3 \pm 1) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  в криптоне. Столь высокая плотность микрочастиц приводит к тому, что наблюдаемая глазом внутри ГТ картина напоминает плотный туман.

# Влияние микрокапельной компоненты на оптические свойства среды

Образование аэрозолей происходит в зоне конденсации, длина которой ( $l_{con}$ ) с учетом обоих концов ТТ составляет в данном эксперименте  $l_{con}=(3 - 4)$  см. Сечение экстинкции  $\sigma_{ext}$  для видимой и ближней ИК области спектра при  $d \gg \lambda$  определяется размером частиц  $\sigma_{ext} = \pi d_{ob}^2 / 4$  и не зависит от длины волны [18]. Для смеси  $Na+Kr$  оптическая плотность в зоне проведения наблюдения, обусловленная аэрозолями, составляет  $k_0 = n\sigma_{ext} = 0,04 \text{ см}^{-1}$ . Таким образом, ослабление пучка света аэрозолями при прохождении через ТТ не зависит от диапазона спектра и может составлять не более (12 - 16)%.

В области спектра  $\lambda > 0,9$  мкм отсутствуют поглощающие атомарные переходы и полосы поглощения  $Na_2$

В литературе высказывалось предположение о влиянии на поглощение ИК излучения в ТТ тримеров натрия  $Na_3$ , имеющих полосы поглощения при  $\lambda > 0,9$  мкм. Расчет концентрации  $Na_3$  проводился для горячих областей ТТ, где плотность паров наиболее высока. Для насыщенных паров в диапазоне температур  $700 \leq T_s \leq 900 \text{ K}$  относительная концентрация тримеров оказалась на уровне  $10^{-5} - 10^{-4}$  от плотности атомарной компоненты. Столь малые концентрации тримеров обусловлены малой энергией диссоциации (3400 К) и не могли объяснить наблюдаемое в эксперименте поглощение при  $\lambda > 0,9$  мкм.



# Модель образование тримеров $Na_3$

Для эффективного образования малых кластеров нужны неравновесные условия: расширение пересыщенного пара в холодный буферный газ. Подобные условия реализуются вблизи поверхности микрокапель в холодной части ТТ. Аэрозоли движутся из горячей части ТТ, а следовательно, температура жидкометаллического ядра капли ( $T_n$ ) выше температуры окружающей среды ( $T_b$ ). Плотность щелочных паров вблизи поверхности близка к плотности насыщенных паров, определяемых  $T_n$ . Капля интенсивно испаряется, вблизи капли образуется паровая оболочка (шуба), которая может в значительной степени определять оптические свойства среды. Концентрация  $Na_3$  в шубе может существенно превышать соответствующее значение для насыщенных паров при  $T_n$ , поскольку скорость диссоциации тримеров экспоненциально уменьшается с понижением температуры окружающего газа.

Сорт буферного газа оказывает также дополнительное влияние на эффективность образования  $Na_3$  в паровой шубе, окружающей жидкометаллическое ядро. Скорость теплообмена нагретой капли зависит от теплопроводности буферного газа. Поскольку теплопроводность  $Ar$  на порядок величины меньше, чем у  $He$ , то разница температур ( $T_n - T_b$ ) будет больше в  $Ar$ . Следовательно, образование  $Na_3$  смеси  $Na+Ar$  будет идти более эффективно.

Величины коэффициентов поглощения в однородно прогреваемых кюветах при тех же длине и температуре в области щелочных паров существенно меньше, чем в ТТ. Это может быть объяснено отсутствием в однородных парах микрокапельной компоненты и, следовательно, дополнительных источников образования тримеров. В экспериментальных условиях, в которых отсутствовали как микрокапельная компонента, так и тримеры, поглощение в парах натрия при  $\lambda > 0,9$  мкм не наблюдалось.

# Проводимость переходной области

Известно, что проводимость перенасыщенных паров щелочных металлов обладает аномально высокой проводимостью (В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, И.Т. Якубов. Физика неидеальной плазмы)

Возможны два механизма для объяснения аномально высокой проводимости: Понижение эффективного потенциала ионизации благодаря высокой концентрации молекулярной компоненты; Микро капельная компонента может служить дополнительным источником свободных электронов благодаря термо и фото эмиссии

# Заключение

Предложена модель для объяснения высоких коэффициентов поглощения в ИК области спектра, наблюдавшихся ранее в тепловых трубах. В рамках этой модели микрокапельная компонента рассматривается как источник образования тримеров натрия, ответственных за поглощение ИК излучения ( $\lambda > 0,9$  мкм) в холодной части тепловой трубы. Совместное влияние микрочастиц и молекулярной компоненты, которые ранее рассматривались независимо, позволяет на качественном уровне объяснить наблюдаемые ранее особенности в спектрах поглощения в тепловых трубах.

*Для развития модели ПФЭП необходимо привлечение специалистов по неидеальной плазме.*

*В свою очередь, разработка ПФЭП может дать мощный импульс развития физике неидеальной плазмы*

**Спасибо за внимание**