

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**3 (301)**

**МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж.**

**МАЙ – ИЮНЬ 2015 г.**

**MAY – JUNE 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчеков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к е ң е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 198 – 203

**A CALCULATION OF THE ELECTRON TEMPERATURE  
OF COMPLEX PLASMA IN NOBLE GASES MIXTURE  
IN CCRF DISCHARGE**

**S. A. Orazbayev, Ye. A. Ussenov, T. S. Ramazanov, M. K. Dosbolayev, A. U. Utegenov**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [sagi.orazbayev@gmail.com](mailto:sagi.orazbayev@gmail.com)

**Key words:** nanoparticles, dusty plasma, nanomaterials, gas discharges.

**Abstract.** In this research the electron temperature of the dust and the buffer gas discharge plasma in mixtures of inert gases (helium and argon) in CCRF discharge was studied. The dependence of the temperature of plasma-forming gas (argon, helium and their mixtures) on pressure and power of the discharge was determined using optical spectral diagnostic method based on spectral lines. The probe method was used to measure the axial distribution of the electron temperature in the buffer plasma of RF discharge in helium and mixtures of helium and argon. The results of measurements show an increase in the temperature of electrons in the near-electrode regions compared to the area of a homogeneous plasma characterized by a relatively normal distribution of the electron temperature. It has been found that addition of a small amount of argon to helium causes a decrease in the main electron temperature, which considerably influences the properties of plasma-dust formations such as structure, charge, and the average interparticle distance. The results obtained in this research will be useful for studies of properties of RF plasma in various gases and their mixtures.

УДК 533.9.01

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОНОВ  
КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЫ В СМЕСЯХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ  
В ВЧЕР РАЗРЯДЕ ОПТИЧЕСКИМИ И ЗОНДОВЫМИ МЕТОДАМИ**

**С. А. Оразбаев, Е. А. Усенов, Т. С. Рамазанов, М. К. Досболаев, А. У. Утегенов**

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** нанобөлшектер, тозаңды плазма, наноматериалдар, газдық разряд.

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследования температуры электронов пылевой и буферной плазмы газового разряда в смесях инертных газов (гелий+аргон) в ВЧЕР разряде. С помощью оптико-спектрального метода диагностики исследованы оптические свойства пылевой плазмы аргона, гелия и

их смесей. На основе спектральных линий плазмообразующих газов определены температура электронов в зависимости от давления газов и мощности разряда. Так же было измерено аксиальное распределение температуры электронов в межэлектродном пространстве. Измерения были проведены с помощью ВЧ компенсационного электрического зонда. Сравнение результатов эксперимента показывает что, при добавлении в малом количестве аргона в гелий, температура электронов буферной плазмы уменьшается. Присутствие пылевых частиц в плазме приводит к увеличению электронной температуры.

**Введение.** В последнее время в научных исследованиях и для решения многих практических задач применяются бинарные и многокомпонентные смеси газов и паров веществ. Подбором состава смесей можно достигать такие результаты, которые невозможно получить при использовании однородного состава газа. Поэтому необходимо знать зависимость основных характеристик плазмы от условий существования ионизованного газа: род и состав газов, парциальные давления компонентов, плотность тока, энергии ионизации частиц, температура и концентрация заряженных частиц и др. Смеси инертных газов активно применяются и в экспериментах при исследовании свойств комплексной (пылевой) плазмы. Пылевая плазма – это обычная плазма, содержащая в себе частицы вещества субмикронных размеров.

Исследование структурных и динамических свойств плазменно-пылевых образований в смесях инертных газов показало что с добавлением малого количества примесного газа свойства пылевых структур сильно изменяются. При проведении серий экспериментов ВЧЕР разряде было выявлено что малая примесь аргона в плазмообразующем буферном газе приводит к кристаллизации плазменной структуры, по сравнению с идентичными условиями эксперимента, где в качестве плазмообразующего газа буферной плазмы используется чистый гелий. Объяснение такого поведения плазменно-пылевых структур в фоновой плазме смеси газов требует знания основной характеристики разряда как температура электронов и его изменения с добавлением примесей в основной газ при разных условиях эксперимента.

В данной статье исследуются оптические свойства пылевой плазмы, созданной в емкостном высокочастотном разряде (ВЧЕР) аргона, гелия и их смесей на основе оптико-спектрометрического анализа свечения плазмы. Оптические методы позволяют получить обширную информацию о параметрах пылевой плазмы (температура, концентрация частиц плазмы) и достичь более детального понимания физических процессов в системе. Полученные спектры используются для выявления влияния пылевой компоненты на спектральные характеристики буферной плазмы.

Также в данной статье представлены результаты исследования аксиального распределения температуры электронов в комплексной плазме смеси инертных газов с помощью зондового метода. Зондовый метод дает возможность определения локальной температуры электронов в разрядном промежутке и позволяет выявить ее изменение в межэлектродном пространстве.

**Экспериментальная установка.** Эксперименты проводились в плазме ВЧЕР разряда [1, 2]. Основной частью экспериментальной установки является электродная система, где образуется высокочастотный емкостной газовый разряд. Электроды представляют собой алюминиевые диски с диаметрами 100 мм, которые расположены параллельно друг другу в горизонтальном положении. Верхний электрод заземлен и имеет в центре небольшое отверстие для инъекции пылевых частиц, а также для проведения видеосъемки. Нижний электрод подключен к ВЧ генератору с частотой 13,56 МГц. Расстояние между электродами составляет 30 мм. ВЧ компенсационный одиночный электрический зонд вводится в плазму и соединяется с блоком питания через многоконтактный LEMO разъем в вакуумной камере. В качестве рабочей среды использовались аргон, гелий и их смеси, давление рабочих газов варьировалось в пределах 0,1–1 Тор.

Зонд имеет компенсационный электрод из алюминия и резонансные LC фильтры рассчитанные на 13,56 МГц и 27,12 МГц ВЧ сигнала. Контактующая часть зонда имеет диаметр  $D=0.12$  мм и длину  $L=3.3$  мм. В качестве пылевых частиц использовались полидисперсные частицы  $Al_2O_3$  и монодисперсные частицы меламин формальдегида размером 10  $\mu m$ . Область собирающей (оголенной) поверхности цилиндрического зонда освещалась лазерным ножом, полученным с помощью специальной оптической системы линз. Весь процесс записывался с помощью CCD камеры в виде видеофайла и обрабатывался через компьютер. Частота камеры составляет 25 кадров в секунду. Вакуумная камера имеет боковые оптические окна, через которые ведется наблюдение за разрядом. Оптическая система, применяемая для диагностики плазмы, состоит из

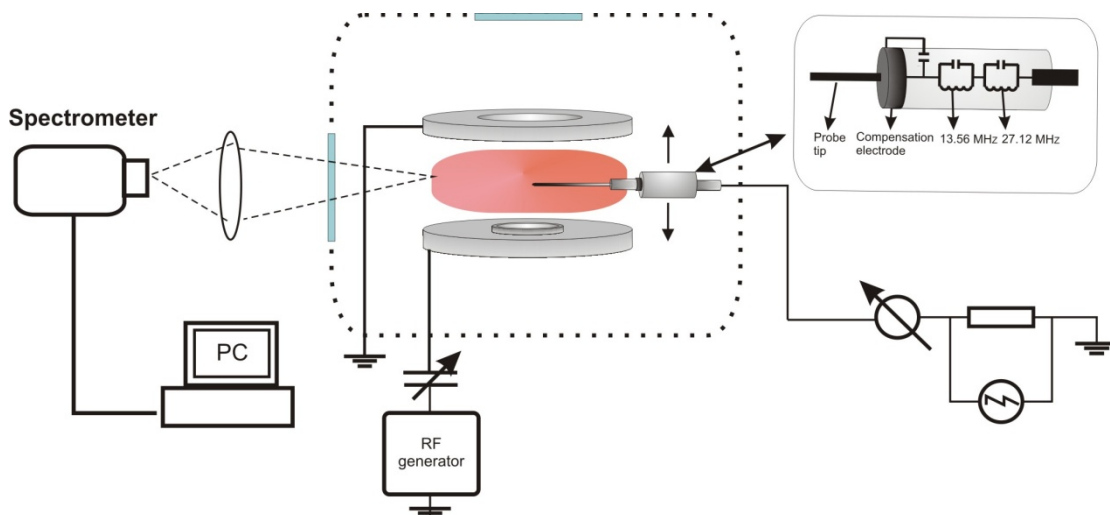


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки и схема измерения ВЧ компенсационного электрического зонда

системы линз и линейного спектрометра Solar Systems. Система линз подбирается таким образом, чтобы обеспечить четкое изображение межэлектродного пространства на входной щели спектрометра. Чувствительность и возможности спектрометра Solar Systems позволяют выполнять измерение оптических спектров в диапазоне 190 - 1100 нм.

**Оптическая диагностика комплексной плазмы.** Методом оптико-спектроскопической диагностики плазмы был получен спектр аргона и гелия. На основе полученных спектров методом абсолютной интенсивности спектральных линий была рассчитана температура электронов [8]. Этим методом мы определяем температуру электронов с помощью спектральной линии аргона 750.38 нм и гелия 388.86 нм, для спектральной линии 750.38 вероятность перехода равна  $4.45 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1}$ , а спонтанный переход равен  $2p_1 \rightarrow 1s_2$ , а для линии 388.86 нм  $3p \rightarrow 3s_1$  соответственно. А также мы рассматриваем, что концентрация электронов по сравнению нейтральными атомами очень мала и обладают низкой температурой. Таким образом, уровень  $2p_1(3p)$  будет пуст, и через этот уровень будет осуществляться спонтанное возбуждения, не будем учитывать самопоглощение и единственным источником возбуждения в нейтральных атомах является электроны и нейтральные атомы. Данный случай соответствует модели коронного баланса и уравнение выражается следующим образом:

$$n_e n_0 k(T) = \frac{N}{\tau},$$

$k$  – коэффициент возбуждения,  $n_0$  – давления газа аргона,  $n_e$  – концентрация электронов,  $\tau$  – время простоя на уровне  $2p_1(3p)$ ,  $N$  – концентрация на уровне  $2p_1(3p)$ .

С помощью сравнения спектральных линий интенсивности аргона и гелия с интенсивностью вольфрамовой лампы определяем концентрацию на уровне  $2p_1(3p)$ . Связь между коэффициентом возбуждения и температурой электронов установлено в работе Gordillo- Vasquez и др., то есть для аргона

$$k(T) \approx 2.78 \cdot 10^{-15} \exp\left(-\frac{13.5}{kTe}\right)$$

$$T_e = -\frac{13.5}{\ln\left(0.7 \frac{N}{n_e}\right)},$$

также для гелия

$$k(T) \approx 3.97 \cdot 10^{-14} \exp\left(-\frac{24.5}{kTe}\right)$$

$$T_e = -\frac{24.5}{\ln\left(3.06 \frac{N}{n_e}\right)}$$

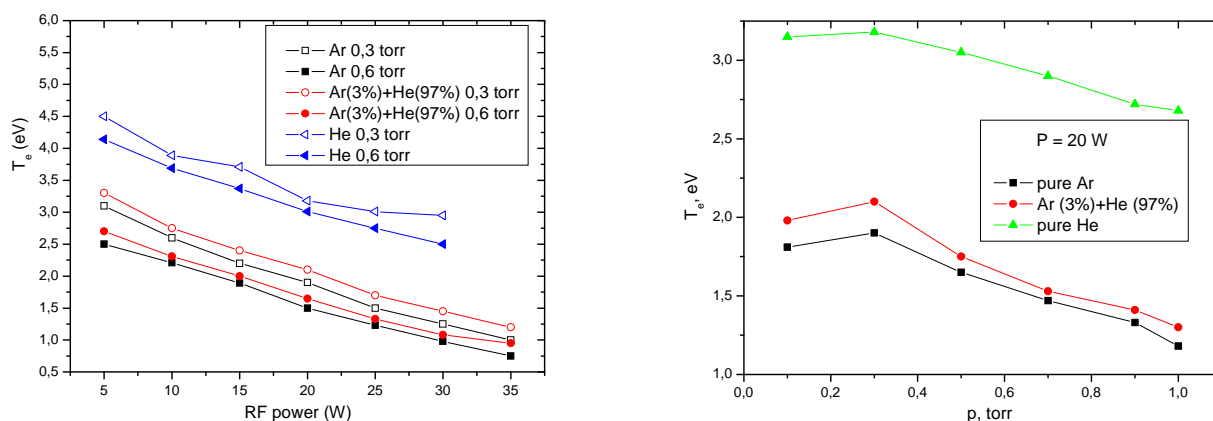


Рисунок 2 – а) зависимость электронной температуры от ВЧ напряжения в различных газах и их смесях; б) зависимость температуры от давления смеси

Определено, что с увеличением мощности разряда температура электронов в плазме уменьшается. Это можно объяснить следующим образом: при увеличении мощности разряда процесс ионизации соответственно повышается и увеличивается концентрация электронов. Это приводит к тому, что частота столкновения электронов увеличивается и в результате уменьшается температура электронов.

Таким образом, вышеописанный метод на основе абсолютной интенсивности спектральных линий позволяют достаточно надежно измерять температуру электронов плазмы, которая для аргона варьируется в пределах 0.5 – 4 эВ, для гелия 2 – 7 эВ, для смеси (гелий + аргон) 0.5 – 5 эВ, при изменении давления в диапазоне 0.1 – 1 Тор. В тоже время полученные данные свидетельствуют о изменении характеристик плазмы в изученном диапазоне (см. рисунок 2б). Так, температура электронов возрастает при росте давления в диапазоне 0,1 – 0,3 Тор, и монотонно убывает в диапазоне 0,3 – 1 Тор.

Данное поведение можно объяснить на основе возрастающей роли нейтральной компоненты буферного газа при увеличении давления, так как изменение концентрации заряженной компоненты является незначительным. При низких давлениях буферного газа, «перекачка» энергии от переменного электрического поля к электронам является эффективной ввиду достаточно редких столкновений с нейтралами. При высоких давлениях газа столкновения с ними становятся достаточно частыми, что приводит к охлаждению электронов.

**Исследование распределения температуры электронов с помощью зондового метода.** Распределение температуры электронов в аксиальном направлении в буферной плазме чистого He и в смеси He+Ar были определены с помощью Ленгмюровского зонда. Температура электронов была измерена в диапазоне от 6 мм до 26 мм начиная от нижнего ВЧ электрода с шагом 2 мм (рисунок 3а). Увеличение температуры электронов в приэлектродном слое разряда можно объяснить стохастическим нагревом и ускорением электронов в ВЧ поле вблизи электродов. При добавлении аргона (3 %) в гелий (97 %) температура электронов уменьшается во всем разрядном промежутке. Это связано с потенциалом ионизации данных инертных газов. Потенциал ионизации аргона меньше чем у гелия, поэтому атомы аргона ионизируются интенсивнее при одинаковой энергии внешнего поля что приводит к увеличению концентрации заряженных частиц. В таком случае температура электронов уменьшается в следствии частых столкновений с ионами плазмообразующих газов. Так же, уменьшение температуры электронов с добавлением аргона можно объяснить с помощью сечения ионизации атомов данных газов. Сечение ионизации аргона больше, чем сечение ионизации гелия. Добавка малого количества аргона приводит к увеличению вероятности упругих столкновений, и следовательно, к уменьшению температуры электронов.

Также определено распределение температуры электронов плазмы в пылевой плазме чистого гелия и смеси гелия с аргоном. При введении контактирующей части зонда в пылевую плазму на зонд подается начальный отрицательный потенциал и вокруг зонда образуется область свободная от пылевых частиц. Такое же поведение пылевых частиц в призондовой области в тлеющем



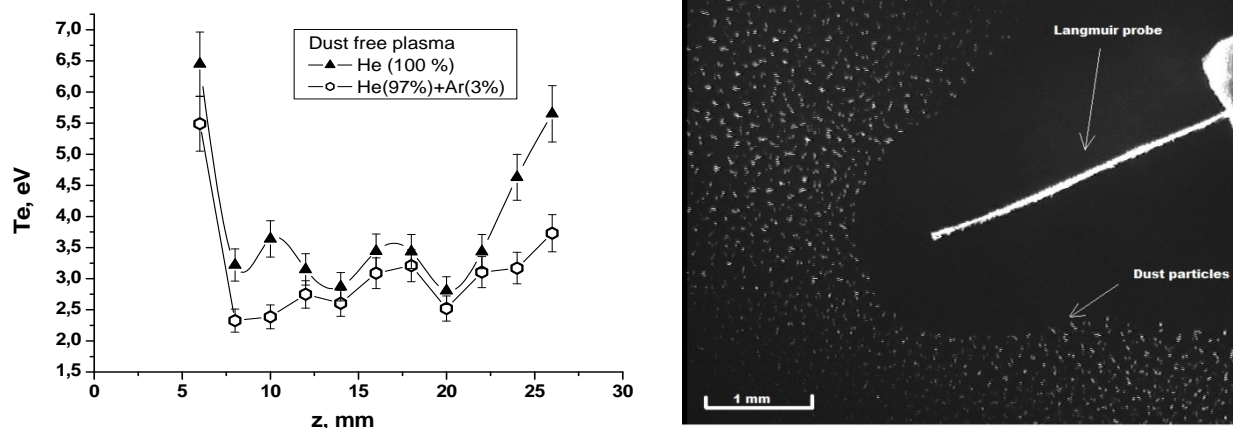


Рисунок 3 – а) аксиальное распределение температуры электронов плазмы в межэлектродном пространстве в чистом He и в смеси He+Ar. Давление в разрядной камере 0,3 торр, мощность 20 Вт; б) Фотоизображение собирающей части Ленгмюровского зонда при взаимодействии с пылевыми частицами

разряде и в ВЧ разряде в условиях микрогравитации описаны в работах [10-13]. На рисунке 6 показана собирающая поверхность зонда и область свободная от пылевых частиц. Как показали результаты, в присутствии пылевых частиц в плазме наблюдается увеличение температуры электронов. Увеличение энергии электронов после инъекции пылевых частиц при одинаковых разрядных условиях была описана в работах [14, 15] и выявлено в результате численного моделирования [16].

Результаты измерения распределения температуры электронов буферной и пылевой плазмы гелия и смеси гелия с малым количеством аргона показаны на рисунке 4.

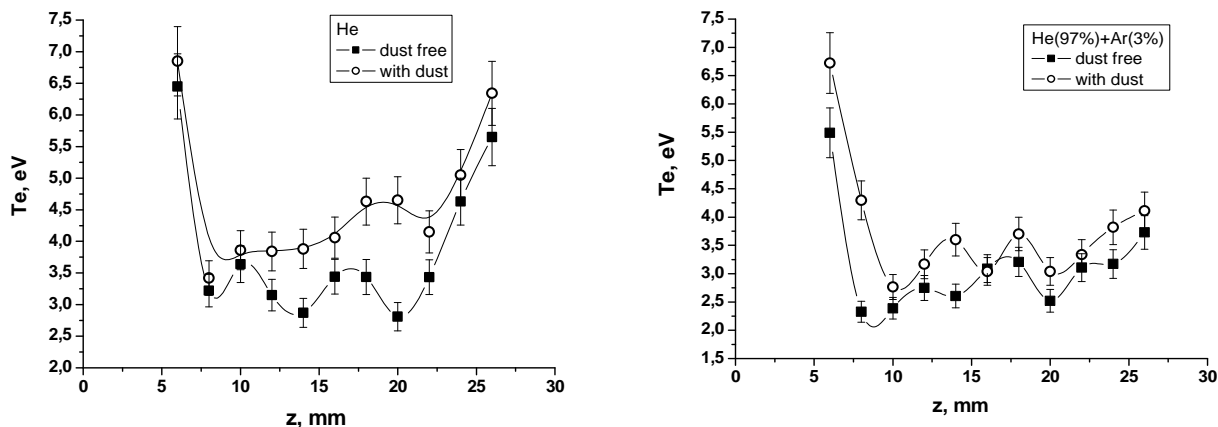


Рисунок 4 – Аксиальное распределение температуры электронов плазмы в межэлектродном пространстве в чистом He и в смеси He+Ar без пылевых частиц и присутствии пылинок. Давление в разрядной камере 0,3 торр, мощность 20 Вт

**Заключение.** В работе исследована температура электронов пылевой и буферной плазмы газового разряда в смесях инертных газов (гелий+аргон) в ВЧЕР разряде. С помощью оптико-спектрального метода диагностики и на основе спектральных линий плазмообразующих газов определены температура электронов в зависимости от давления газов и мощности разряда в пылевой и буферной плазме аргона, гелия и их смесей. Зондовым методом измерено аксиальное распределение температуры электронов в буферной плазме ВЧ разряда в гелие и в смеси гелия с аргоном. Результаты измерения показывают резкое увеличение температуры электронов в приэлектродных областях по сравнению с областью однородной плазмы где наблюдается относительно равномерное распределение температуры электронов. Обнаружено, что с добавлением малого количества аргона в основной газ гелий, температура электронов уменьшается, что в свою

очередь существенно сказывается на свойствах плазменно-пылевых образований как структура, заряд и среднее межчастичное расстояние.

*Работа была выполнена при поддержке грантов Министерства Образования и Науки Республики Казахстан.*

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maiorov S.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., Dosbolayev M.K. Physics of plasmas 15, 093701 (2008).
- [2] Ramazanov T.S., Jumabekov A.N., Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K., Jumagulov M.N. Phys. Plasmas. – 2012. №19. P. 023706.
- [3] Wattieau G., Boufendi L. Phys. Plasmas 19, 033701 (2012).
- [4] Usenov Ye.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Dosbolayev M.K. EPL, 105 15002 (2014).
- [5] Thomas E. jr., Avinash K., Merlino L. Phys. Plasmas, (2004) 1770.
- [6] Klindworth M., Piel A., Melzer A., Konopka U., Rothermel H., Tarantik K., Morfill G.E. Phys. Rev. Lett., 93 (2004) 195002.
- [7] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Usenov Ye.A., Dosbolayev M.K., Masheeva R.U. Contrib. Plasma Phys. 53, No. 4-5, 419 – 425 (2013).
- [8] Bouchoule A., Boufendi L. Plasma Sources Sci. Technol. 3 292-301(1994).
- [9] Klindworth M., Arp O., Piel A. Review of Scientific Instruments 78, 033502 (2007).
- [10] Akdim M.R., Goedheer W.J. Phys. Rev. E 67, 066407 (2003).

#### REFERENCES

- [1] Maiorov S.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., Dosbolayev M.K. Physics of plasmas 15, 093701 (2008).
- [2] Ramazanov T.S., Jumabekov A.N., Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K., Jumagulov M.N. Phys. Plasmas. – 2012. №19. P. 023706.
- [3] Wattieau G., Boufendi L. Phys. Plasmas 19, 033701 (2012).
- [4] Usenov Ye.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Dosbolayev M.K. EPL, 105 15002 (2014).
- [5] Thomas E. jr., Avinash K., Merlino L. Phys. Plasmas, (2004) 1770.
- [6] Klindworth M., Piel A., Melzer A., Konopka U., Rothermel H., Tarantik K., Morfill G.E. Phys. Rev. Lett., 93 (2004) 195002.
- [7] Dzhumagulova K.N., Ramazanov T.S., Usenov Ye.A., Dosbolayev M.K., Masheeva R.U. Contrib. Plasma Phys. 53, No. 4-5, 419 – 425 (2013).
- [8] Bouchoule A., Boufendi L. Plasma Sources Sci. Technol. 3 292-301(1994).
- [9] Klindworth M., Arp O., Piel A. Review of Scientific Instruments 78, 033502 (2007).
- [10] Akdim M.R., Goedheer W.J. Phys. Rev. E 67, 066407 (2003).

### ПЛАЗМА КӨРСЕТКІШІНІҢ ДЕҢГЕЙІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ КӨМІРҚЫШҚЫЛ НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ СИНТЕЗДЕЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

**С. А. Оразбаев, Е. А. Усенов, Т. С. Рамазанов, М. Қ. Досболаев, А. У. Утегенов**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** наночастицы, пылевая плазма, наноматериалы, газовые разряды.

**Аннотация.** Жұмыста ЖЖ разрядта инертті газдар (гелий+аргон) қоспасында буферлі және тозаңды плазманың электрондар температурасы анықталған. Оптика-спектрлік әдіс және плазма түзуші газдардың спектрлік сызықтары негізінде аргон, гелий және олардың қоспасы буферлі және тозаңды плазманың электрондар температурасының газ қысымы мен разряд қуатына тәуелділігі алынды. Электрлік зонд әдісімен ЖЖ разрядта гелий мен гелий және аргон қоспасы буферлі плазмасының электрондар температурасының аксиал бағыттағы таралуы есептелген. Зерттеу нәтижелері біртекті плазмалық облыстарға қарағанда электрод маңайындағы облыста электрондар температурасы күрт өсетіндігі анықталған. Негізгі газ гелийге аздап аргон газын қосқанда электрондар температурасы кемітіні анықталған және бұл өз кезегінде плазмалы-тозаңды түзілімдердің құрылымдық қасиеттері, заряды және орташа бөлшектердің ара-қашықтығы сияқты қасиеттеріне әсер етеді.

*Поступила 25.02.2015 г.*

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 9.06.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.