

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины

Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова

**Ф и з и ч е с к и й   ф а к у л ь т е т**

70 - я отчетная  
студенческая научная конференция  
Одесского национального  
университета имени И.И. Мечникова

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Печатается по решению  
Ученого Совета физического факультета

Редактор - доктор ф.-м.н. Ваксман Ю.Ф.

24-26 апреля 2014 г.

О д е с с а

# СЕКЦИЯ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

(кафедра экспериментальной физики)

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ПОЛУЧЕННЫХ В РАЗНЫХ СРЕДАХ

Бак А.Ю

Научный руководитель – доцент Скобеева В.М.

Необычные свойства наночастиц серебра использовали еще стекловары времён Римской империи в качестве красителей. Наночастицы (НЧ) серебра обладают полосой поверхностного плазмонного резонанса в оптической области спектра. НЧ серебра используют в медицине как биосенсоры для диагностики даже отдельных клеток, также данные частицы могут взаимодействовать с веществом и усиливать или гасить флуоресценцию.

НЧ серебра можно получить такими методами:

1. Цитратный (Туркевича) метод получения НЧ серебра – нитрат серебра восстанавливают кипячением в водном растворе цитрата натрия, который является одновременно и восстановителем и стабилизатором, при нагревании раствора и окислении цитрат-иона образуется ацетодикарбоновая и итаконовая кислоты которые адсорбируются на поверхности частиц и контролируют их рост.

2. Синтез НЧ серебра восстановлением глюкозой заключается в добавлении в раствор нитрата серебра такой же объем восстановителя и доведение рН до заданного значения раствором аммиака, и последующее нагревание.

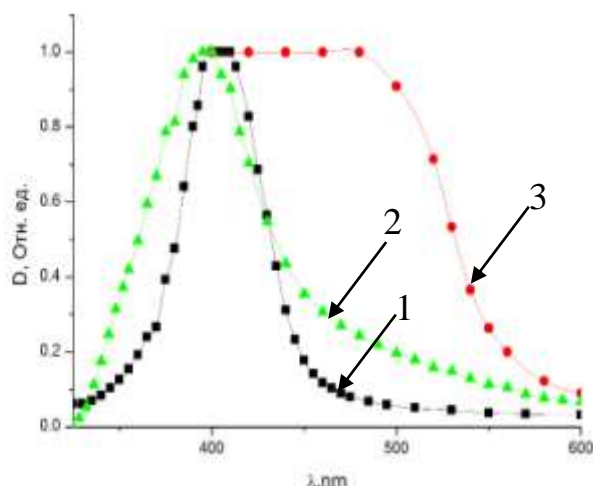


Рис.1. Спектры поглощения 1:НЧ серебра синтезированные цитратным методом; 2:НЧ серебра синтезированные глюкозой; 3:Протаргол (медицинский препарат на основе коллоидного серебра).

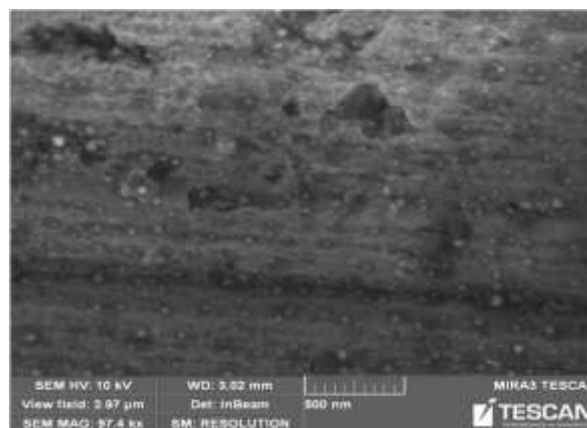


Рис.2. Изображение НЧ серебра, полученное в растровом электронном микроскопе. Как видно с рисунка полученные НЧ сферической формы, с узким распределением по размерам.

[1] Ю.А Крутяков, А.АКудринский, А.Ю.Оленин, Г.В. Лисичкин . Успехи химии «Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы.

## **Исследование комбинационного рассеяния света на наночастицах CdS различной концентрации.**

*Бубелич В. А.*

*Научный руководитель – кандидат наук Зубрицкий С. В.*

Кристаллы CdS имеют широкое применение в электронике поэтому их изучение и выявление новых свойств и параметром имеет научный интерес. Исследования показали, что наночастицы различной величины имеют различные свойства. Но было проведено мало экспериментов по исследованиям связанных с концентрацией данных частиц и нету достоверных моделей описывающих свойства зависящие от их концентрации.

В данной работе рассматриваются наночастицы синтезированные химическом методом в желатиновой матрице 5 % концентрации желатины. Были получены несколько образцов путем реакции  $H_2S$  с  $Cd(NO_3)_2$ , температура выбиралась с точки зрения эффективной растворимости  $H_2S$  в воде ( порядка  $T=40-45^{\circ}C$ ). Концентрации реагирующих веществ выбирали постоянным изменяли только концентрацию реагирующей соли в желатине. Полученные образцы промыли и подготовили к измерениям на установках.

Полученные образцы будут измерены на спектрометрах для изучения края поглощения и оценки средней величины наночастиц. Так же будут померены спектры рамановского рассеяния, для измерения среднего расстояния, а так же оценки их среднего размера.

По полученным результатам будут построены модели взаимодействия между наночастицами в зависимости от их концентрации, а так же от их размеров и среднего расстояния между ними. А так же будут исследованы обнаруженные свойства при исследовании спектра рамановского рассеяния.

Список литературы :

1. В.А. Сминтина, В.М. Скобеєва, М.В. Малущин Вплив границі розділу на оптичні та люмінесцентні властивості квантових точок сульфїду кадмію у полімері, Україна, Одесса, с.350-358 (2011).
2. Кочубей, В. И. Люминесценция полимерных композитных материалов с наночастицами CdS — 2010. — Т. 44, № 2. — С. 181-192.

# Структурные и оптические свойства наноструктур ZnO/Au и пористого Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au

*Ватаман В.В., Залеская А.Ю.*

*Научные руководители – докт. наук Смынтина В.А.,  
канд. наук Витер Р.В.*

В данной работе были рассмотрены оптические свойства наноструктур пористого Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и тонких плёнок ZnO до и после нанесения на их поверхность золота.

Оксид цинка наносился на кремниевые и стеклянные подложки методом атомно-слоевого осаждения (ALD) [1]. Толщина плёнок составляла 50 нм. Слой золота наносился методом напыления из газовой фазы (PVD) и толщина слоя варьировалась в пределах от 2,5 до 30 нм.

Пористый Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> получали методом сферной литографии, после чего его покрывали слоем золота при помощи PVD метода [2].

Структурные свойства тонких плёнок ZnO/Au и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au исследовались при помощи атомно-силовой микроскопии (АСМ), рентгеноструктурном анализе и электронной микроскопии. Установлены фазовый состав, шероховатость поверхности и размеры пор.

Установлено, что величина шероховатости поверхности ZnO увеличилась после нанесения на его поверхность золота, а размеры пор Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> уменьшились после нанесения золота.

Оптические свойства данных наноструктур исследовались методом фотолюминесценции и оптической спектроскопии.

Установлено, что нанесение золота приводило к возникновению пиков поглощения характерных поверхностному плазмонному резонансу и к полному гашению фотолюминесценции Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZnO.

[1] Adib Abou Chaaya, Roman Viter, Mikhael Bechelany, Zanda Alute, Donats Erts, Anastasiya Zalesskaya, Kristaps Kovalevskis, Vincent Rouessac, Valentyn Smyntyna and Philippe Miele, Evolution of microstructure and related optical properties of ZnO grown by atomic layer deposition // Beilstein J. Nanotechnol., 4 (2013) 690–698

[2] Tushar Kumeria, Dusan Losic, Reflective interferometric gas sensing using nanoporous anodic aluminium oxide (AAO), Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters, 5 (10-11) (2011), 406-408.

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА НАНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА КАДМИЯ НА ИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

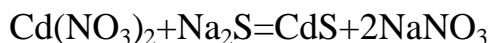
*Вергелес К.*

*Научные руководители – доктор наук Смынтына В.А., канд. наук Скобеева В. М.*

В связи с развитием современной науки и техники возникает необходимость поиска путей минимизации современных приборов и устройств. Поэтому целесообразно использование материалов с размерами порядка нанометров. Мир объектов, объединенных определением „нано”, очень широк.

Особый интерес представляют исследования неравновесных процессов в полупроводниковых наноразмерных объектах. Это связано с тем, что поглощение и излучение в этих материалах связано с учетом в этих процессах квантово-размерных эффектов.

В данной работе были получены и изучены нанокристаллы CdS в желатиновой матрице при разных значениях pH. Исследуемые нанокристаллы были получены химическим методом из растворов солей кадмия (нитрат кадмия) и серы (сульфид серы) в коллоидном растворе желатины [1]. Образование частиц CdS происходит в результате обменной реакции:



Значения pH растворов изменялись путем добавления в водный раствор желатины с нитратом кадмия раствора щелочи (NaOH) или соляной кислоты до получения требуемых значений pH и измерялись с помощью иономера И-160М.

Используя методом коллоидной химии с применением желатины в качестве стабилизатора, были получены нанокристаллы CdS, обладающие яркой люминесценцией с максимум в области  $\lambda = 720$  нм. Также было выявлено, что pH раствора влияет на размер нанокристаллов, а именно, наблюдается уменьшение среднего размера НК при уменьшении значения pH.[2]

Установлено, что формирование нанокристаллов различного размера обусловлено изменением кислотно-щелочного баланса в результате гидролиза солей компонентов, а люминесценция в длинноволновой области спектра, связана с дефектами на поверхности нанокристаллов CdS, а именно, с вакансиями серы.

- [1]. В.В. Ушаков, А.С. Аронин, В.А. Караванский, А.А. Гиппиус. Метод формирования в матрице силикатного стекла полупроводниковых кристаллитов//Физика твердого тела. 2009. том 51. вып. 10. С. 2036-2040.
- [2]. O.V. Salata, P.J. Dobson, S. Sabesan, P.J. Hull, J.L. Preparation of nanoparticulate CdS films suitable for opto-electronic device applications // Hutchison. Thin Solid Films - 2000. P. 235-238.

## СТРУКТУРНІ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОЛАМІНАТІВ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$

*Залеська А.Ю., Ватаман В.В.*

*Наукові керівники – доктор фізико-математичних наук, професор Сминтина В.А., кандидат фізико-математичних наук Р.В. Вітер*

Наноламінати – нові матеріали на основі багатошарової двох компонентних структур становлять великий інтерес через їх унікальні властивості, такі як висока діелектрична проникність і нові механічні, електричні та оптичні властивості.

В даній роботі були досліджені структурні та оптичні властивості наноламінатів  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ . Наноламінати  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  були виготовлені за допомогою методу атомного пошарового осадження (Atomic layer deposition) [1].

Структурні властивості отриманих зразків досліджувалися за допомогою скануючої електронної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу та атомно-силової мікроскопії [2].

Оптичні властивості були досліджені за допомогою методів фотолюмінесценції (ФЛ) (в діапазоні довжин хвиль 370-800 нм) і оптичного пропускання (в діапазоні 300-1100 нм). Комплексне вивчення властивостей моношарів здійснювалося за допомогою метода еліпсометрії. Також були розраховані оптичні константи для монослоїв  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{ZnO}$ .

Ширина забороненої зони та положення піку екситонної фотолюмінесценції були зміщені в УФ-область при зменшенні товщини моношару, що пов'язано з квантово-розмірними ефектами.

1. Adib Abou Chaaya, Roman Viter, Mikhael Bechelany, Zanda Alute, Donats Erts, Anastasiya Zalesskaya, Kristaps Kovalevskis, Vincent Rouessac, Valentyn Smyntyna and Philippe Miele, Evolution of microstructure and related optical properties of ZnO grown by atomic layer deposition // Beilstein J. Nanotechnol., 4 (2013) 690–698
2. Adib Abou Chaaya, Roman Viter, Ieva Baleviciute, Mikhael Bechelany, Arunas Ramanavicius, Zanda Gertnere, Donats Erts, Valentyn Smyntyna and Philippe Miele, Tuning Optical Properties of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  Nanolaminates Synthesized by Atomic Layer Deposition, J. Phys. Chem. C, 118 (7) (2014) 3811–3819

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Кирик Ю.В.

Научный руководитель – кандидат физ.-мат. наук Яцунский И.Р.

Необычные свойства пористого кремния обусловлены образованием при травлении кристаллического кремния системы кристаллитов с размерами от единиц до десятков нанометров сферической или нитевидной формы.

Исследования комбинационного рассеяния является одним из наиболее перспективных методов, позволяющих выяснить детали структуры пористого кремния и определить ее характерные размеры.

Целью исследования было: 1)изучить Рамановский спектр пористых структур кремния, полученных методом химического неэлектролитического травления при разных условиях; 2)определить размеры частиц по уширению и смещению основного пика Рамановского спектра; 3)определить положение одно и много фононных пиков.

В кристаллитах достаточно малого размера фононы описываются суперпозицией плоских волн, что приводит к нарушению правил отбора по волновому вектору. В результате происходит уширение линии и сдвиг ее максимума в низкочастотную сторону.

Для лучшего согласования расчетов с экспериментально полученными спектрами была использована функция дисперсии фононов вида:

$$\omega(q) = 20[1 - \cos(qa)] + 520$$

А интенсивность Рамановского спектра описывается выражением:

$$I = \int_0^1 \frac{\exp(-q^2 d^2 / 16\pi^2) dq}{[\omega - \omega(q)]^2 + [W_0/2]^2},$$

где  $W_0$ -естественная ширина линии.

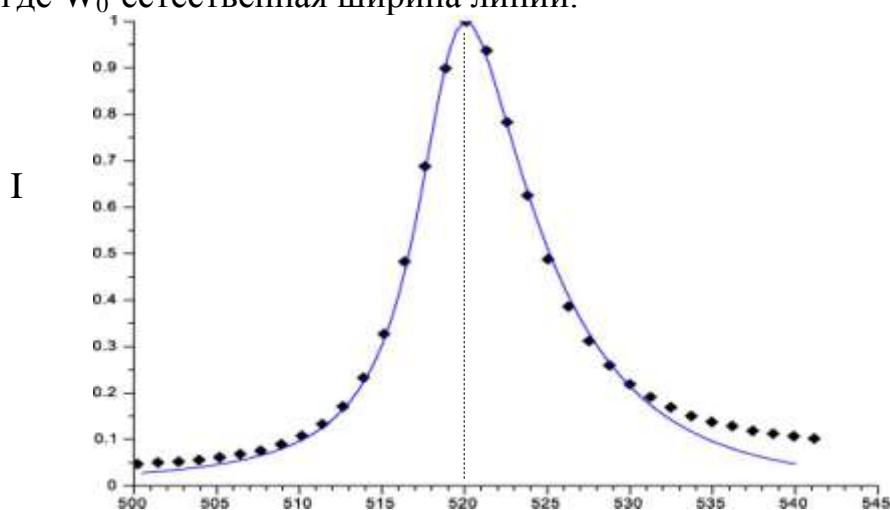


Рис.1.  
Сопоставление экспериментально полученного и теоретически рассчитанного Рамановского спектра.

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ZnTe:Cr

Цыценко В.В.

Научный руководитель – кандидат наук Нищук Ю.А.

Кристаллы халькогенидов цинка легированные переходными металлами, широко используются в качестве активных сред и затворов для лазеров, излучающих в инфракрасной области спектра. Кристаллы ZnTe, легированные переходными элементами также могут быть использованы в качестве фоторефракторов и опто-оптических переключателей. Поэтому исследование оптических свойств кристаллов теллурида цинка, легированных хромом является актуальным.

В данной работе были исследованы оптические свойства кристаллов ZnTe: Cr, полученных диффузионным легированием исходно нелегированных кристаллов ZnTe, полученных методом свободного роста. Диффузионный процесс осуществлялся из напыленного на одну из больших поверхностей металлического слоя хрома в атмосфере Ar+He при температурах 1020-1170 К. Длительность диффузионного процесса составляла 5 часов. Полученные кристаллы ZnTe: Cr имели темно-коричневую окраску в отличие от красно коричневой окраски нелегированных кристаллов.

Исследовано оптическое поглощение в видимой и ИК-области спектра. Нелегированные кристаллы ZnTe при T=77 К характеризуются краем поглощения на 2.28 эВ. Показано, что при легировании хромом край поглощения смещается в сторону меньших энергий. По величине смещения определена концентрация примеси хрома. Максимальная концентрация примеси хрома составляет  $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  в кристаллах, полученных при 1170 К.

В видимой и ближней ИК области в кристаллах ZnTe:Cr наблюдается серия линий поглощения, которые обусловлены внутрицентровыми оптическими переходами из основного  $^5T_2(D)$  - состояния на состояния термов  $^1I$ ,  $^1G$ ,  $^3G$ ,  $^3F$ ,  $^3P$  и  $^3H$  иона  $\text{Cr}^{2+}$ .

В средней ИК-области наблюдается единственная полоса поглощения, обусловленная переходом из основного  $^5T_2(D)$ -состояния на ближайшее возбужденное состояние  $^5E(D)$  иона  $\text{Cr}^{2+}$ .

Наличие полос поглощения в видимой области позволило определить диффузионные профили примеси хрома и рассчитать коэффициенты диффузии  $D$  примеси хрома в кристаллах ZnTe при температурах 1020-1170 К. При температуре отжига кристаллов 1170 К коэффициент диффузии хрома составляет  $2 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ . По температурной зависимости  $D(T)$  определены коэффициенты  $D_0=3 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{с}$  и  $E_a=3.28 \text{ эВ}$  в уравнении Аррениуса.

На основе полученных результатов и выполненных расчетов энергетических состояний иона  $\text{Cr}^{2+}$  идентифицирована и построена схема оптических переходов, ответственных за поглощение света в кристаллах ZnTe:Cr.



## **СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ** **(кафедра общей и химической физики)**

### **ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАНИЯ ГОРЮЧЕГО НА КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ГАЗОВЗВЕСИ ЧАСТИЦ**

*Барабанова В.В.*

*Научный руководитель канд. наук Вовчук Я.И.*

В условиях производства зачастую имеют место условия, когда в воздухе вместе с взвешенной горючей пылью присутствует некоторое количество горючего газа. Такие дисперсные системы называются гибридными газовзвесями. В Институте горения и нетрадиционных технологий ОНУ разработана теоретическая модель, которая позволяет рассчитывать критические условия и времена задержки воспламенения гибридных газовзвесей. В работах, выполненных ранее на основе этой модели, предполагалось, что выгорания твердого и газообразного горючих, а также окисляющего газа, пренебрежимо малы. В данной работе, мы хотим определить, как изменяются критические условия воспламенения, если учитывать выгорание горючего газа и газообразного окислителя.

Целью работы является проведение компьютерного эксперимента для выявления качественных особенностей динамики изменения температур частиц горючего и газовой фазы, а также скоростей тепловыделения гомогенной и гетерогенной реакций на пределе самовоспламенения гибридной газовзвесей частиц твердого горючего в зависимости от макроскопических и кинетических параметров дисперсной системы.

В работе приведены результаты расчетов, выполненных в следующих предположениях: 1. гетерогенная реакция имеет первый порядок по окислителю, а суммарный порядок гомогенной реакции равен двум; 2. влияние излучения пренебрежимо мало.

Качественные особенности влияния выгорания окислителя и горючего газа на соотношения скоростей тепловыделения при саморазогреве гибридной газовзвесей изучены для широкого диапазона изменения соотношения характерных времен гомогенной и гетерогенной реакций, отношений энергий активации этих реакций и значений коэффициента избытка окислителя по отношению к горючему газу. Проанализировано также влияние относительной массовой концентрации твердого горючего при различных значениях известного в теории теплового взрыва параметра  $\gamma$ , который определяет степень влияния выгорания на характер разогрева системы. Определены границы областей изменения параметров рассматриваемой дисперсной системы, где необходимо учитывать влияние выгорания компонентов на критические условия ее воспламенения.

# ИСПАРЕНИЕ ОДИНОЧНЫХ КАПЕЛЬ НИЗШИХ СПИРТОВ

Батурина М.В.

Научный руководитель – доцент Конейка А.К.

Одним из широко применяемых способов ослабления влияния антропогенного фактора на экологию нашей планеты является переход на альтернативные, возобновляемые виды топлив, значительный объем потребления которых приходится на транспортный сегмент мировой экономики. В последнее время, благодаря появлению новых относительно дешевых технологий [1], значительно возрос интерес к исследованию так называемых биотоплив второго поколения, т.е. производимых из непродовольственного сырья. Наиболее перспективными в этом отношении являются представители ряда низших спиртов: этанол и бутанол.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса испарения в воздухе одиночных капель этанола и бутанола, а также их эквиобъемной смеси при давлении 1 атм. и температурах окружающей среды (330-420К).

Экспериментальные исследования проводились с использованием метода подвешенной капли. Разработанная программа захвата, распознавания и обработки изображения капли, исследуемых топлив позволила усовершенствовать методику измерений, и оценить величину константы испарения капель, анализируя зависимость квадрата диаметра капли  $\left(\frac{d}{d_0}\right)^2$  от  $\frac{t}{d_0^2}$ .

Величина константы испарения для капель этанола оказалась несколько выше, чем для бутанола. С ростом температуры среды константа испарения увеличивается. Экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчета константы испарения для близких гомологов по известному выражению, приведенному в работе [2]:

$$K = \chi \frac{4Nu\lambda}{\rho_{жс} c_{pn}} \ln \frac{r_{исп}/c_{pn} + T_z - T_{нов}}{r_{исп}/c_{pn}}$$

Такое согласование позволяет сделать положительный вывод о достоверности методики, и дает основания применять ее для исследования новых, малоизученных биотоплив, а также их смесей с минеральными горючими.

1. Морские водоросли переделанные в бутанол. <http://energypower.info/item>
2. Сборник задач по теории горения: Учебное пособие для вузов/Под ред. В. В. Померанцева - Л.: Энергоатомиздат. 1983. – 152 с.

## **ВЗРЫВЧАТОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЫЛИ**

*Буланин Ф.К.*

*Научный руководитель – доктор наук Шевчук В.Г.*

В работе представлены результаты разработки экспериментальной методики определения взрывных характеристик горючей пыли. Основанием для проведения работы явилось то обстоятельство, что, как было показано нами экспериментально, существующая стандартная (гостированная) установка, не обеспечивает необходимой дезагрегации исходного порошка и равномерного запыления реакционного объема. Поэтому указанная установка была нами модифицирована путем изменения блока создания пыли, блока поджига и блока автоматической регистрации зависимости давления от времени.

В стандартной установке использовались пневмоимпульсный способ выноса порошка из питателя, расположенного в верхней части взрывного сосуда, а зажигание осуществлялось с помощью раскаленной спирали. В нашей же методике используется способ дезагрегации и распыла высокоскоростными струями из питателя специальной конструкции, расположенного в нижней части взрывного сосуда, а зажигание осуществляется электрической искрой в центре сосуда.

Исследование, проведенное с металлическими порошками различной дисперсности, показало достаточную дезагрегацию порошка и запыление реакционного объема. Это делает возможным многопараметрические научные исследования взрывчатости пыли в надежно контролируемых условиях.

# КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СВЕТИМОСТИ ЗОНЫ ГОРЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО ГОРЮЧЕГО

*Лотоцкая А.В.*

*Научный руководитель – доктор физ.-мат. наук Полетаев Н.И.*

В настоящей работе анализируются возможности метода автокорреляционной функции для определения времен горения частиц дисперсного горючего [1-2]. Суть метода состоит в том, что интегральная интенсивность излучения, испускаемого пламенем, является суммой интенсивностей от каждой горящей частицы и поэтому пропорциональна их числу. Статистическая независимость времени воспламенения частицы и оптическая прозрачность пламени, позволяют строить автокорреляционную функцию для интенсивности пламени как сумму корреляционных функций для всех горящих частиц и таким образом определять время горения индивидуальной частицы горючего в газозвеси. Необходимым условием применения метода является оптическая прозрачность пламени.

В работе [2] излучение зоны горения факела металлических частиц с характерным размером  $d = 5$  мкм с помощью собирающей линзы фокусировалось на входе фотоэлектронного умножителя. Электрический сигнал регистрировали аналого-цифровым преобразователем. Полученные по методу корреляционной функции времена горения частиц железа и циркония –  $t = 4-6$  мс хорошо согласуются с результатами измерений времен горения частиц этих металлов методов фотометрирования зоны горения факела.

Однако, регистрируемые в работе [2] коррелограммы имеют постоянную составляющую, природа которой осталась не выясненной. В настоящей работе проведен теоретический анализ влияния полидисперсности горючего на вид автокорреляционной функции и определяемые по этому методу времена горения. Разные размеры частиц приводят к разным временам горения и светимости частиц, что, по мнению автора, должно отразиться на форме автокорреляционной функции и на результатах измерения времени горения частиц в газозвеси. Анализируется влияние параметров функции распределения частиц по размерам на вид автокорреляционной функции и на интерпретацию результатов измерений времени горения частиц по этому методу.

[1] V.N.Kornilov, A.V.Korobko, E.N. Kondratyev A correlation function method of recovering the combustion law parameters for particles burning in optically thin dust flames// Combustion and Flame – 2006. – Volume 146, No.3. –P.530-540

[2] Полетаев Н.И. Определение времени горения частиц горючего в осесимметричном ламинарном факеле // Химическая и радиационная физика. Том 4 – М.: Торус Пресс , 2011. – С.281-285.

## **ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПО ПЛЕНКАМ ТОПЛИВА.**

*Русева М.П.*

*Научный руководитель – доцент Головки В.В.*

В работе приведены результаты экспериментальных исследований процесса распространения пламени по тонким пленкам спиртов, нанесенных на металлические проволочки. Изучалось влияние теплофизических свойств горючих и подложек, а также направление распространения пламени на скорость волны горения.

Показано, что при распространении пламени по пленкам изопропилового и амилового спиртов на медных и алюминиевых проволочках скорость пламени монотонно уменьшается с увеличением диаметра и зависит от теплоемкости материала подложек. Это обусловлено рассеянием тепла, подводимого от факела пламени в массу проволоки и уменьшением температуры пленки горючего. Скорость распространения пламени по пленкам изопропилового спирта выше, чем по пленкам амилового, имеющего более высокую удельную теплоту испарения.

Обнаружено, что при увеличении угла наклона проволочки относительно вектора гравитации скорость пламени практически не меняется, несмотря на уменьшение площади соприкосновения факела и проволочки. Это связано с тем, что при кондуктивном режиме распространения пламени скорость определяется температурой вблизи кромки факела, которая остается постоянной при изменении угла наклона проволоки.

При распространении по пленкам амилового спирта при увеличении угла наклона подложки от  $70^\circ$  до  $90^\circ$  наблюдалось незначительное увеличение скорости пламени, обусловленное гидродинамическим течением пленки горючего, вызванным градиентом поверхностного натяжения.

[1] Головки В.В., Баранецкий В.К. Разогрев подложки при распространении пламени по плёнке горючего// Физика аэродинамических систем. 2011, вып. 48, с. 62-67.

[2] Коржавин А.А., Вьюн А.В. Свободно-конвективный режим распространения пламени над пленкой топлива на подложке// Физика горения и взрыва, 2007, т.43, №5, с. 21-30.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ГАЗОВЗВЕСЕЙ ЧАСТИЦ УГЛЯ

*Фудулей Т.А.*

*Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Вовчук Я.И.*

Гибридной газозвесью называют такую дисперсную систему, в которой, в воздухе, вместе со взвешенной горючей пылью, присутствует некоторое количество горючего газа.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование зависимости времени задержки воспламенения газозвеси частиц донецкого длиннопламенного угля с небольшими добавками метана от массовой концентрации твердого горючего.

В работе представлены результаты первого этапа накопления экспериментальных данных. Сопоставлены полученные в опыте значения времен задержки воспламенения гибридных и однокомпонентных газозвесей частиц угля в воздухе.

Показано, что в условиях проведения опытов с повышением содержания метана в воздухе время задержки воспламенения гибридной газозвеси по сравнению со взвесью частиц угля в воздухе заметно увеличивается. Известно, что временные характеристики протекания предвоспламенительного периода для газозвесей определяются конкурирующим взаимодействием двух наиболее важных факторов: разогрева газовой среды и выгорания окислителя [1]. Тепло, которое выделяется при выгорании метана, разогревает газовую среду, что должно способствовать воспламенению коксового остатка. В то же время, взаимодействие метана с воздухом заметно уменьшает содержание кислорода в окисляющем газе, тем самым затрудняя воспламенение твердого остатка угля. Проведенные оценки показали, что в исследованном диапазоне концентраций угольной пыли коэффициент избытка окислителя газозвеси в расчете только на летучие компоненты угля существенно меньше единицы, так как использованный в опытах уголь содержит большое количество летучих (35% по массе). Добавление метана в газозвесь приводит к ещё большему снижению начальных значений коэффициента избытка окислителя. Поэтому выгорание окислителя в процессе воспламенения взвеси может проявляться настолько сильно, что вызывает увеличение времени задержки воспламенения гибридной газозвеси, которое наблюдается в эксперименте.

Установлено, что смеси уголь-метан-воздух воспламеняются при концентрациях метана, значительно меньше нижнего концентрационного предела воспламенения метана в воздухе, который составляет 5,4% по объему.

[1] Лисицын В.И., Руманов Э.Н., Хайкин Б.И. О периоде индукции при воспламенении совокупности частиц. // ФГВ. 1971, Т.7, № 1.-С. 3-9.

# СЕКЦИЯ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

(кафедра ФТТ и ТТЭ)

## ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИОННО-УПОРЯДОЧЕННЫХ СЛОЕВ *n*-ТЕТРАДЕКАНА

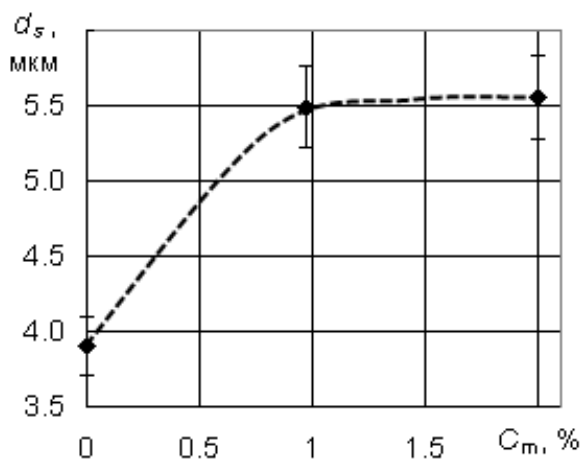
Берков А. А.

Научный руководитель - д. ф.-м. н. Б. А. Алтоиз

Образование вблизи твердой подложки структурированных эпитропно жидкокристаллических (ЭЖК) слоев в ряде немезогенов с анизометричной формой молекул приводит к заметному отличию физических свойств тонких прослоек жидкости от их свойств в «объемной» фазе [1]. Эти слои играют значительную роль в процессах диссипации энергии в узлах трения, работающих в режимах смешанной смазки, препятствуя сухому трению. Этим качеством моторных масел можно управлять легированием смазочного материала поверхностно-активным веществом (ПАВ), способствующего образованию ЭЖК слоя и влияющего на его свойства [2].

В данной работе методом щелевого световода переменной толщины исследовались структурные свойства ЭЖК тонких прослоек *n*-тетрадекана  $C_{14}H_{30}$  между металлическими подложками. Предельные углеводороды являются основой минеральных смазочных масел, потому такое исследование тонких пленок актуально и в практическом аспекте. Олеиновая кислота добавлялась в *n*-тетрадекан, массовой концентрацией ~ 1% и 2%.

На рисунке представлена зависимость толщины ЭЖК слоя от массовой концентрации вводимого ПАВ. Видно, что легирование *n*-тетрадекана олеиновой кислотой повышало толщину слоя, что объясняется наличием на подложке затравочного гомеотропно ориентированного монослоя молекул ПАВ, который способствует организации ЭЖК. В дальнейшем планируется аналогичное исследование других гомологов *n*-алканов.



1. Алтоиз Б.А.. Физика приповерхностных слоев жидкости / Б.А. Алтоиз, Ю.М. Поповский. Одесса: Астропринт. – 1996. – 153 с.

2. Кириян С. В. Влияние жидкокристаллической присадки на структурные характеристики приповерхностных ориентационно-упорядоченных слоев вазелинового масла / С. В. Кириян, Б. А. Алтоиз, Е. А. Шатагина // ИФЖ. – 2013. – Т.86, №2. – С.371-374.

# НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ ЦЕНТРІВ У ГАЗОВИХ СЕНСОРАХ НА ОСНОВІ КРЕМНІЄВИХ P-N ПЕРЕХОДІВ

*Житнюк Н. В.*

*Науковий керівник – доктор фіз.-мат. наук Птащенко О.О.*

Досліджено вплив ізохронного відпалу кремнієвих р-п переходів на їх характеристики як газових сенсорів. Вимірювалися стаціонарні ВАХ р-п переходів, що знаходилися в повітрі, а також в парах аміаку. Наявність парів аміаку в навколишній атмосфері значно підвищувала прямий і зворотний струми досліджених р-п переходів. Даний ефект можна пояснити утворенням поверхневого каналу з електронною провідністю під дією електричного поля іонізованих адсорбованих донорних молекул. Чутливість р-п переходів як сенсорів парів аміаку визначалась за виразом

$$S(V) = \frac{\Delta I}{\Delta P},$$

(1)

де  $\Delta I$  – зміна струму, вимірюваного при подаванні на зразок напруги  $V$ , при зміні парціального тиску аміаку в навколишній атмосфері на  $\Delta P$ .

Для підвищення чутливості зразки оброблялися витримкою у концентрованих вологих парах аміаку з парціальним тиском 12 кПа. Відпал проводився послідовною витримкою зразків протягом фіксованого проміжку часу  $\Delta t$  при температурах 30 – 100<sup>0</sup>С з інтервалом 10<sup>0</sup>С. Після кожної стадії відпалу зразок охолоджувався до температури 23<sup>0</sup>С, і вимірювалися ВАХ в повітрі та в парах аміаку з фіксованим парціальним тиском.

В результаті відпалу зменшувалась газова чутливість р-п переходів, що можна пояснити розпадом донорів  $D_t$ , які вводилися при обробці. Зменшення поверхневої щільності донорів вело до спадання концентрації електронів у поверхневому каналі, що спричиняло зниження поверхневого струму при фіксованому значенні прикладеної напруги. Характеристичний час розпаду донорів  $D_t$  на кожній стадії відпалу визначався як

$$\tau_i = \left( \frac{1}{I} \times \frac{dI}{dt} \right)^{-1}.$$

(2)

На основі виразу (2) знаходилася залежність часу розпаду  $\tau_i$  донорів від температури відпалу  $T_i$ .

Наші експерименти показали, що час розпаду донорів  $D_t$  зменшувався при підвищенні температури відпалу. Даний ефект можна пояснити наявністю потенціального бар'єру для розпаду вказаних донорів. В даному випадку температурна залежність часу розпаду донорів визначається формулою

$$\tau_i = \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{kT_i}\right),$$

(3)

де  $\Delta E$  – енергія термічної активації розпаду донорів. На основі формули (3) можна визначити висоту потенціального бар'єру для розпаду донорів  $D_t$ .

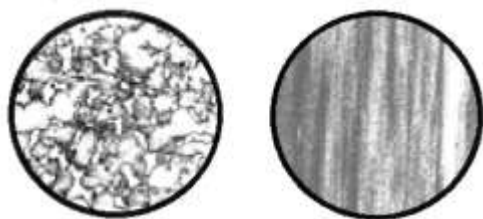


## СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ЕГО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

*Ионов Р.С., Семибратний Ю.А.*

*Научный руководитель – доктор наук Алтоиз Б.А.*

Создание полимерных композитных материалов (ПКМ) с заданными электрофизическими, теплофизическими и механическими свойствами, и управление ими - сложная и актуальная инженерная и технологическая задача. В работе эта задача решалась образованием анизотропного распределения ферромагнитных частиц наполнителя в ПКМ за счет отверждения последнего в магнитном поле [1]. При этом в материале образуются и фиксируются области с высокой концентрацией частиц наполнителя в виде «нитей».



Описаны методика получения анизотропных образцов и стенд для измерений их механических свойств.

Образцы в виде таблеток ( $\varnothing \sim 20$  и  $h \sim 1-2$  мм) с анизотропной структурой вырезались из отвержденных ПКМ (с перпендикулярной  $\perp$  и параллельной  $\parallel$  их плоскости ориентацией «нитей» из частиц порошка никеля). Контрольные (с изотропным распределением частиц наполнителя) - из ПКМ, отвержденного вне поля. Структура таких образцов определялась микроскопически и по рентгеновским фотографиям (рис.1)

Описана сконструированная и собранная установка для изучения влияния на механические свойства образцов концентрации наполнителя в них, типа анизотропии и методика измерений. Образец 2 размещается в обойме 3, жестко закрепленной на плите стенда. Величина деформации  $x$  образца, возникающая за счет точечного статического воздействия  $F$  шариком стержня динамометра 1 на его центр, фиксируется индикатором часового типа 4.



1 2 3 4

По экспериментальному графику зависимости  $F(x)$  для таблеток различной толщины устанавливаются предел упругости образцов, область текучести и др. Для сравнения аналогичные измерения проводятся с аналогичными по форме образцами из материалов (медь, латунь, алюминий, тефлон) с известными свойствами. Расчет модуля упругости осуществляется по известным теоретическим соотношениям [2], связывающим деформации упругой мембраны с величиной локальной нагрузки, приложенной нормально к ее центру.

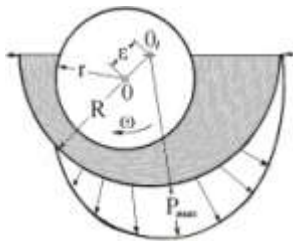
[1] Алтоиз Б.А. Электропроводность композита с анизотропной структурой / Алтоиз Б.А., Савин С.Н., Поляковская Н.А., Скоржевский А.В. // Физика аэродисперсных систем. – 2013. - №49. – С. 143–146.

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ РОТОРА В ПАРЕ ТРЕНИЯ

Кирничук А. С.

Научный руководитель – д. ф.-м. н. Б. А. Алтоиз

В гидродинамическом режиме трения, представляющим теоретический и практический интерес, за счет «масляного клина» эпюра давления в пленке смазки несимметрична [1], ротор «всплывает», не контактирует с обоймой и обычно «сухое» трение не реализуется. Радиальные колебания ротора в этом режиме характеризуются



эксцентриситетом его оси  $\varepsilon$  по отношению к оси обоймы. Иногда эти колебания неустойчивы, что существенно влияет на работу узла трения и всего механизма [2]. Устойчивость и параметры изменения  $\varepsilon$  - частота, амплитуда зависят от вязкости масляной прослойки, скорости сдвиговой деформации и стабилизирующего действия сил инерции в прослойке, а также массы ротора, его нагрузки и др.

Экспериментально исследовать эти колебания достаточно сложно.

В новом методе их изучения предлагается использовать сконструированный в ОНУ для исследования структурных особенностей микронных прослоек жидкости (в которых проявляется наличие ЭЖК слоев) оригинальный вискозиметр [3,4]. В нем основным элементом является цилиндрическая пара ротор – обойма и прослойка смазки между ними. При вращении обоймы свободно подвешенный ротор закручивается под действием момента вязких сил  $M_{тр}$ , который компенсируется квазиупругим моментом системы подвеса. Определяемый (по положению на шкале луча лазера, отраженного от размещенного на роторе зеркала) равновесный угол  $\varphi$  «закручивания» пропорционален скорости сдвиговой деформации  $\gamma$ , вязкости  $\mu$  прослойки, и обратно пропорционален ее толщине  $d_0 = (R-r)$  - разности радиусов цилиндров пары. Но в опытах [3,4] замечено, что величина  $\varphi$  испытывает малые колебания  $\delta\varphi$ . Они обусловлены описанными радиальными колебаниями и эксцентриситетом, уменьшающим номинальную  $d_0$  до величины  $d_{эфф} = d_0 - \varepsilon^2/d_0$ . Это вызывает периодические изменения  $M_{тр}$  и  $\delta\varphi$ , зависящие от  $\varepsilon^2$ . Следовательно, измерение  $\delta\varphi$  в реальном масштабе времени позволяет установить основные параметры колебаний разгруженного от радиальных усилий вертикального ротора. Заметим, что динамика такого ротора занимает особое место в теории масляных вибраций [5]. Связь с ними  $\delta\varphi$  и положена в основу экспериментального их изучения модифицированным, снабженным разработанным фоточувствительным устройством, вискозиметром. На шкале прибора в области равновесного  $\varphi$  размещен фотодиод с клиновидной диафрагмой. Перемещения по ней луча лазера вызывают изменение освещенности диода и переменное на нем напряжение  $U(t) \sim \delta\varphi(t) \sim F(\varepsilon^2)$ . Анализ и обработка соответствующего цифрового массива и позволяет установить искомые основные параметры вибраций ротора.

- 1 Бургвиц А.Г. Завьялов Г.А. Устойчивость движения валов в подшипниках жидкостного трения.// М.: «Машиностроение». 1964. -332 с.
- 2 Вибрации в технике. Колебания машин, конструкций и их элементов. Т.3/ Под ред. Ф. М. Диментберга и К. С. Колесникова// М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
- 3 Алтоиз Б.А. Асланов С.К., Бутенко А.Ф.// ФАС. – 2005. Вып.42. С.53-65.
- 4 Алтоиз Б.А. Кириян С.В., Шатагина Е.А. // ЖТФ. – 2010. – Т.80, № 10. – С.37-40.
- 5 Подольский М.Е. //Теория механизмов и машин. – 2009. - Т.7, № 1. – С. 42 – 59.

# ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ АТОМАМИ СІРКИ НА ГАЗОВУ ЧУТЛИВІСТЬ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ GaAs

*Хустик А.О., Яковенко Г. С.*

*Науковий керівник кандидат фіз.-мат. наук Маслєєва Н.В.*

Досліджено вплив режимів поверхневого легування атомами сірки на чутливість р-п переходів на основі GaAs як сенсорів парів води та аміаку. Легування здійснювалось витримкою зразків у 30% водному розчині  $\text{Na}_2\text{S}$  з різною тривалістю.

Вимірювалися стаціонарні вольт-амперні характеристики (ВАХ) прямого і зворотного струмів у повітрі та в парах аміаку з різними значеннями парціального тиску до та після легування.

ВАХ прямого струму р-п переходів в області струмів від 10 мкА до 10 мА, виміряні в повітрі, відповідали виразу

$$I(V) = I_0 \exp(qV/nkT), \quad (1)$$

де  $I_0$  – стала,  $q$  – заряд електрона,  $V$  – прикладена напруга,  $k$  – стала Больцмана,  $n \approx 2$  – коефіцієнт неідеальності,  $T$  – температура. ВАХ виду (1) можна пояснити рекомбінацією носіїв заряду на глибоких рівнях у збідненому шарі в об'ємі та (або) на поверхні р-п переходів.

Зростання прямих та зворотних струмів р-п переходів на основі GaAs в парах  $\text{NH}_3$  пояснюється формуванням поверхневого провідного каналу з електронною провідністю в р-області під дією електричного поля адсорбованих позитивних іонів аміаку.

Чутливість газових сенсорів визначалась за виразом

$$S = \Delta I / \Delta P, \quad (2)$$

де  $\Delta I$  – зміна струму р-п переходу при зміні парціального тиску аміаку на  $\Delta P$ . Поверхневе легування атомами сірки зменшувало прямий та зворотний струми досліджених р-п переходів, виміряні у повітрі. Це можна пояснити зменшенням щільності «швидких» поверхневих станів після обробки.

Чутливість р-п переходів на основі GaAs до парів аміаку після вказаної обробки різко збільшувалася при низьких значеннях парціального тиску  $\text{NH}_3$ . Причиною цього може бути збільшення кількості вільних електронів у провідному каналі внаслідок компенсації «повільних» поверхневих акцепторних центрів донорами, пов'язаними з нанесеними атомами сірки.

Результати дослідження показали, що існує оптимальна тривалість обробки, яка веде до найбільшого зростання чутливості р-п переходів до парів аміаку.

# СЕКЦИЯ ТЕПЛОФИЗИКИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

(кафедра теплофизики)

## ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В ЭКОЛОГИИ.

*Гужва А.Ю.*

*Научный руководитель – профессор Контуш С.М.*

Существуют две основные характеристики количества аэрозольных частиц, содержащихся в воздухе в данный момент времени:

- суммарная масса аэрозольных частиц, содержащихся в единице объема (массовая или весовая концентрация аэрозоля);
- их счетная концентрация, то есть их количество в единице объема, причем измеряют либо их общее число независимо от размеров, либо по фракциям.

В экологии большее значение приобретает общее количество вещества в виде частиц аэрозоля, вдыхаемого человеком. Оно может быть найдено, если известна массовая концентрация аэрозоля, то есть масса всех частиц в единице объема.

Важным шагом в развитии методов изучения аэрозолей является использование оптических явлений, возникающих при взаимодействии потока света с частицами аэрозолей. Одним из вариантов определения массовой концентрации частиц аэрозоля является оптический метод измерения распределения частиц по массам с помощью так называемых фотоэлектрических счетчиков частиц аэрозолей. Хороший экологический счетчик должен уверенно измерять счетную концентрацию аэрозоля, измерять распределение частиц по некоторым эквивалентным размерам и затем, вводя в программу расчета ту либо иную плотность вещества частиц, должен рассчитать суммарную массу всех частиц в единице объема.

В данной работе приведены результаты, полученные из серии опытов, которые были проведены с целью определить работоспособность и качество фотоэлектронных счетчиков, сконструированных в ООО Новатек-электро, ИЗ-124, ЛАС 1, ЛАС 2. Оценка работы счетчиков проводилась на основе визуального счетчика аэрозольных частиц ВДК (ультрамикроскопом ВДК). В нем визуально проводился подсчет частиц аэрозоля, пересекающих луч света и попадающих в поле зрения оператора. Зная величину поля зрения, полное сечение потока и распределение в нем скоростей, можно найти счетную концентрацию частиц аэрозоля в потоке, что и позволяет провести точный сравнительный анализ приборов, определить их работоспособность и соответствия ГОСТам Украины определения чистоты воздуха.

# РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ГЕТЕРОГЕННОЇ ПЛАЗМИ, УТВОРЕНОЇ ПРОДУКТАМИ ЗГОРЯННЯ РАКЕТНОГО ПАЛЬНОГО

*М. Малашевич, Д. Зінов'єв*

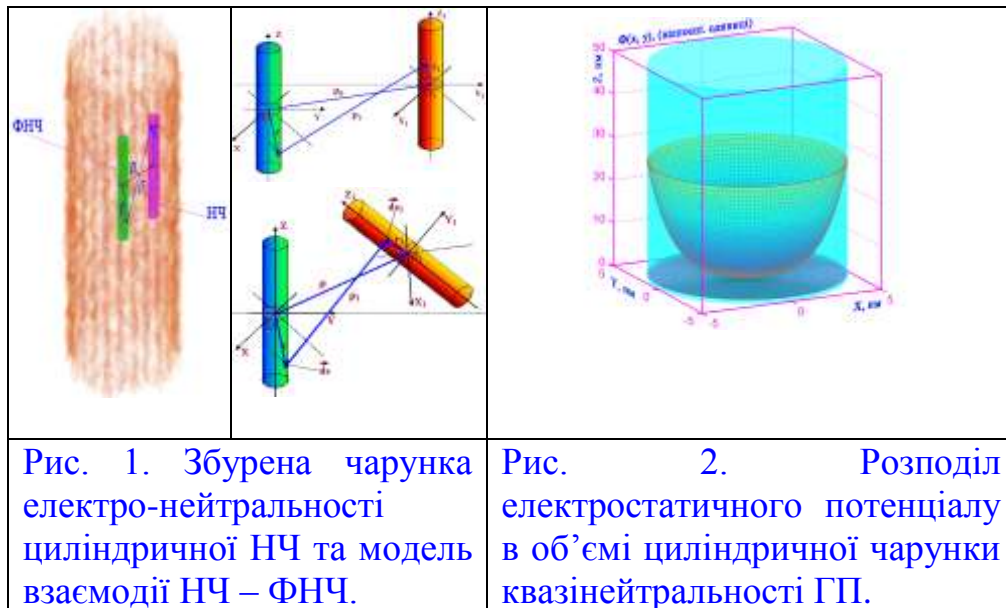
*Науковий керівник – доцент В.І. Маренков*

Гетерогенна плазма (ГП), яка утворюється у факелі продуктів згоряння металізованих ракетних палив, характеризується наявністю в об'ємі наночастинок (НЧ) оксидів металів, що виникають внаслідок паро-газової конденсації при розширенні та охолодженні факелу [1]. За рахунок високої температури рівень термічної іонізації такої системи є достатнім для встановлення квазінейтральності в областях локальної термодинамічної рівноваги (ЛТР). Зокрема, внаслідок термодіффузії електронів з поверхонь, наночастинок оксидів набувають в ГП значних електричних зарядів і суттєво впливають на баланс електрон-іонних процесів у плазмовому середовищі. Проявом далекосяжної електромагнітної взаємодії структурних елементів ГП (електронів, іонів, заряджених НЧ) є корельований прискорений рух індивідуальних зарядів у самоузгодженому електромагнітному полі плазми, що в координатах центра мас ГП асистується гальмівним електромагнітним випромінюванням (ЕМВ) [2]. Амплітудно-частотна функція ЕМВ прискорених зарядів несе в собі інформацію щодо параметрів ГП, та може бути використана (в рамках оберненої задачі) для теледіагностики мікроструктури і зарядового складу факелу плазми продуктів згоряння. В [3] вирішено проблему визначення гальмівної радіації ГП зі сферичними наночастинками конденсованої фази (КФ) в радіочастотному діапазоні. Однак актуальна проблема впливу форми частинок КФ залишилась поза увагою. В доповіді представлено узагальнення статистичного підходу [3] на випадок видовжених НЧ циліндричної форми, що сукупно утворюють підсистему частинок КФ в гетерогенній плазмі.

Розглянуто термоіонізаційну рівновагу та динаміку стохастичного руху конденсованих наночастинок оксидів металів в умовах гетерогенної плазми (ГП). Визначення локально-рівноважних параметрів ГП здійснюється шляхом статистичного усереднення за ансамблем реалізацій плазмової системи з використанням модельного підходу квазінейтральних чарунок ГП [1]. Головним моментом статистичного розгляду є уявлення про миттєву чарунку квазінейтральності плазми - щонайменшу просторову область, що її в лагранжевих координатах індивідуальної наночастинки (НЧ) виокремлено замкненим елементом

поверхні екстремуму миттєвого електростатичного потенціалу системи  $\Pi \Big|_{\frac{\partial \Phi}{\partial n}=0}$ . (див.

Рис. 1)



Усереднення зарядового оточення НЧ реалізується за множиною електронейтральних чарунок плазми, у які виділена НЧ попадає у послідовні моменти часу (рис. 1.а).). Як результат – вирішення проблеми статистичних внесків в термодинамічні потенціали ГП фактично зводиться до одночастинкової електростатичної задачі – визначення поля локального самоузгодженого потенціалу в усередненій чарунці електронейтральності ГП. В залежності від симетрії центральної НЧ, з якою пов'язано центр базової системи координат Лагранжа чарунки, обмежуючий чарунку  $S_{\zeta}^Z$  елемент поверхні  $\Pi \left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{=0} - S_C$  після

усереднення має відповідний «топологічний відбиток». Так, для НЧ циліндричної форми, усереднена чарунка електронейтральності теж характеризується циліндричною симетрією(рис. 1.б).). Взаємодія з оточенням виділеної НЧ призводить до кореляцій положень і швидкостей окремих НЧ в ансамблі частинок КДФ, узгоджених трансформацій просторових конфігурацій НЧ, і флуктуацій локального електромагнітного поля в миттєвих чарунках електронейтральності (Рис. 2.). Релаксація збурених чарунок до рівноваги – ефективного розподілу об'ємного заряду в кожній з усереднених ефективних чарунок квазінейтральності реалізується шляхом ланцюжка квазігармонійних коливних рухів НЧ, які вона здійснює в ефективному миттєвому електростатичному полі, що є векторною сумою полів незбуреної чарунки, зміщеної НЧ та фіктивної наночастинки (ФНЧ) протилежної полярності – розміщеної у центрі чарунки на місці НЧ, що змістилась. Спектральну густину радіовипромінювання електронного компоненту ГП в хвильовій зоні визначено шляхом статистичного усереднення за ансамблем чарунок ГП з врахуванням статистичної ймовірності їх можливих збурень, внаслідок активованих стохастичних зміщень НЧ в чарунках.(Рис. 3.а). - в.) Для ГП продуктів згоряння зависі диспергованого алюмінію в повітрі результати, отримані в комп'ютерному експерименті на основі пропонуємого підходу, добре узгоджуються з експериментами.



# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕПЛОМАССОБМЕН И ОКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОЛОЧЕК

Односталко А. О.

Научный руководитель - доцент Орловская С. Г.

Вольфрам и молибден относятся к тугоплавким металлам, окисление которых стало за последнее время предметом обстоятельных исследований. Оксиды этих металлов и сами металлы обладают уникальными физико-химическими свойствами, которые требуют детального изучения. В данной работе проводится изучение окисления молибдена и вольфрама, а также определение их энергии активации.

Эксперименты проводились с молибденовой проволокой диаметром  $d=200$  мкм и длиной  $L=12$  см в различных стационарных состояниях, а также с вольфрамовой -  $d_b=210$  мкм  $l=100$  мм. Была установлена и изучена зависимость стационарной температуры от силы нагревающего тока. Получено распределение толщины оксида по длине вольфрамовой проволоки при различных временах окисления (рис.1).

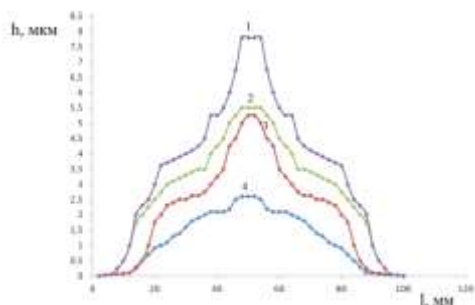


Рис.1. Распределение толщины оксида по длине вольфрамовой проволоки ( $d_b=210$  мкм,  $l=100$ мм) при температуре 760К (силе тока  $I=3.5$  А) и различных временах окисления: 1 -  $t=20$  мин., 2 -  $t=15$  мин., 3 -  $t=10$  мин., 4 -  $t=5$  мин.

В работе проводилась серия опытов, направленная на определение энергии активации взаимодействия вольфрама и молибдена с кислородом воздуха. Для этого использовались образцы одинаковых геометрических размеров, которые нагревали различное время при одной и той же температуре (силе тока). В результате механической обработки окисленных проволок определена масса оксида вольфрама и убыль массы молибдена за время окисления. Это позволило определить константы скорости окисления. По найденным зависимостям констант скорости окисления от обратной температуры были определены значения энергии активации, которые равны: для вольфрама -  $E = 39,08$  ккал/моль в температурном интервале  $T=740 \div 850$ К; для молибдена -  $E=49,5$  ккал/моль в температурном интервале  $T = 1120 \div 1300$  К.

Таким образом, изучены особенности высокотемпературного окисления тугоплавких металлов в стационарных состояниях. Определены значения энергии активации окисления вольфрама и молибдена в воздухе.



# СЕКЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

## (кафедра теоретической физики)

### ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ АНИЗОТРОПНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Шатагин И.А.

*Научный руководитель — доцент, канд. ф.-м. наук Сушко М.Я.*

В рамках метода компактных групп неоднородностей [1] выполнен анализ эффективной диэлектрической проницаемости макроскопической системы с одноосной анизотропией. Система моделируется как набор диэлектрических твердых частиц произвольной формы, вкрапленных в однородную и изотропную «матрицу». Микроструктура системы модулируется с помощью профиля локальных отклонений  $\delta\epsilon_{ik}$  диэлектрической проницаемости от проницаемости матрицы. Эффективные поле и индукция в системе выражаются через бесконечные ряды статистических моментов отклонений  $\delta\epsilon_{ik}$ ; эти ряды эффективно учитывают вклады многочастичных пространственно-ориентированных корреляций и поляризационных эффектов.

Расчет указанных моментов выполнен непосредственно усреднением по объему и для твердых частиц должен совпадать со статистическим усреднением с использованием статистических функций распределения. Эффективная проницаемость системы имеет структуру  $\epsilon_{ik}^{eff} = \epsilon_1 \delta_{ik} + \epsilon_2 \left( n_i n_k - \frac{1}{3} \delta_{ik} \right)$ , где  $n_i$  - компоненты орта вдоль оси анизотропии. Отличие  $\epsilon_2$  от нуля возможно только в случае, когда диэлектрические свойства частиц являются анизотропными.

Полученный результат применен к анализу диэлектрических свойств нематического жидкого кристалла (НЖК) вблизи перехода в изотропную фазу. В этом случае величину  $n_i n_k - \frac{1}{3} \delta_{ik}$  можно интерпретировать как параметр порядка, где  $n_i$  - компоненты вектора директора  $\mathbf{n}$ . В непосредственной окрестности точки перехода проницаемости  $\epsilon_{\parallel}$  (вдали от критической точки  $\mathbf{n}$  ориентирован параллельно электрическому полю) и  $\epsilon_{\perp}$  (вдали от критической точки  $\mathbf{n}$  ориентирован перпендикулярно полю) описываются формулами  $\epsilon_{\parallel} = a + b\tau^{\beta}$  и

$\epsilon_{\perp} = a - 0.5b\tau^{\beta}$ , где  $a$  равна проницаемости изотропной фазы,  $b, \beta$  - критические амплитуда и индекс, описывающие анизотропию диэлектрических свойств нематической фазы (см. рис.). Показано, что  $b \neq 0$  - лишь для частиц с анизотропными диэлектрическими свойствами.

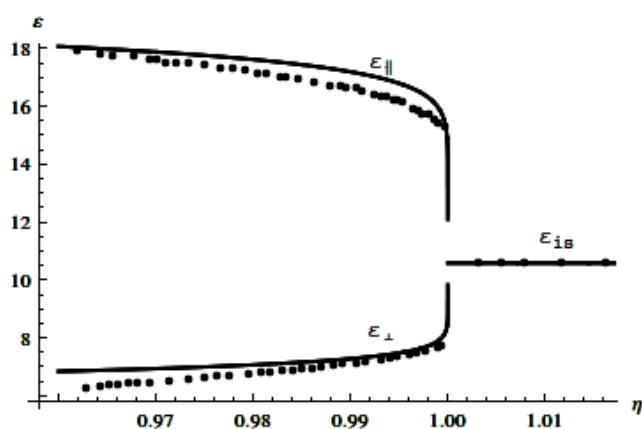


Рис. Экспериментальная (•) [2] и теоретическая (-) зависимости диэлектрической проницаемости от  $\eta = T/T_{mel}$  для НЖК 5СВ ( $T_{mel}=308K$ ).

- [1] M. Ya. Sushko, J.Phys.D: Appl.Phys. (2009), 42, 155410.  
[2] S. Chandrasekhar, Liquid Crystals, (1977), Cambridge University Press.

## **КИНЕТИКА УСТАНОВЛЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СПИРТА**

*Стула Ю.М.*

*Научный руководитель – профессор Маломуж Н.П.*

Водный раствор спирта является интересным объектом изучения. В области низких концентраций он обладает аномальными свойствами. Они проявляются вблизи так называемых особых точек, которые можно наблюдать при мольных концентрациях порядка  $x_M \sim 0.05$ . Наиболее известным проявлением нетривиальности свойств растворов при таких концентрациях является аномальное возрастание интенсивности молекулярного рассеяния света. Необходимо отметить, что подобное отклонение наблюдается только через сутки после приготовления раствора.

При рассмотрении структуры водного раствора спирта можно утверждать, что в нём происходит кластеризация вещества. В данной работе мы рассматриваем его как раствор, в котором кластеры наноскопического размера отождествляются с зародышами новой фазы. Эти зародыши имеют промежуточные свойства между жидкостью и твёрдым телом. Учитывается, что флуктуации поверхностей таких зародышей являются достаточно сильными. Вследствие этого они могут рассматриваться, как естественный механизм разрушения зародышей и служить основой для определения коэффициентов диффузии компонентов раствора.

В работе построены функция Лагранжа и диссипативная функция, вычислены корреляционные функции смещений поверхностного слоя, его скоростей и соответствующие коэффициенты диффузии.

- [1] В.Я. Гоцульский, Н.П.Маломуж, Л.М.Сабиров // Физическая природа особых точек водно-спиртовых растворов – 2013.  
[2] Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. – Ленинград, 1975. -591 с.

## Компьютерное моделирование самодвижущихся частиц по модели Vicsek.

Полевой М. Н.

Научный руководитель – проф. Кулинский В. Л.

Модель самодвижущихся частиц, также называемая моделью Vicsek [1], предлагает моделировать системы, демонстрирующие групповую динамику частицами, движущимися с постоянной скоростью, и способными изменять только направление. Взаимодействие происходит между частицами в т.н. «области видимости» - скорость каждой частицы подстраивается под среднюю скорость окружения. Несмотря на наличие более совершенных моделей [2, 3], модель Vicsek используется как простейшая в реализации.

Поскольку взаимодействие не зависит от перестановки частиц, и при этом оно сводится к парному взаимодействию, очевидной идеей является параллельно вычислять воздействие на одну частицу.

Для реализации параллельных вычислений доступно, фактически, три технологии – использование многоядерных процессоров общего назначения (CPU), использование графических ускорителей (GPU), и использование специализированных вычислительных устройств (ASIC). Известно, что увеличение числа ядер в процессорах финансово неэкономично, а использование многопроцессорных конфигураций проигрывает по энергоэффективности вычислений гетерогенным конфигурациям (CPU+GPU).

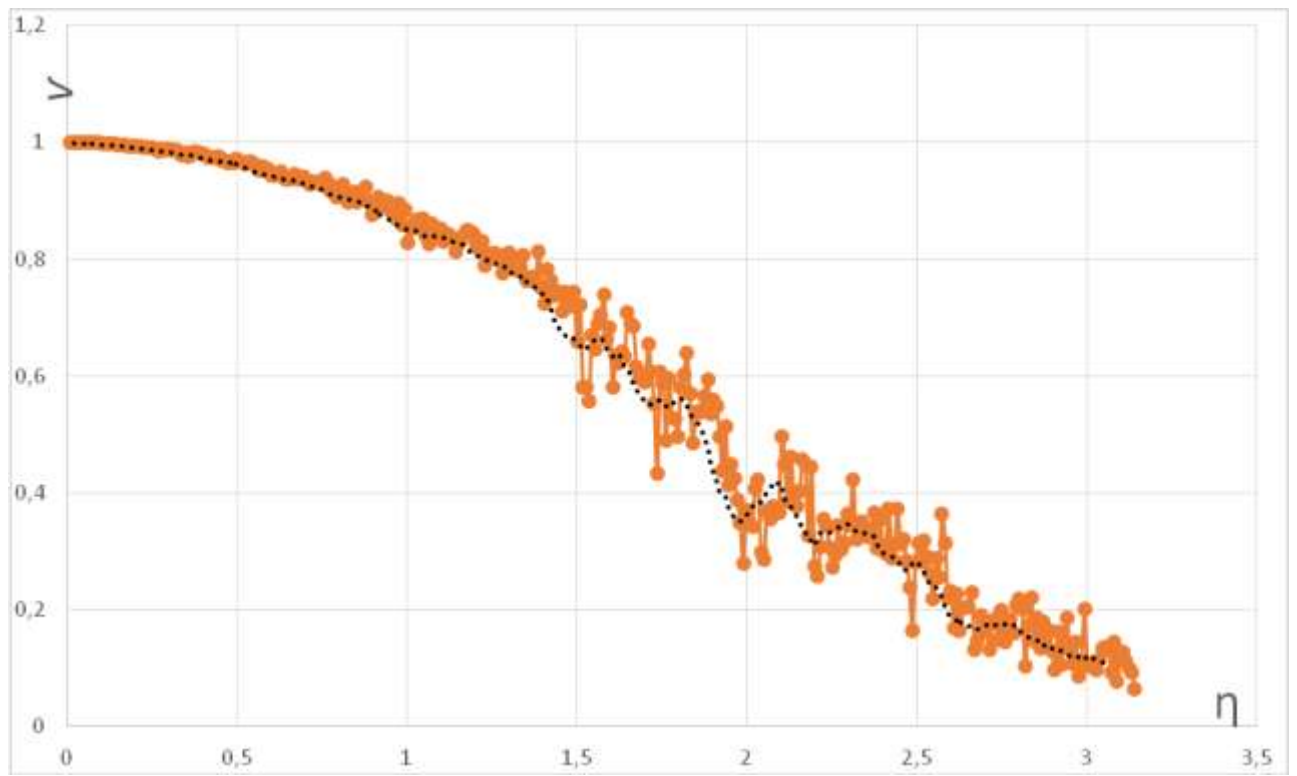
Поэтому, было решено разрабатывать приложение, реализующее модель Vicsek, и использующее вычислительные ресурсы GPU. Языком разработки, по очевидным причинам, был выбран C++, для взаимодействия с видеокартой используется библиотека C++ AMP.

Для проверки работоспособности, и оценки производительности, была запущена симуляция, аналогичная проведенной в [1], результаты симуляции изображены на рис. 1. Также, сравнивая производительность приложения при вычислениях на GPU (Tesla K20), и на программном эмуляторе WARP, что фактически аналогично запуску приложения на CPU, предсказуемо обнаружен стократный прирост производительности (100 GF против 1 TF).

1) Vicsek, Tamás, András Czirók, Eshel Ben-Jacob, Inon Cohen, and Ofer Shochet. “Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles.” *Physical Review Letters* 75, no. 6 (1995): 1226.

2) Ratushnaya, V.I., D. Bedeaux, V.L. Kulinskii, and A.V. Zvelindovsky. “Collective Behavior of Self-Propelling Particles with Kinematic Constraints: The Relation between the Discrete and the Continuous Description.” *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 381 (July 2007): 39–46. doi:10.1016/j.physa.2007.03.045.

3) Huepe, Cristián, and Maximino Aldana. “New Tools for Characterizing Swarming Systems: A Comparison of Minimal Models.” *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 387, no. 12 (May 2008): 2809–22. doi:10.1016/j.physa.2008.01.081.



*Puc 1  $N = 4000, L = 32$ .*

## КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДІВ ГРУПИ МАЛОДОСЛІДЖЕНИХ ЗМІННИХ ЗІР.

*Горбачова А.С.*

*Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук Марсакова В.І.*

Ціллю роботи є дослідження групи зір за допомогою даних Обзора зоряної змінності північного неба (Northern sky variability survey, NSVS) [1], уточнення їх класифікації, визначення характеристик змінності, в тому числі періодів. Змінність цих зір була знайдена авторами статті [2].

За результатами дослідження групи з 20-ти зір, 7 із них були класифіковані як довгоперіодичні змінні: міриди або напівправильні змінні типу SRa (більш точна класифікація неможлива внаслідок невеликого інтервалу доступних спостережень NSVS, який є порівняним з довжиною періодів цих змінних). Для них визначені моменти максимумів (мінімумів) та приблизні значення періодів. Для 4-х зір зі складною (більш короткоперіодичною змінністю) визначені набори можливих періодів. Для однієї зорі підтверджена класифікація Загального каталогу змінних зір (ЗКЗЗ) [3], як симбіотичної (тип Z And). З змінні зорі з [2] не вдалося ототожнити з об'єктами NSVS та астрономічної бази даних SIMBAD [4]. Для 3-х з ототожнених зір кількість спостережень недостатня для аналізу, за спостереженнями ще 2-х зір (в ЗКЗЗ позначених як можлива затемнювана змінна та можлива змінна типу RR Ліри) період змін блиску визначити не вдалося.

1. Wozniak et al. // AJ, V.127, p. 2436–2449, 2004

2. Margoni R., Stagni R. // As. Ap. Suppl, V. 56, No.1, p. 87, 1984.

3. Samus N.N., Durlevich O.V., Kazarovets E. V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N., Zharova A.V., et al.: 2012, General Catalog of Variable Stars (GCVS database, Version 2012Jan), <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>

4. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

# СЕКЦІЯ АСТРОНОМІЇ

(кафедра астрономії)

## КЛАСИФІКАЦІЯ АСТЕРОЇДІВ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

*Іваненко Н.В.*

*Науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук Базей О.А.*

Зроблено огляд динамічної класифікації малих тіл Сонячної системи. В огляд включені астероїди, які зближуються з Землею та їх підгрупи: астероїди типу Амура, типу Атона та типу Аполона; астероїди головного поясу; астероїди, які назвали дамоклоїдами та астероїди-кентаври; транснептунові малі тіла – плутіно. Окремо виділені астероїди, які рухаються у резонансі 1:1 з великими планетами – астероїди-троянці [1].

Для різних класів об'єктів побудовані характерні їм орбіти [2].

Описана спектральна класифікація малих небесних тіл.

Побудовано розподіл числа відомих кратних астероїдів [3] по геліоцентричній відстані.

1. <http://nasasearch.nasa.gov>

2. <http://www.minorplanetcenter.net/>

3. <http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html#1>

# ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗНИХ МІЖЗОРЯНИХ СМУГ У СПЕКТРАХ ЦЕФЕЇД

*Кашуба С.В.*

*Науковий керівник – доктор фіз.-мат. наук Андрієвський С. М.*

Дифузні міжзоряні смуги (ДМС) поглинання спостерігаються у спектрах багатьох астрономічних об'єктів. Вони викликані поглинанням світла в міжзоряному середовищі і спостерігаються в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній ділянках спектру [1]. Не дивлячись на те, що ДМС були відкриті ще на початку ХХ століття, природа цього явища досі залишається загадкою. Зараз вчені налічують понад 300 невизначених ДМС в спектрах зір.

Існує декілька гіпотез стосовно можливих “носіїв” ДМС. На сьогодні найпопулярнішою є теорія поліциклічних ароматичних вуглеводнів [2]. Значний внесок в цю теорію зробили нещодавні дослідження у інфрачервоному спектрі, які надали докази існування у міжзоряному середовищі та навколо зір складних вуглецевих з'єднань. Нажаль ми не маємо можливості підтвердити чи спростувати цю теорію, але можемо зробити вклад у вивчення поведінки основних параметрів ДМС в залежності від властивостей міжзоряного середовища у різних напрямках зору.

Використані в роботі спектри були отримані на телескопі Хоббі - Еберлі. Детальне дослідження ДМС у спектрах цефеїд є унікальним, оскільки до цього моменту дане явище вивчалось здебільше в спектрах В-зір. Нашими головними перевагами над іншими дослідженням є велика доступна база спектрів та точно визначені основні характеристики цефеїд. Серед них така важлива характеристика, як точна відстань до зорі, що дозволяє скласти детальну мапу розподілу невідомої поглинаючої речовини у галактичному диску. Єдиний значний недолік полягає у наявності великої кількості власних зоряних ліній поглинання у спектрі, деякі з яких можуть накладатись на досліджувані ДМС. Проте розроблений нами метод дозволяє врахувати такі лінії та дослідити “чисті” ДМС.

1. N. L.J. Cox. Diffuse Interstellar Bands & Interstellar Carbon Chemistry in the Galaxy and Beyond/PhD Thesis, Universities van Amsterdam – 2006
2. N. L. J. Cox. The PAH-DIB Hypothesis/EAS Publications Series, Vol. 46 – 2011