

Журнал проблем эволюции открытых систем

**НИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА им. АЛЬ-ФАРАБИ**

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ СЕМИНАР
“ОРГАНИЗАЦИИ И ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР”**

**ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ЖУРНАЛ
ПРОБЛЕМ ЭВОЛЮЦИИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ
(Журнал ПЭОС)**

Выпуск двадцать второй

**Том 1
(Январь-июнь)**

Алматы
2020

Вып.22 Т.1 2020

УДК 550.36+577.31

ББК 72.4 (2) П 78

Свидетельство о государственной регистрации № 4213Ж от 12.09.03

Подписной индекс “КАЗПОЧТА” № 75220

Редакционная коллегия:

Главный редактор: *Казахстан академик НАН РК* Рамазанов Т.С.

Зам.главного редактора: *Казахстан проф., д.ф.-м.н.* Сомсиков В.М.
Казахстан к.ф.-м.н. Лаврищев О.А.

Ответственные секретари: *Казахстан к.ф.-м.н.* Нұрғалиева Қ.Е.
Россия к.б.н. Садовская Г.М.

Технический редактор: *Казахстан* Андреев А.Б.

Члены редакционной коллегии:

Физика *Казахстан проф., д.ф.-м.н.* Жанабаев З.Ж.
Россия проф., д.ф.-м.н. Чашечкин Ю.Д.
Испания проф., д.ф.-м.н. Pisarchik A.N.

Математика *Казахстан проф., д.ф.-м.н.* Алексеева Л.А.
Россия проф., д.ф.-м.н. Горбань Н.А.
Россия к.ф.-м.н. Еганова И.А.

Космос, Земля *Казахстан член.-корр. НАН РК* Жантаев Ж.Ш.
Казахстан д.ф.-м.н. Хачикян Г.Я.

Химия *Казахстан академик НАН РК* Ергожин Е.Е.
Россия проф., д.х.н. Быков В.И.

Биология, Медицина *Казахстан проф., д.м.н.* Байназарова А.А.
Казахстан проф., д.б.н. Иващенко А.Т.
Казахстан проф., д.б.н. Нуртазин С.Т.
Россия проф., д.б.н. Печуркин Н.С.
Россия проф., д.б.н. Сомова Л.А.
Казахстан проф., д.б.н. Тулеуханов С.Т.

Прикладные исследования *Казахстан к.ф.-м.н.* Алдияров А.У.

В журнале публикуются статьи по междисциплинарным исследованиям в области естественных наук. Основное направление связано с исследованием свойств открытых систем и проблемами организации и эволюции природных структур.

Журнал входит в список рекомендованных для публикации научных статей ККСОН (Комитет по контролю в сфере образования и науки) МОН РК.

Адрес офиса: Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, д.71, корпус физико-технического факультета НИИ экспериментальной и теоретической физики (НИИ ЭТФ) для Нұрғалиевой Қ.Е.

E-mail: kdungen@gmail.ru и vmsoms@rambler.ru

Сайт: <http://peosjournal.org/>

Печатается без редакторской и коррекционной правки

ISSN2617-7609

e-ISSN2617-7595

© КазНУ им. аль-Фараби

© НИИ ЭТФ

© Авторы статей

Вып.22 Т.1 2020

От редколлегии	Памяти Леонида Михайловича Чечина	5
ФИЗИКА		
Абдиганпар А.Қ. ¹ , Осмоловская О.М. ² , Оспанова Ж.Б. ¹	Синтез и антибактериальные свойства наночастиц меди	7
Нодяров А.С., Хохлов С.А.	IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 жұлдыздарының эволюциялық деңгейін анықтау	16
Алимбетова Д.А., Агишев А.Т. ¹ , Хохлов С.А. ¹ , Көмеш Т., Сайланбек С.	Инфрақызыл N24 көпіршіктің айналасындағы жұлдыздардың қалыптасуы	24
Амантаева А.Е., Агишев А.Т.	Қысқа периодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың информациялық энтропиясы	30
Зазулин Д.М., Кемелжанова С.Е., Эзау П.Д. ³ ,	Голографиялық екі жақтылық әдіспен сипатталған нөлдік дыбысы бар жүйеге геометриялық термодинамиканы қолдану	35
Сүбебекова Г.Р., Бей- себаева А.С.	V[e] құбылысы бар IRAS 20090 + 3809 жұлдызының доплерлік томографиясы.	41
ГЕОФИЗИКА		
Солодовник А.А., Усеинов Б.М., Ланочкин М.В., Ибраев Б.М.,	Результаты мониторинга полей серебристых облаков в сезоны 2017 – 2018 годов	46
Инчин А.С., Шпади Ю.Р., Шпади М.Ю., Майлибаева Л.И. Лозбин, А.Ю. Аязбаев Г.М.	Результаты научной миссии космического аппарата KAZSCISAT-1	54
Гусейнов Ш.Ш., Сомсиков В.М., Гусейнов С.Ш., Андреев А. Б., Капытин В.И.	Моделирование структуры нестационарных и коротких временных рядов радиоизлучения Солнца на основе фрактального анализа	60
МАТЕМАТИКА		
Самигулина Г.А., Самигулина З.И.	Разработка программного обеспечения для реализации интеллектуальной технологии прогнозирования зависи- мости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем	67

Алексеева Л.А.	Бикватернионы фотонов. Свет	75
-----------------------	-----------------------------	----

БИОЛОГИЯ

Musralina L.Z., Djansugurova L.B., Krause J.J.	Features of the study of ancient pathogens	83
Для авторов		90

**Памяти Леонида Михайловича Чечина
06.03.1949 - 18.04.2020 г.**



Казахстанская наука и школа, коллектив ученых понесли тяжелую утрату. Ушел из жизни Леонид Михайлович Чечин. Не стало замечательного человека, крупного ученого, талантливого педагога.

Доктор физико-математических наук (1994 г.), профессор, член-корреспондент Национальной академии наук, Лауреат Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники имени аль-Фараби (2015 г.). Автор и соавтор более 150 научных работ и публикаций.

Леонид Михайлович Чечин руководил Астрофизическим институтом им. В.Г.Фесенкова (2004 - 2010 г.), где и работал до самого последнего времени, до своего последнего часа.

Он был образцом интеллектуала, ученого, исследователя. Всю свою жизнь он посвятил познанию мира, и щедро делился своим знанием с окружающими.

Сын философа, он не мог не интересоваться философией. Но призванием его стала теоретическая физика и астрофизика, где он достиг больших высот и оставил собственное наследие.

Сфера его научных интересов была теоретическая физика - проблема движения в общей теории относительности, космология ранней Вселенной и методы математической физики. Леонидом Чечиным сформулировано новое направление в космологии ранней Вселенной – космическая хромодинамика.

Он ставил и решал самые сложные задачи современной космологии. Им сформулирован единый калибровочный подход к проблеме движения многих тел. Занимался исследованием динамики топологически устойчивых космических объектов, и в первую очередь – динамики космических струн. Исследовал физические процессы, происходящие с монополями в горячей Вселенной. Важные результаты получены им в процессе изучения космологии самой ранней Вселенной. Л.М. Чечиным впервые было предложено условие давления –доминантности в ранней Вселенной. Опираясь на этот эффект, можно дать естественное объяснение происхождению начального вращения галактик.

Л.М. Чечин активно участвовал в работе Республиканского научного междисциплинарного семинара Министерства образования и науки: «*ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР*». Много времени посвящал популяризации науки. Преподавал и был научным руководителем дипломных, магистерских работ, а также аспирантов и PhD докторантов.

Он мог предложить еще очень много науке, стране и людям. Но судьба распорядилась иначе. Нам будет его очень не хватать, его тонкого юмора, ироничного взгляда, его доброты.

Искренне сопереживаем и соболезнуем семье, всем родным и близким Леонида Михайловича. Светлая память. Мы всегда будем его помнить.

А.Қ. Абдигаппар¹ , О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: kaisarovna@bk.ru

СИНТЕЗ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

Аннотация. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине. Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Целью данной работы является получение наночастиц меди различными методами, а также определение размеров наночастиц и их бактерицидной активности. Для получения наночастиц меди использованы три основных подхода: полиольный синтез, сольвотермальный синтез и восстановление в водных растворах. Фазовый состав полученных образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям сканирующего электронного микроскопа. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Escherichiacoli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-культуры *Escherichiacolicy* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют между собой, что говорит об отсутствии агломерации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах.

Ключевые слова: наночастицы, синтез наночастиц, медь, антибактериальные свойства.

Введение.

В последние годы с развитием нанотехнологий возрос интерес к разработке методов синтеза и изучения свойств металлических наночастиц [1, 2]. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине [3, 4].

Болезнетворные микроорганизмы, в частности *Escherichia coli* способны длительное время сохраняться во внешней среде, в пресной воде, включая и питьевую воду, в морской воде, а также во всех типах коммунальных и сельскохозяйственных сточных вод. Разработаны композиции на основе интерполимерных комплексов полигексаметиленгуанидин гидрохлорида с натрия карбоксиметилцеллюлозой ПГМГ-NaКМЦ, эффективно используемые против данного вида бактерий [5].

Для получения наночастиц меди предложено использовать три основных подхода полиольный синтез [6-8], сольвотермальный синтез [9, 10], и восстановление в водных растворах [11].

Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Однако, в отличие от серебряных наночастиц, медные обладают очень низкой стабильностью вследствие легкого окисления и поэтому менее исследованы. Для разработки бактерицидных препаратов на основе наночастиц меди требуется пополнение экспериментальных данных об их антимикробной активности.

В этой связи целью данной работы являлось получение наночастиц меди различ-

ными методами, а также определение размеров наночастиц и их бактерицидной активности.

Экспериментальная часть

Методы синтеза наночастиц меди

Получение наночастиц меди проводили в соответствии с методикой, изложенной в [12].

Материалы: хлоридмедидигидрат ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), аскорбиновая кислота (витамин С), натрийедкий (NaOH , чда), этиленгликоль, этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), вода (H_2O).

Полиоольный и сольвоотермальный синтезы проводили в среде этиленгликоля, который выполнял несколько функций: растворителя, восстановителя, а также стабилизировал поверхность наночастиц, предотвращая ее последующее окисление на воздухе. В качестве исходных реагентов использовали 2.5 мМ и 0.025 М растворы хлорида меди и гидроксида натрия, соответственно.

В первом случае синтез проводили в инертной атмосфере в круглодонной колбе с использованием магнитной мешалки, термодатчика и обратного холодильника. Смесь нагревали до 190°C и выдерживали в течение 30 минут. Отделение частиц проводили после самопроизвольного остывания смеси.

Во втором случае смесь помещали в герметично закрывающийся автоклав, устанавливали его в печь и выдерживали при 200°C также в течение 30 минут. Извлечение смеси из автоклава проводили после его самопроизвольного охлаждения до комнатной температуры.

Синтез наночастиц меди в водной среде проводили путем восстановления аскорбиновой кислотой с использованием магнитной мешалки в круглодонной колбе, оснащенной обратным холодильником. Раствор хлорида меди с концентрацией 0,02 М поместили в круглодонную колбу, нагрели до 80°C и по каплям внесли 0,1 М раствор аскорбиновой кислоты. Полученную реакционную смесь выдержали при 95°C в течение пяти часов, далее частицы отделяли также после самопроизвольного остывания смеси.

Полученные твердые продукты отделили на центрифуге Sigma 2-16P, несколько раз промывали этанолом, концентрировали и разделяли на две части. Одну часть высушивали с использованием установки для лиофильного удаления растворителя, другую оставляли в виде концентрированной суспензии наночастиц.

Методы определения фазового состава и размеров наночастиц меди

Фазовый состав образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа (РФА), который проводили в ресурсном центре «Рентгено-дифракционные методы исследования» на дифрактометре Bruker D2 PHASER в диапазоне углов 2θ от 3 до 80° градусов на $\text{Cu K}\alpha$ излучении. Расшифровка дифрактограмм проводилась с помощью картотеки PDF.

Размеры наночастиц меди были определены методом турбидиметрии и с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Турбидиметрический метод основан на измерении ослабления интенсивности светового потока, прошедшего через суспензированный раствор. Для измерения оптической плотности суспензии наночастиц использовали UV-Vis спектрофотометр UNICO. Спектр поглощения суспензии наночастиц регистрировали в кварцевой кювете в диапазоне длин волн 190-1100 нм. Кинетические измерения проводились при длине волны 280-1000 нм в течение 10 минут с шагом в 2 секунды.

Сканирующая (растровая) электронная микроскопия основана на зондировании поверхности изучаемого образца электронным зондом. Сущность метода состоит в том, что поверхность массивного образца облучается тонко сфокусированным (диаметром до 5-10 нм) пучком электронов - так называемым электронным зондом. Пучок электронов совершает возвратно-поступательное движение по линии или развертывается в растр - совокупность близко расположенных параллельных линий, вдоль которых пучок электронов обегает выбранный для исследования участок поверхности.

Исследование образцов методом сканирующей электронной микроскопии

(СЭМ) проводилось в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель» с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi S3400N (параметры измерений: ускоряющее напряжение 10 кВ, расстояние до образца 10 мм). Размеры частиц измеряли в нм в соответствии с меткой на фотографии, используя программу ImageJ. Распределение по размерам строили в программе Origin 9.0® с использованием данных о размерах не менее 100 частиц. Среднее значение было получено с использованием функции NonlinearFit путем математической обработки экспериментального распределения как логнормального.

Метод исследования антибактериальной активности наночастиц меди

Для определения антагонистической активности образцов наночастиц меди против бактериальных тестовых культур к суспензии тест-микробов *Escherichia colic* концентрацией 10 КОЕ/мл, добавляли мясопептонный агар (МПА) и разливали в чашки Петри. Затем высверливали в плотной питательной среде лунки диаметром 10 мм. В подготовленные лунки закапывали образцы наночастиц меди, разведенные 1 мл дистил-

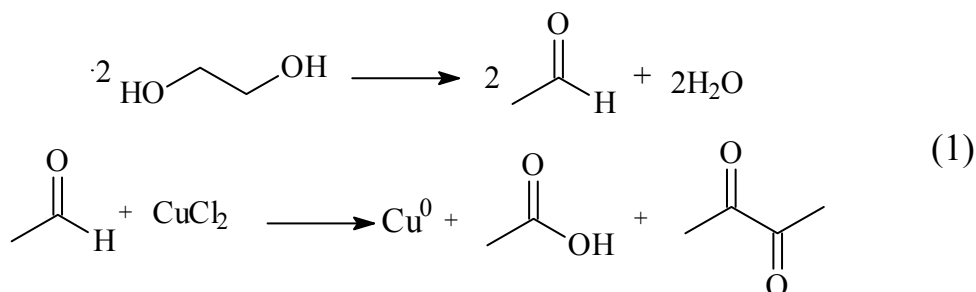
лированной воды. Культивировали суспензии тестов при температуре 37°C в течении 1-2 суток. Замеряли диаметр зон подавления роста тест - культуры. Опыты повторяли трижды.

Обсуждение результатов

Интерес к наночастицам меди обусловлен их бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на основе наночастиц меди в медицине для угнетения патогенных бактерий, обеззараживания, разработке антибактериальных препаратов [13-15]. Для получения наночастиц меди химическими методами, основанные на реакциях восстановления, являются наиболее перспективными.

Для получения медных наночастиц использовали полиольный синтез, сольвотермальный синтез и реакцию восстановления Cu^{2+} с использованием в качестве восстановителя аскорбиновой кислоты.

В процессе полиольного (образец pCu) и сольвотермального (образец sCu) синтеза восстановителем меди из окисленной формы Cu^{2+} в Cu^0 является этиленгликоль. На основании [16] можно предложить следующий механизм реакции (1):



который заключается в активации этиленгликоля гидроксид-ионами с образованием ацетальдегида, который далее окисляется ионами меди до уксусной кислоты и диметилглиоксаля.

По сравнению с полиольным методом, сольвотермальный синтез проводится в более жестких условиях (при повышенном давлении в герметичном автоклаве), что потенциально может привести к образованию более крупных наночастиц с высокой степенью кристалличности. При синтезе в водной среде (образец aCu) ионы меди восстанавливаются до металла за счет взаимодействия с аскорбиновой кислотой,

которая в ходе реакции переходит в дегидроаскорбиновую кислоту. Одной из возможных проблем при получении легко окисляющихся частиц в водных растворах является сложность процесса восстановления. В связи с этим, длительное выдерживание реакционной среды при нагревании было направлено на максимально полное протекание реакции восстановления.

Морфология полученных образцов была изучена методами рентгенофазового анализа (РФА), турбидиметрии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Рентгенограммы полученных образцов представлены на рис. 1.

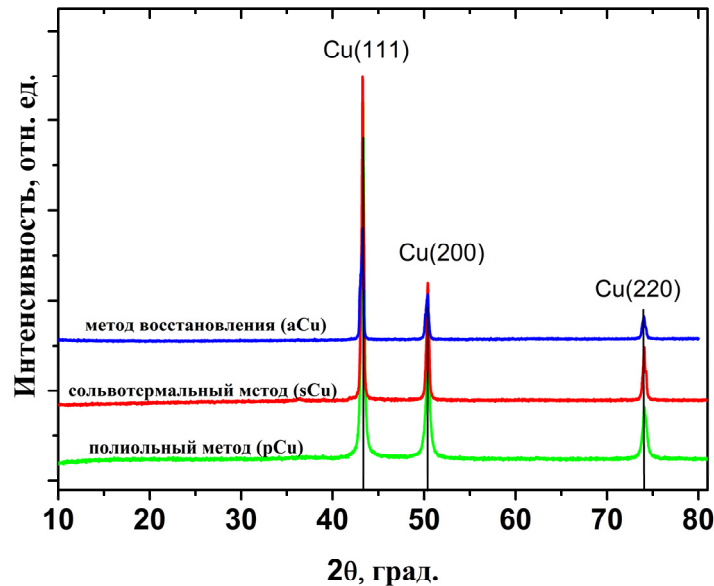


Рисунок 1 – Рентгенограммы полученных образцов наночастиц меди

Для идентификации исследуемого образца на рентгенограмме фиксировали наиболее интенсивные пики, для которых отмечали углы 2θ и интенсивности. Значения этих параметров сравнивали с табличными данными в базе картотеки PDF-2. Было выявлено, что все образцы представляют собой медь кубической сингонии (картотека PDF 03-065-9026 Cu) без примесей.

Отметим, что для всех образцов зафиксировано наличие высококристаллического продукта, при этом уширение линий указывает на то, что полученные частицы имеют наноразмеры.

В настоящее время электронная микроскопия является основным прямым методом исследования строения наноструктур и микроструктуры материалов, получения разнообразной информации о внутренней структуре любого объекта в конденсированном состоянии: строении, упорядочении, дефектности; дает возможность проводить оценку дисперсности, среднего размера, протяженности границ, формы и других параметров структуры материалов [17].

Для более точного определения размеров наночастиц использовали сканирующий электронный микроскоп СЭМ. Полученные микрофотографии и рассчитанные распределения по размерам представлены на рис. 2. В связи с наличием нескольких фракций расчет

размеров для образца aCu не проводился. Для образца, полученного из водного раствора, наблюдается существование как минимум трех фракций – «мелких» сферических частиц, вытянутых проводов и «крупных» образований, в то время как для полиольного и сольвотермального образцов зафиксировано наличие только сферических частиц. Отметим также, что в случае образца sCu частицы образуют связанную структуру, вероятно, вызванную особенностями их формирования под давлением, аналогично изложенному в [12].

Наблюдаемые различия в форме и размерах частиц схематично представлены на рисунке. Таким образом, можно резюмировать, что в водном растворе частицы имеют тенденцию к формированию вытянутых структур, вероятно, за счет медленного протекания процесса восстановления. В более жестких условиях и при быстром формировании зародышей за счет быстрого исчерпания исходных реагентов образуются сферические частицы.

Для определения размеров частиц, полученных в растворах образцы исследовали турбидиметрическим методом. Для измерения рассеянного света частицами меди требуется обеспечить малую оптическую плотность образца и соблюдать линейную зависимость оптической плотности от длины волны.

С использованием линейной зависимости I_g D от $I_g \lambda$ были определены значения среднего размера наночастиц для образцов pCu и sCu (таблица 1). Средний размер наночастиц образца aCu этим методом определить не удалось, так как, по-видимому, диаметр частиц

образца превышает 1/3 длины волны, и использовать уравнение Геллера для описания рассеяния света в такой системе не удастся [18].

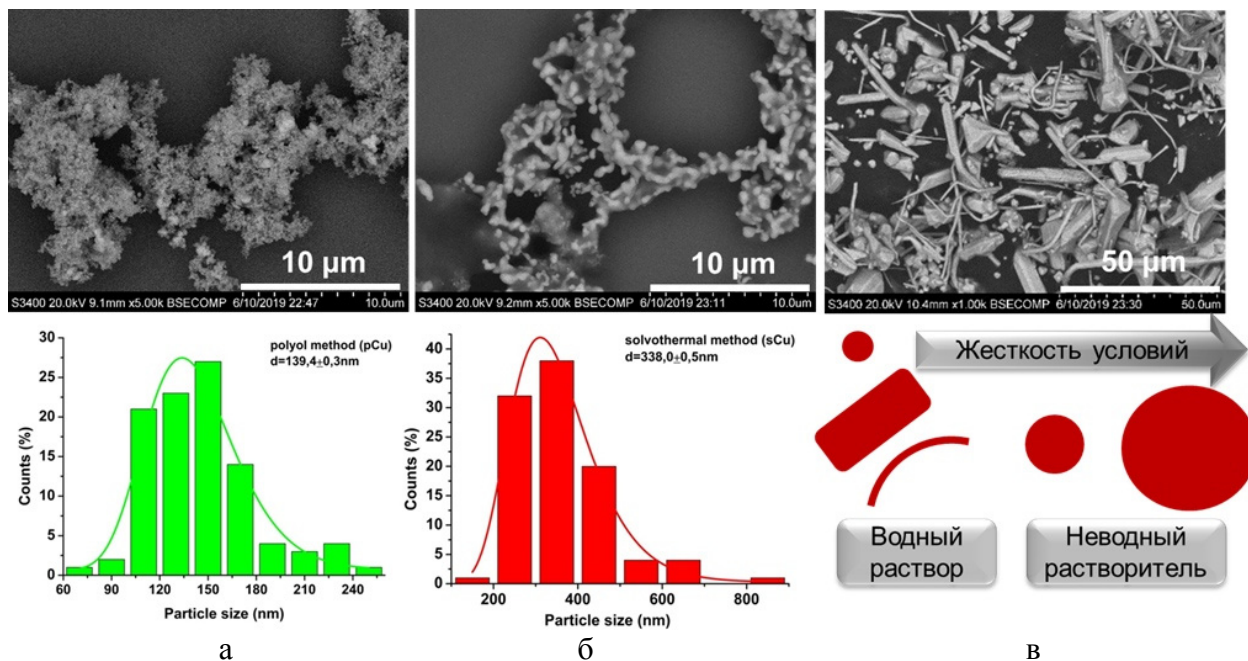


Рисунок 2 -Микрофотографии образцовнаночастиц меди рассчитанные распределения по размерам pCu70 (а), sCu70 (б), aCu70 (в)

В таблице 1 приведены данные размеров образцов наночастиц меди, определен-

ных с помощью турбидиметрического метода и методом сканирующей электронной микроскопии.

Таблица 1 - Размеры медных частиц, полученными различными методами

Образец	Турбидиметрический метод	СЭМ
pCu (полиольный синтез)	199нм	139.4±0.3нм
sCu (сольвотермальный синтез)	363нм	338.0±0.6нм
aCu реакция восстановления аскорбиновой кислотой)	Не применимо	длина 8.97±0.49мкм толщина 0.91±0.54мкм

В связи с тем, что образец aCu состоит из частиц различной формы, размеры которых лежат в области микрогетеронности, в данном случае метод турбидиметрии не применим.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, существует погрешность в определении размеров наночастиц меди турбидиметрическим методом, которая соответствует превышению размеров на 43% для образца pCu на 7% для образцасCu относительно ме-

тода СЭМ. Таким образом, можно резюмировать, что этот метод подходит для только приблизительной оценки размеров наночастиц и может быть использован, когда точная оценка размеров не требуется.

Тем не менее, определенные обоими методами значения лежат в одном размерном интервале. Это указывает на то, что наночастицы меди в растворе являются хорошо стабилизированными, индивидуальными и не формируют агломератов.

Антибактериальную активность частиц меди всех образцов определяли по способности влиять на рост грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* (рисунок 3) на мясопептонном бульоне (таблица 2).

Как видно из данных рисунка 5 и таблицы 2 диаметр зон подавления роста бактерий варьируется от $11,7 \pm 0,5$ мм до $16,3 \pm 0,5$ мм. Наиболее высокая противобактериальная активность по подавлению роста культур *Escherichiacoli* проявили образцы pCu и sCu, что по-видимому связано с величиной размеров частиц исследуемых образцов. Образец

aCu проявил меньшую антимикробную активность, зоны подавления роста бактериальной культуры менее четкие. Этот вывод согласуется с представлением о том, что наибольшее бактерицидное действие оказывают наночастицы небольшого размера [19, 20]. Чем больше удельная поверхность и меньше размер наночастиц, тем быстрее они проникают через клеточную мембрану бактерий, тем самым разрушая их. Наночастицы с большим соотношением поверхности к объему дают возможность разрабатывать эффективные средства с антибактериальной активностью.

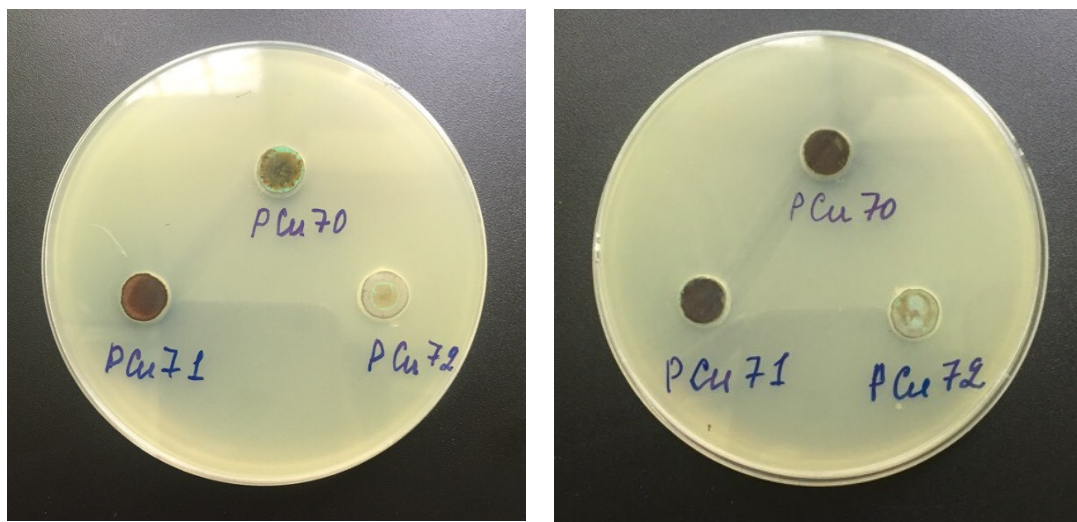


Рисунок 3 – Антагонистическая активность образцов меди против тест культуры *Escherichiacoli*, pCu70 соответствует образцу pCu, pCu71 соответствует образцу sCu и pCu72 соответствует образцу aCu

Таблица – 2. Результаты испытания антибактериальной активности комплексов частиц меди в отношении кишечной палочки *Escherichia coli* (10^5 КОЕ/мл),

Тест культура	Образцы		
	pCu	sCu	aCu
<i>Escherichia coli</i>	(16,16,17) $16,3 \pm 0,5$	(15,16,15) $15,3 \pm 0,5$	(11,12,11) $11,7 \pm 0,5$

Заключение

Получены образцы наночастиц меди методами полиольного, сольвотермального синтеза и частицы микронного размера с использованием реакции восстановления меди аскорбиновой кислотой. Показано, что всеми методами получена чистая фаза меди. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям СЭМ. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют

между собой, что говорит об отсутствии агломерации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Escherichiacoli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-

культуры *Esherichiacoli* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц.

Благодарности

Исследование было выполнено на базе ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Геомодель», рентгенодифракционные методы исследования в ресурсном центре «Рентгено-дифракционные методы исследования», микрофотографии сканирующей электронной микроскопии были получены в ресурсном центре «Инновационные технологии композитных наноматериалов»

Список литературы

1. Shikha Jain, Ankita Jain, Pranav Kachhawan, Vijay Devra. Synthesis and size control of copper nanoparticles and their catalytic application // *Nonferrous Met. Soc. China.* – 2015, V. 25, P.3995–4000
2. Camacho-Flores B.A., Martínez-Álvarez O., Arenas-Arrocena M.C., Garcia-Contreras R., Argueta-Figueroa L., Fuente-Hernández J., Acosta-Torres L.S. Copper: Synthesis Techniques in Nanoscale and Powerful Application as an Antimicrobial Agent // *Journal of Nanomaterials.* - 2015, Article ID 415238, 10 pages
3. Midander K., Wallinder I.O., Leygraf C. In vitro studies of copper release from powder particles in synthetic biological media // *Environmental Pollution.* - 2007, V.145, P.51-59.
4. Hostynek J.J., Maibach H.I. Copper hypersensitivity: dermatologic aspects-an overview // *Reviews on Environmental Health.* – 2003, V.18(3), P.153-183.
5. Ospanova Z., Adilbekova A., Musabekov K., Tulegenova G. Bactericidal compositions based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride // *Chemical Bulletin of Kazakh National University.* – 2014, №1, P. 33-39.
6. Bong K.P., Sunho J., Dongjo K., Jooho M., Soonkwon L., Jang S.K. Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method // *Journal of Colloid and Interface Science.* – 2007, V. 311 (2), P. 417- 424
7. Santhoshkumar Mahadevan, Alok P.S. Chauhan. Investigation of synthesized nanosized copper by polyol technique with graphite powder // *Advanced Powder Technology.* - 2016, V. 27, (4), P. 1852-1856
8. Yu Zhang, Chengqiang Cui, Bin Yang, Kai Zhang, Pengli Zhu, Gang Li, Rong Sun, Chingping Wong. Size-controllable copper nanomaterials for flexible printed electronics // *J Mater Sci.* –2018, V.53, P.12988–12995
9. Yanjuan Liu, Xiaowei Liu, Yongjie Zhan, Haiming Fan, Yang Lu. Copper nanocoils synthesized through solvothermal method // *J. Am. Chem. Soc.* - 2005, V. 127 (9), P.2822-2823
10. Tavakolia H., Sarraf-Mamoorya R., Zareic A.R. Solvothermal Synthesis of Copper Nanoparticles Loaded on Multi-wall Carbon Nanotubes as Catalyst for Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate // *Journal of Advanced Materials and Processing.* - 2015, V.3, № 2, P. 3-10
11. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К. Химические способы получения наночастиц меди // *Бутлеровские сообщения.* – 2014, V.37, №.2, P.103-113.
12. [Osmolovskaya O. M.](#), [Yu. V. Petukhova](#), [A. A. Podurets](#), [E. A. Syukkalova](#), [V. V. Suslonov](#), [D. S. Kolokolov](#), [S. V. Kotel'nikova](#), [N. P. Bobrysheva](#) & [M. G.](#) Approaches to the Control of Morphological Parameters of Inorganic Nanoparticles in the Synthesis from Solutions// [Russian Journal of General Chemistry](#)– 2019, V. 89, P.1154–1161
13. Tamayo L.A., Zapata P.A., Rabagliati F.M., Azócar M.I., Muñoz L.A., Zhou X., Thompson G.E., Páez M.A. Antibacterial and non-cytotoxic effect of nanocomposites based in polyethylene and copper nanoparticles // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine.* - 2015, V.26(3):129
14. Shiv Shankar, XinnanTeng, JongWhanRhim. Properties and characterization of agar/CuNPbionanocomposite films prepared with different copper salts and reducing agents // *Carbohydrate Polymers.* – 2014, V.114, P.484-492
15. Gunawan C., Teoh W. Y., Marquis C. P., Amal R. Cytotoxic origin of copper (II) oxide nanoparticles: comparative studies with micron-sized particles, leachate, and metal salts // *ACS Nano.* – 2011. – V.5. – P.7214–7225.
16. [Chang Woo Kim](#), [Hyun Gil Cha](#), [Young Hwan Kim](#), [Abhijit P. Jadhav](#), [Eun Sun Ji](#), [Dong In Kang](#), [Young Soo Kang](#) Surface Investigation and Magnetic Behavior of Co Nanoparticles Prepared via a Surfactant-Mediated Polyol Process

//J. Phys. Chem. C. - 2009, V.113, (13), P. 5081-5086

17. Кузнецов Д.К., Колосов В.Ю. Исследование наноматериалов методами сканирующей электронной микроскопии / Екатеринбург: Уральский государственный университет им. А.М. Горького, ИОНЦ "Нанотехнологии и перспективные материалы", 2008. - 17 с.
18. Копунова Г.А. и др. Аналитическая химия. Лабораторные работы. Учеб.- метод. пособие по направлению подготовки «Стандартизация и метрология» / М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса. - 2012. - 15 с.

19. Надточенко В.А., Радциг М.А., Хмель И.А. Антимикробное действие наночастиц металлов и полупроводников // Российские Нанотехнологии. - 2010, Т.5, № (5–6), С.37–46

20. JeyaramanRamyadevi, KaddarkaraithangamJeyasubramanian, ArumugamMarikani, GovindasamyRajakumar, Abdul Rahumanc. Synthesis and antimicrobial activity of copper nanoparticles // Materials Letters. – 2012, V. 71, (15), P. 114-116

А.Қ. Абдигаппар¹, О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: kaisarovna@bk.ru

СИНТЕЗ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

Аннотация. Интерес к наночастицам меди обусловлен ее бактерицидными и антимикробными свойствами, что позволяет использовать материалы на ее основе в биологии и медицине. Анализ исследований показывает перспективность использования бактерицидной активности медных наночастиц ввиду их невысокой себестоимости и сравнительно низкой экологической опасности. Целью данной работы является получение наночастиц меди различными методами, а также определение размеров наночастиц и их бактерицидной активности. Для получения наночастиц меди использованы три основных подхода: полиольный синтез, сольвотермальный синтез и восстановление в водных растворах. Фазовый состав полученных образцов был определен с помощью рентгенофазового анализа. Размеры частиц меди определяли двумя методами: турбидиметрическим и по микрофотографиям сканирующего электронного микроскопа. Наибольшую антибактериальную активность на штаммы *Escherichia coli* проявили наночастицы меди полученные с помощью полиольного метода и сольвотермального метода. В ходе проведенных исследований выявлено, что при воздействии наночастиц на бактериальные тест-культуры *Escherichia coli* существует зависимость их антибактериальных свойств от размера наночастиц. Показано, что размеры частиц, полученные двумя методами коррелируют между собой, что говорит об отсутствии агломерации частиц в растворе. Это делает полученные частицы перспективными для использования в различных средах.

Ключевые слова: наночастицы, синтез наночастиц, медь, антибактериальные свойства.

А.Қ. Абдигаппар¹, О.М. Осмоловская², Ж.Б. Оспанова¹

¹Әл -Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті, 050040, Алматы, Қазақстан

²Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, 199034, Санкт-Петербург, Ресей
e-mail: kaisarovna@bk.ru

МЫС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ СИНТЕЗІ МЕН АНТИБАКТЕРИАЛДЫҚ ҚАСИЕТІ

Аннотация. Мыс нанобөлшектеріне қызығушылық оның бактерицидтік және микробқа қарсы қасиеттеріне байланысты, бұл оған негізделген материалдарды биология мен медицинада қолдануға мүмкіндік береді. Зерттеулерді талдау мыс нанобөлшектердің бактерицидтік

белсенділігін олардың арзан және қоршаған ортаға қауіпті болуына байланысты пайдалану мүмкіндігін көрсетеді. Жұмыстың негізгі және басты мақсаты мыс нанобөлшектерін әр түрлі эксперименталдық әдіспен алу, сонымен қатар, нанобөлшектердің өлшемі мен антибактериалды қасиеттерін жан - жақты анықтау болып табылды. Мыс нанобөлшектерін алу үшін үш түрлі әдіс: полиольды синтез, сольвотермальды синтез және сулы ерітінділерде тотықсыздандыру қолданылды. Үлгілердің фазалық құрамы рентгенофазалық талдау көмегімен анықталды. Мыс бөлшектерінің өлшемдері екі түрлі әдіспен: турбидиметриялық және сканерлеуші электрондық микроскоп микросуреттері арқылы анықталды. Полиольды және сольвотермальды әдіспен алынған мыс нанобөлшектері *Esheria coli* штамдарына ең үлкен антибактериалды белсенділік көрсетті. Жүргізілген зерттеу барысында, *Esheria coli* бактериялды тест-жиынтығына нанобөлшектердің әсерінен олардың антибактериалды қасиетінің нанобөлшек өлшеміне тәуелділігі болатыны анықталды. Екі әдіспен алынған бөлшектердің өлшемдері бір-бірімен сәйкес келетіні көрсетілді, бұл ерітіндіде бөлшектер агрегациясының жоқтығын көрсетеді. Бұл алынған бөлшектерді әр түрлі ортада қолдануға болашағы зор екендігін көрсетеді.

Кілт сөздер: нанобөлшектер, синтез, мыс, антибактериалды қасиеттер

A.K. Abdigappar¹, O.M. Osmolovskaya², Zh.B. Ospanova¹

¹*Al - Farabi Kazakh National University, 050040, Almaty, Kazakhstan*

²*St. Petersburg State University, 199034, St. Petersburg, Russia*

e-mail: kaisarovna@bk.ru

SYNTHESIS OF CU NANOPARTICLES AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES

Annotation. Interest in copper nanoparticles is due to its bactericidal and antimicrobial properties, which allows the use of materials based on it in biology and medicine. Analysis of the studies shows the promise of using the bactericidal activity of copper nanoparticles due to their low cost and relatively low environmental hazard. The aim of this work was to obtain copper nanoparticles by various methods, as well as determining the size of nanoparticles and their bactericidal activity. To obtain copper nanoparticles, three main approaches were used: polyol synthesis, solvothermal synthesis, and reduction in aqueous solutions. The phase composition of the samples was determined using x-ray phase analysis. The particle sizes of copper were determined by two methods: turbidimetric and SEM micrographs. The highest antibacterial activity on strains of *Esheria coli* was shown by copper nanoparticles obtained using the polyol method and the solvothermal method. During the studies, it was revealed that when nanoparticles are exposed to the bacterial test cultures of *Esheria coli*, their antibacterial properties depend on the size of the nanoparticles.

Keywords: nanoparticles, synthesis of nanoparticles, copper, antibacterial properties.

А.С.Нодяров , С.А.Хохлов 

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,

Алматы, 050040, Қазақстан

*E-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com

IRAS 22023+5249 ЖӘНЕ IRAS 22150+6109 ЖҰЛДЫЗДАРЫНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯЛЫҚ ДЕҢГЕЙІН АНЫҚТАУ

Аннотация. Бұл жұмыс бас тізбекке дейінгі Ae/Be Хербиг типті жас объектілерді зерттеуге арналған. Фотометриялық критерийлеріне сәйкес Ae/Be Хербиг типтегі жас объектілер де ИҚ артылуы және эмиссиялық сызықтары бар протопланеталық жұлдыздарға жақын келеді. Зерттеліп жатқан Ae/Be Хербиг типтегі жас объектілермен ИҚ каталог тізімі IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 жұлдыздарымен толықтырылды. Мұнда Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясындағы 1 метрлік оптикалық телескоппен алынған UBVRI Джонсон жүйесіндегі инфрақызыл сәулеленуінің артылуы бар (IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109) екі жұлдыздың көп түсті фотометриялық бақылауларының нәтижелері ұсынылған. Бұл объектілер IRAS каталогы мен эмиссиялық сызықты галактикалық ыстық жұлдыздар каталогы арасындағы координаталық сәйкестендіріп іздеу нәтижесінде табылған. Ертеде бұл объектілер спектрдің H α аймағында эмиссиясы бар жұлдыздар ретінде белгілі еді, бірақ бұл кезде олардың оптикалық бақылаулары жүргізілмеген болатын. Жәрияланған нәтижелер мен осы алынған мәліметтерді бірге талдау жасау бізге объектілердің физикалық параметрлерін бағалауға және олардың эволюциялық деңгейін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеулер IRAS 22023+5249 жұлдызының эволюциясы дамыған, яғни прото-планетарлық тұмандық болуы мүмкін екендігін, ал IRAS 22150+6109 жұлдызының жас жұлдыз екенін көрсетті.

Түйін сөздер: ерте тип – жұлдыз, эволюция – жұлдыз, IRAS 22023 + 5249 және IRAS 22150+6109, жұлдыз маңындағы зат, инфрақызыл сәулелену, планетарлық тұмандық

Кіріспе

Ыстық жұлдыздардың спектрінде эмиссиялық сызықтардың болуы, олардың маңайының айтарлықтай мөлшерде газ және тозаң түріндегі материалмен қоршалғандығын айтады. Газ да, тозаң да орталық жұлдыздың сәулеленуінің бір бөлігін қармап алады және оны спектрдің инфрақызыл (ИҚ) диапазонында қайта сәулелендіреді. Сәулелену жұлдыздың фотосферасынан шығатын, оның деңгейімен салыстырмалы артық ИҚ сәулеленумен құрылады. Эмиссиялық сызықтардың параметрлері (мысалы, қарқындылық және профиль формасы), сондай-ақ жұлдыздық шама және артық ИҚ-дың формасы объектінің эволюциялық статусын анықтауға жиі мүмкіндік береді. Мысалы, Ae/Be Хербиг типтегі жұлдыздар деп аталатын Бас тізбекке дейінгі сатыдағы жас ыстық жұлдыздар күшті артылуды жақын ИҚ-мен қатар (1-5 микрон), алыс ИҚ диапазонда да

(20-100 микрон) көрсетеді [1]. Мұндай артылулар жұлдыздан кең интервал аралығында үлестірілетін және сублимация температурасына жақын (шамамен 1500 K), максималды температураға ие тозаң шығарады. Басқа жағынан, көне эволюциялық даму кезеңінен кейінгі жұлдыздар сипаттамалық температурасы 100 K шамасындағы жұлдыздан алыс, суық тозаңның сәулеленуімен байланысты, суық алыптар кезеңіне дейін және әрі қарай планетарлық тұмандық кезеңінде тек қана алыс ИҚ диапазондағы артылуды көрсетеді. Мұндай айырмашылық тозаңды қабықшаның құрылу механизмімен және оның жұлдыз айналасындағы өмір сүру уақытымен байланысты. Жас жұлдыздарда қабықша протожұлдыздық бұлттың қалдықтарынан құрылады және ыстық тозаң жұлдыз айналасында, сол қабықша Бас тізбекке шыққанға дейін сақталуы мүмкін. Планетарлық тұмандық (Прото-

Планетарлық Тұмандық деген атпен танымал, әрі қарай ППТ) кезеңіне даму жолындағы жұлдыздарда, тозаң суық алыптар кезеңінің алдындағы кезеңде пайда болған [2]. Жұлдыз қайтадан ыстық болған уақытта жұлдыздардың жақын айналасынан заттардың қуатты өтуінен, суық заттарды қалдырып, тек қана ыстық тозаң үрлеп шығарады.

Бірақта объектінің типін тек қана оның ИҚ сәулеленуінен анықтауға болмайды. Ондай жұлдыздардың ИҚ артылуының формасы, Бас тізбектегі Вега типтес жас жұлдыздар және ППТ сияқты, мүмкін бір-біріне өте ұқсас [3]. Бұдан басқа, жақын ИҚ сәулеленудің артылуын күшті азайтады, осылайша артылуды толқын ұзындығы көбірек эволюциялық даму кезеңінен кейінгі объектінің артылуына жасырады. Осының себебінен өзінің жақын маңайынан тозаң үрлеп шығаратын, Бас тізбек кезеңіне дейінгі жас массивті жұлдыздар өте күшті жұлдыздық желге ие болуы мүмкін. Сондықтан мұндай объектілерді оптикалық диапазонда бақылау өте маңызды. Спектрлік бақылаулар Вега типтегі жұлдыздардың күшті эмиссиялық сызықтарының жоқ екенін көрсетеді, онда ППТ ретінде күшті эмиссиялық спектрі бар болады. Фотометриялық бақылаулар орталық жұлдыздардың параметрлерін, сондай-ақ жұлдызаралық (және жұлдыз маңайындағы) жұтылуды, арақашықтықты және жарқырауды бағалауға рұқсат етеді. Ал жұлдыздың температурасымен бірге, жоғарыда айтылған соңғы факторлар, олардың эволюциялық статусы жайында айтуға мүмкіндік береді. Миллионның төрттен бір бөлігіне жуық нүктелік объектіні тіркеген, IRAS жасанды серігімен (спутник) аспанды ИҚ шолуды орындағаннан кейін, көптеген жұмыстар олардың оптикалық ұқсастықтарын анықтауға бағытталған болатын [4]. Бұл зерттеулер жаңа объектілердің тұтас бір классын (Вега типтес жұлдыздар және ППТ) анықтауға ғана емес, сондай-ақ танымал класстардағы жаңа жұлдыз өкілдерін (Аe/Ве Хербиг, В[e] жұлдыздары және т.б.) табуға да мүмкіндік берді [5]. Кезекті осындай объектілерді жете бақылау жұлдыздардың параметрлерін және

жұлдыз маңайындағы қабықшаларды анықтауға алып келді, нәтижесінде біздің жұлдыздық эволюция жөніндегі ұсынысымызды жетілдірді.

Бұл жұмыста ИҚ көзбен байланысты IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 аз зерттелген екі жұлдыздың бақылау нәтижелері келтіріледі. Жұлдыздар IRAS каталогы және эмиссиялық сызықты галактикалық ыстық жұлдыздар каталогы арасындағы координаталық сәйкестендіріп іздеу нәтижесінде табылған [6-7]. SIMBAD астрономиялық мәліметтер базасы сол объектілер бақыланған уақыттағы жағдайы бойынша, осы екі объектінің оптикалық бақылауларының нәтижелері келтірілуі керек, ешқандай ғылыми жұмысқа сілтеме бермейді. Сондықтан таңдалған объектілердің физикалық параметрлерін анықтау және олардың эволюциялық статусы туралы қорытынды жасау мақсатында фотометриялық бақылау жүргізілді.

Объектілерді бақылау

Джонсонның UBVRi жүйесіндегі фотометриялық бақылаулар Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясындағы (ТШАО) 1 метрлік телескоппен, фотометр-поляриметр ФПЗУ көмегімен жүргізілді [8]. Бақылаулар кезінде өлшемі 26" болатын диафрагма пайдаланылды. Фонды автоматты түрде азайту 84" арақашықтықтан орындалды.

IRAS 22023+5249 жұлдызын бақылау кезінде салыстыру жұлдызы қызметін HD 209870 (спектрлік классы A2) атқарды, ал IRAS 22150+6109 жұлдызын бақылау кезінде – HD 211589 (спектрлік классы A3). Салыстыру жұлдыздарының BVR жолақтарындағы фотометриясы [9] каталогта келтірілген, (U-B) және (R-I) түс көрсеткіштері түн ішінде бірқатар стандартты жұлдыздарға жалғастыру арқылы бізбен анықталды. Салыстыру жұлдыздарының UBVRi жүйесіндегі фотометриясы 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Салыстыру жұлдыздарын фотометриялық бақылау нәтижелері

HD	V	U-B	B-V	V-R	R-I
----	---	-----	-----	-----	-----

209870	7.29	0.10	0.14	0.11	0.06
211589	7.10	0.07	0.15	0.12	0.07

Өлшеу қателігі 0.02 жұлдыздық шамадан аспайды. Тіркеу жүйесінің сызықтық дәрижесінің жоғары болуы, жарқылы – зерттеліп жатқан объектілердің жарқылынан 5-7 жұлдыздық шамаға артық салыстыру жұлдыздарын қолдануға мүмкіндік береді. Біздің зерттеп жатқан объектілеріміздегі бұл айырмашылық IRAS 22023+5249 үшін 5.2^m жұлдыздық шаманы және IRAS 22150+6109 үшін 3.7^m жұлдыздық шаманы құрайды.

Фотометрдің оптикалық осіне қатысты объектінің екі түрлі орналасуында, объектілерден келетін сәулелену әрбір фильтрде 2-3 минут ішінде тіркелді, сондықтан да фон объектінің екі жағынан алынды. Салыстыру жұлдыздары объектіні тікелей бақылағанға дейін немесе бақылағаннан кейін 1-2 рет бақыланды. Жүйенің сезімталдылығы әрбір түн ішінде 10-15 стандартты жұлдызды бақылаумен қадағаланды. Өлшеу қателіктері, аспаптық жүйеден стандартты жүйеге ауысуды есепке алғанда UBВ жолақтарында 0.01-0.02 жұлдыздық шаманы және RІ жолақтарында 0.02-0.04 жұлдыздық шаманы құрайды. Бақылау күндері Юлиан күндерімен келтірілген, бүкіл әлемдік уақытпен қайта есептелуде. Объектілердің бақылау нәтижелері 2 кестеде келтірілген.

Фотометрлік мәліметтерді талдау

Біздің 2 жыл уақыт аралығында жүргізген фотометриялық бақылауларымыз, екі объектінің де жарқылының әлсіз айнымалылығының шамамен 20% (0.2 жұлдыздық шама) екенін көрсетті. Автоматтандырылған телескоп арқылы түсірілген жұлдыз суретіне IRAF программалық пакеті көмегімен өңдеу жасалды және сәйкесінше UBВRI фотометриялық жолақтарындағы жұлдыздық шамалар анықталды. IRAF программалық пакеті көмегімен өңдеу жасау үлгісі қосымша А көрсетілген.

2-кесте. IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 жұлдыздарының фотометриялық бақылау нәтижелері

IRAS 22023+5249					
JD	V	U-B	B-V	V-R	R-I
2450000					
+					
340.29	12.53	-0.64	0.44	0.46	0.29
340.32	12.50	-0.57	0.43	0.48	0.25
353.25	12.51	-0.57	0.42	0.47	0.27
417.04	12.44	-0.73	0.48	0.52	0.37
425.06	12.61	-0.67	0.40	0.39	0.18
428.06	12.49	-0.68	0.53	0.41	0.22
433.09	12.43	-0.51	0.42	0.38	0.16
439.11	12.39	-0.64	0.55	0.47	0.12
1037.39	12.40	-0.58	0.46	0.40	0.27
1039.44	12.45	-0.56	0.41	0.43	0.24
1060.41	12.43	-0.63	0.45	0.39	0.16
IRAS 22150+6109					
JD	V	U-B	B-V	V-R	R-I
2450000					
+					
340.35	10.84	-0.40	0.39	0.42	0.25
353.26	10.88	-0.40	0.43	0.37	0.28
417.07	10.85	-0.37	0.44	0.37	0.29
420.05	10.69	-0.32	0.51	0.30	0.24
424.07	10.93	-0.42	0.44	0.41	0.35
425.08	10.85	-0.40	0.47	0.39	0.27
429.07	10.80	-0.39	0.47	0.45	0.32
1039.37	10.80	-0.27	0.46	0.42	0.28
1044.34	10.76	-0.33	0.45	0.38	0.25
1060.36	10.82	-0.44	0.49	0.46	0.30

Мұндай айнымалылық ИҚ артылуы бар объектілер үшін әдеттегі болып табылады, ол көру шегіндегі жұлдыз маңайындағы газдың және тозаңның үлестірілуінің өзгерісімен байланысты болуы мүмкін. Сонымен біз екі жұлдыздың да спектріндегі энергия үлестірілуінің формасын жеткілікті түрде сенімді анықтай алмыз. Ол үшін біз өзіміздің нәтижелерімізбен қоса, ИҚ фотометрияда жарияланған, 2MASS жердегі барлау каталогтарында (JHK жолақтары, 1.2-2.2 микрон диапазонда), MSX (8-21 микрон диапазонда,) және IRAS (12-100 микрон диапазонда) жасанды серіктерінің каталогтарында келтірілген нәтижелерді қолданамыз [10]. Сонымен тұрғызылған спектрдегі энергияның үлестірілуі (РЭС) 1-суретте келтірілген (Қосымша 1).

Екі объектінің де оптикалық түс көрсеткіштер, ерте кезеңдегі В спектралдық классының төменгі класстарына жатуы мүмкін, қызарған ыстық жұлдыз екенін көрсетеді. (U-B) және (B-V) түс көрсеткіштерінің орташаланған комбинациясы

IRAS 22023+5249 үшін B0 спектралдық классына және IRAS 22150+6109 үшін B3 спектралдық классына жататындығын көрсетеді. Қосынды (жұлдызаралық және жұлдыз маңайлық) жұтылу сәйкесінше 2.3 ± 0.2 және 2.0 ± 0.1 жұлдыздық шамаға тең. Біздің ИҚ артылуы бар жұлдыздарды зерттеу тәжірибеміз жұлдыз маңайлық жұтылудың толқындық тәуелділігі әдетте жұлдызаралық жұтылудың толқындық тәуелділігінен көп айырмашылығы жоқ екенін көрсетеді [11]. Сондықтан біз жұтылуды есепке алу үшін, жұлдызаралық жұтылудың орташа толқындық тәуелділігін пайдаландық [12]. Жұлдыз маңайлық ортасыз қалыпты жұлдыздар үшін, теориялық спектрдегі энергияның үлестірілуін салыстыру көрсеткендей, объектілердің спектрдегі энергия үлестірілуі $0.3 - 2$ микрон диапазонда моделдікпен сәйкес келеді. Бұл дерек біздің жұтылу сипаты туралы болжауымыздың дұрыстығын және объектілер қабықшасында ыстық тозаңның жоқ екенін көрсетеді. Бірақта ИҚ диапазондағы объектілердің спектрдегі энергия үлестірілуі айтарлықтай өзгешеленеді. Егер IRAS 22023+5249 спектрінде 20-30 микрон аумағында типтік ППТ үшін максимум қатысса, онда IRAS 22150+6109 келетін сәулелену ағыны 100 микронға дейін, ұзын толқынды аумаққа қарай өсуін жалғастырады. Соңғысы ППТ-ға қарағанда суығырақ тозаң күтуге болатын, планетарлық тұмандықтарда да сирек бақыланады [13]. Бұдан басқа, планетарлық тұмандықтардағы жұлдыздардың температурасы айтарлықтай 30000 К-нен жоғары. Нәтижесінде біздің IRAS 22150+6109 спектралдық классы үшін берген бағалауымызбен сәйкес келмейді. Бұл объектінің ИҚ артылу формасының мүмкін болатын түсіндірмесі, оның басқа эволюциялық кезеңде болуы [14].

Қорытындылар және талқылаулар

Біздің объектілердің зерттеулері бар әдебиеттердегі мәліметтерді зерттеу IRAS 22023+5249 жұлдызының кейбір жұмыстарда ППТ-қа кандидат ретінде қарастырылғандығын көрсетеді. Бірақта объектінің оптикалық сәулелену қасиеттері белгілі болмады. Біздің алған нәтижелеріміз оның сипаттық әлсіз оптикалық айнымалылығын

және күшті эмиссиялық спектрі болуы керек ППТ болуының ең ықтимал екендігін көрсетеді [2,14]. Осы эволюция кезеңіндегі аралық массалы жұлдыздардың (3-5 Күн массасындай) типтік жарқырауын жорамалдап және жоғарыда бағалаған жалпы жұтылуды еспке алып, объектіге дейінгі арақашықтық шамамен 9 кпк екенін аламыз [15]. Бұл объект бағытындағы жұлдызаралық жұтылудың өзгеру заңымен үйлеседі. Мұндай үлкен арақашықтықта жұлдыз айналасындағы тұмандыққа рұқсат ету қиын, әсіресе егер ол жақында ғана пайда болған болса [16]. Шынымен де, IRAS 22023+5249 планетарлық тұмандықтар тізімінен саналмайды.

Объектілердің спектріндегі энергия үлестірілуінің (РЭС) оптикалық және жақын ИҚ диапазондардағы ұқсас болып көрінетіндігіне қарамастан, IRAS 22150+6109 планетарлық тұмандық болуы үшін, оның температурасы өте төмен. Оның спектріндегі энергия үлестірілуінде 100 микрондағы бақыланып отырған сәулелену ағынының сипаттамалық құлдырауы жоқ [17]. Басқа жағынан, объект бағытында, әдетте жас жұлдыздарда бақыланып отырған СО сызығында сәулелену тіркелді [18]. Одан басқа IRAS 22150+6109 жұлдызы, жұлдыз түзілуінің белсенді аумағы болып саналатын және 900 пк арақашықтықтағы L 1188 қараңғы бұлттың аумағында орналасқан [19]. Мұндай қашықтықта объект бастапқы Бас тізбекке сәйкес – 1.0 визуалды жұлдыздық шамаға ие болады [20]. Сондықтан B3 спектралдық классындағы жұлдыздардың бастапқы массасы шамамен 6-8 Күн массасындай, ол бастапқы Бас тізбекке жақын аймақта өзінің протожұлдыздық тозаңынан пайда болуы керек [21]. Спектрдегі энергия үлестірілуінің бақылаулары көрсеткендей, тепе-теңдік температурасы шамамен 300-500 К-нен аспайтын, күшті жұлдыздық жел, мұндай жұлдызға жұлдыз маңайындағы тозаңды біраз арақашықтыққа қууға көмектеседі. $H\alpha$ сызығындағы эмиссияның байқалуынан, жұлдыздың, әлі де жұлдыздық желі бар болуы мүмкін екендігі шығады. Желдің қасиеттері әлі жүргізілмеген, үлкен рұқсат етуге ие, спектралдық бақылаулардан анықталуы мүмкін [22].

Сонымен біздің IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 екі ИҚ объектіні оптикалық бақылауымыз, жұлдыздардың параметрлерін бағалауға және олардың эволюциялық статусы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Соңғылары жарияланған мәліметтермен келісілген болып табылады. Объектілердің жоғары рұқсат етудегі спектралды бақылаулар жұлдыздардың физикалық параметрлерін айқындауға және жұлдыздық желдің сипаттамаларын анықтауға қажетті [23].

Әдебиеттер тізімі

- 1 Herbig G.H., *Astrophys.J., Suppl.Ser.*, v.4, p.337-368, (1960).
<https://doi.org/10.1086/190050>.
- 2 Harvey P.M., Thronson H.A. and Gatley I., Far-infrared observations of optical emission-line stars: evidence for extensive cool dust clouds. *Astrophys.J.*, v.231, p.115-123, (2009).
- 3 Бергнер Ю.К., Мирошнеченко А., Юдин В.В., Ютанов Н., Джакушева К., Куратов К.С., Муқанов Д.Б., *Переменные звезды*, 22, 890-892, (2009).
- 4 Cohen M. and Schwarz R.D., Infrared observations of young stars - VII. Simultaneous optical and infrared monitoring for variability, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.*, v.174, p.137-155, (1996).
- 5 Canto J., Rodriguez L.F., Calvet N. and Levreault R.M., Stellar winds and molecular clouds: Herbig Be and Ae type stars, *Astrophys. J.*, v.282, p.631-640, (2004).
- 6 Bergner Y.K., Kuratov K.S. and Miroshnichenko A.S., *Proc. International Workshop on B(e) stars*, (eds.) Jaschek C. and Hubert A.M. Kluwer Acad. Publ., (2008).
- 7 Allen D.A. and Glass I.S., Emission-line stars with infrared dust emission: implications of the galactic distribution, *Mon.Notic.Roy.Astron.Soc.* v.170, p.579-587, (1995).
- 8 Бергнер Ю.К., Мирошнеченко А.С., Юдин Р.В., UBVRI фотометрия с использованием ФЭУ-138-І, *Известия ГАО АН СССР*, т.205, с.152-160, (1988).
- 9 Buscombe W., Каталоги UBV-фотометрии и спектральной классификации звезд, (1974-1988).
- 10 Berrilli F., Lorenzetti D., Saraceno D., Strafella F., Multiband photometry (8-13 mkm) of Herbig Ae/Be stars, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.*, v.228, p.833-8426 (1987).
- 11 Savage B.D. and Mathis J.S., Observed properties of interstellar dust, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, v.17, p.73-111. (1999).
- 12 Sitko M., Savage B.D. and Meade M.R., Ultraviolet observations of hot stars with circumstellar dust shells, *Astrophys.J.*, v.246, p.161-183. (2002).
- 13 T. M. Gledhill and K. P. Forde, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 447, Issue 2, 21 February 2015, Pages 1080-1095,
<https://doi.org/10.1093/mnras/stu2493>.
- 14 Sabbadin F. and Hamzaoglu E., Photographic and spectroscopic observations of planetary nebulae, *Astron. Astrophys.*, v.94, p.25-28, (2000).
- 15 Kuratov K.S. and Miroshnichenko A.S., *ASP conferens*, In The Nature and Evolutionary Stars of HAEBE Stars, Ser.62. P.134-137, Eds. Perer., Vanden Heuvce, . (1995).
- 16 V. Venkata Raman, B. G. Anandarao, P. Jannardhan and R. Pandey, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 470, Issue 2, September 2017, Pages 1593–1611,
<https://doi.org/10.1093/mnras/stx1237>.
- 17 Olga V. Zakhzhay, Anatoly S. Miroshnichenko, Kenesken S. Kuratov, Vladimir A. Zakhzhay, Serik A. Khokhlov, Sergey V. Zharikov and Nadine Manset, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 477, Issue 1, June 2018, Pages 977–982,
<https://doi.org/10.1093/mnras/sty679>.
- 18 Loren R.B., Van den Bout P.A. and Davis J.H., Carbon monoxide emission from nebulosity associated with Herbig Be and Ae type stars, *Astrophys.J.*, v.185, L67-L70, (1996).
- 19 Evans N.L., Levreault R.M., Harvey P.M., Far-infrared photometry of low - mass pre-main sequence stars with broad CO wings, *Astrophys.J.*, v.301, p.894-900, (2006).
- 20 Shane B. Vickers, David J. Frew, Quentin A. Parker, Ivan S. Bojičić, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 447, Issue 2, 21 February 2015, Pages 1673–1691,
<https://doi.org/10.1093/mnras/stu2383>.

21 P. S. Chen, J. Y. Liu and H. G. Shan, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 463, Issue 2, 01 December 2016, Pages 1162–1172,

<https://doi.org/10.1093/mnras/stw1757>

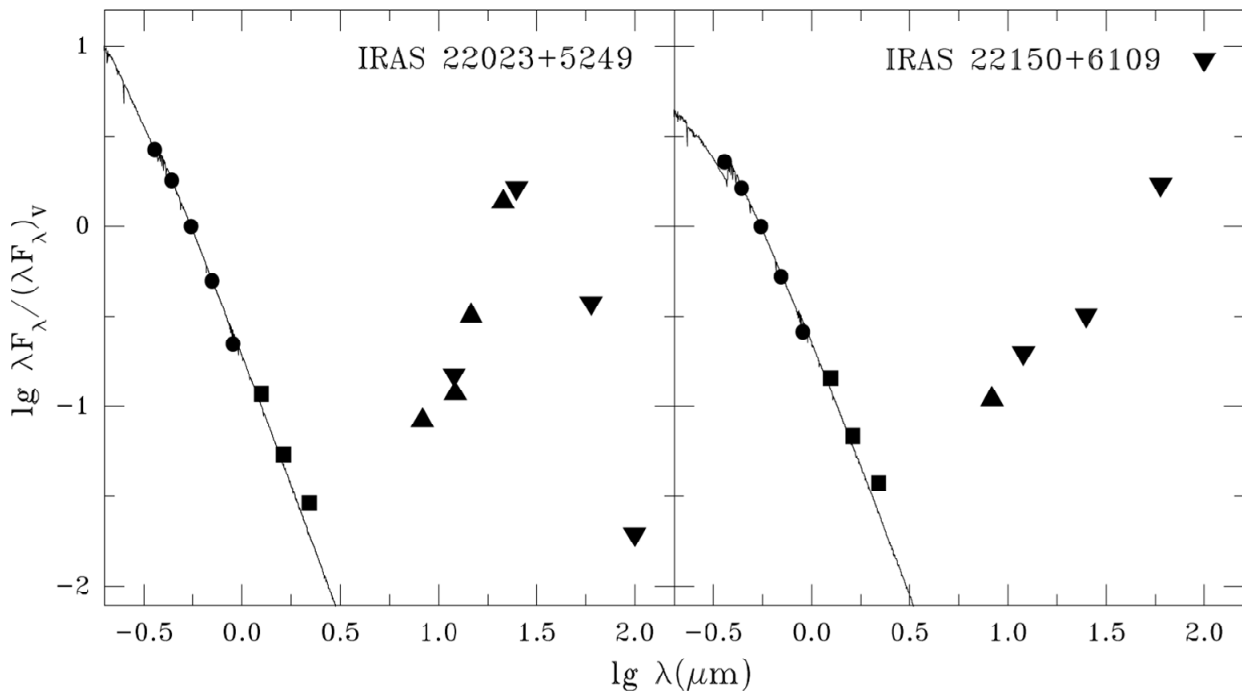
22 V. P. Arkhipova, M. Parthasarathy, N. P. Ikonnikova, M. Ishigaki, S. Hubrig, G. Sarkar and A. Y. Kniazev, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 481, Issue

3, December 2018, Pages 3935–3952, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2483>.

23 E. Szegedi-Elek, M. Kun, A. Moór, G. Marton and B. Reipurth, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 484, Issue 2, April 2019, Pages 1800–1814, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty3406>.

18.03.2020 басылымға қабылданды

Қосымша 1



1-сурет. IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 жұлдыздарының спектрдегі энергия үлестірілу графиктері. Жоғарыдағы графикте біздің бақылаулар шеңбермен, 2MASS каталогынан алған мәліметтер – шаршымен (квадрат), MSX – басы жоғары қараған үшбұрышпен, IRAS – басы төмен қараған үшбұрышпен белгіленген. Теориялық спектрдегі энергияның үлестірілуі (РЭС) температурасы 30000 К және гравитациясы $\lg g = 4.0$ (IRAS 22023+5249 үшін), сондай-ақ температурасы 19000 К және гравитациясы $\lg g = 4.0$ (IRAS 22150+6109 үшін) модельдер үшін тұтас сызықпен белгіленген.

Қарқындылықтары логарифмдік $\lg \lambda F_\lambda$ бірліктермен берілген және V (0.55 микрон) жолағында сәулелену қарқындылығына нормаланған. Толқын ұзындықтары логарифмдік шкала бойынша микронмен берілген.

А.С.Нодяров, С.А.Хохлов
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
**E-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com*

IRAS 22023+5249 ЖӘНЕ IRAS 22150+6109 ЖҰЛДЫЗДАРЫНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯЛЫҚ ДЕҢГЕЙІН АНЫҚТАУ

Аннотация. Бұл жұмыс бас тізбекке дейінгі Ae/Be Хербиг типті жас объектілерді зерттеуге арналған. Фотометриялық критерийлеріне сәйкес Ae/Be Хербиг типтегі жас объектілер де ИҚ артылуы және эмиссиялық сызықтары бар протопланеталық жұлдыздарға жақын келеді. Зерттеліп жатқан Ae/Be Хербиг типтегі жас объектілермен ИҚ каталог тізімі IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109 жұлдыздарымен толықтырылды. Мұнда Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясындағы 1 метрлік оптикалық телескоппен алынған UBVRI Джонсон жүйесіндегі инфрақызыл сәулеленуінің артылуы бар (IRAS 22023+5249 және IRAS 22150+6109) екі жұлдыздың көп түсті фотометриялық бақылауларының нәтижелері ұсынылған. Бұл объектілер IRAS каталогы мен эмиссиялық сызықты галактикалық ыстық жұлдыздар каталогы арасындағы координаталық сәйкестендіріп іздеу нәтижесінде табылған. Ертеде бұл объектілер спектрдің $H\alpha$ аймағында эмиссиясы бар жұлдыздар ретінде белгілі еді, бірақ бұл кезде олардың оптикалық бақылаулары жүргізілмеген болатын. Жәрияланған нәтижелер мен осы алынған мәліметтерді бірге талдау жасау бізге объектілердің физикалық параметрлерін бағалауға және олардың эволюциялық деңгейін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеулер IRAS 22023+5249 жұлдызының эволюциясы дамыған, яғни прото-планетарлық тұмандық болуы мүмкін екендігін, ал IRAS 22150+6109 жұлдызының жас жұлдыз екенін көрсетті.

Түйін сөздер: ерте тип – жұлдыз, эволюция – жұлдыз, IRAS 22023 + 5249 және IRAS 22150+6109, жұлдыз маңындағы зат, инфрақызыл сәулелену, планетарлық тұмандық

A.S.Nodyarov, S.A.Khokhlov
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, 050040, Kazakhstan
**E-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com*

DETERMINATION OF THE EVOLUTIONARY STATUS OF STARS IRAS 22023 + 5249 AND IRAS 22150 + 6109

Abstract. This work is devoted to the study of young Ae/Be Herbig type objects that are located up to the main sequence. According to photometric criteria, the young Ae/Be Herbig objects closely resemble protoplanetary stars, which also have IR excesses and emission lines. With the expansion of the list of young Ae/Be Herbig stars under study, stars IRAS 22023 + 5249 and IRAS 22150 + 6109 were included. Here are the results of multicolor photometric observations of two stars with an excess of infrared radiation (IRAS 22023 + 5249 and IRAS 22150 + 6109) in the UBVRI Johnson system, obtained with the 1-meter telescope of the Tien Shan Astronomical Observatory. These objects were found as a result of a search for coordinate correspondences between the IRAS catalog and the catalog of galactic hot stars with emission lines. Previously, IRAS 22023 + 5249 and IRAS 22150 + 6109 were known as stars with emission in the $H\alpha$ line, but their optical photometry was not performed. An analysis of the observed data together with the published results made it possible to evaluate the physical parameters of the objects and draw a conclusion about their evolutionary status. It is shown that IRAS 22023 + 5249 is most likely a proto-planetary nebula, and IRAS 22150 + 6109 is a young star

Keywords: Early-type – stars: evolution – stars: individual: IRAS 22023+5249 and IRAS 22150+6109; circumstellar matter – infrared: lines and bands – planetary nebulae.

А.С.Нодяров, С.А.Хохлов

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,

Алматы, 050040, Казахстан

**E-mail: nodyarov.atilkhan@gmail.com*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО СТАТУСА ЗВЕЗД IRAS 22023+5249 И IRAS 22150+6109

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию молодых объектов типа Ae/Be Хербига, которые находятся до главной последовательности (ГП). По фотометрическим критериям молодые объекты Ae/Be Хербига близко подходят к протопланетным звездам, которые также имеют ИК избытки и эмиссионные линии. При расширении списка исследуемых молодых звезд типа Ae/Be Хербига, были включены звезды IRAS 22023+5249 и IRAS 22150+6109. Здесь представлены результаты многоцветных фотометрических наблюдений двух звезд с избытком инфракрасного излучения (IRAS 22023+5249 и IRAS 22150+6109) в системе UBVRJ Джонсона, полученные на 1-метровом телескопе Тянь-Шаньской Астрономической Обсерватории. Данные объекты были найдены в результате поиска координатных соответствий между каталогом IRAS и каталогом галактических горячих звезд с эмиссионными линиями. Ранее IRAS 22023+5249 и IRAS 22150+6109 были известны как звезды с эмиссией в линии H α , но их оптическая фотометрия не проводилась. Анализ полученных наблюдаемых данных совместно с опубликованными результатами позволил оценить физические параметры объектов и сделать вывод об их эволюционном статусе. Показано, что IRAS 22023+5249 вероятнее всего является прото-планетарной туманностью, а IRAS 22150+6109 молодой звездой.

Ключевые слова: Ранний тип – звезды, эволюция – звезды, IRAS 22023 + 5249 и IRAS 22150+6109, околозвездное вещество, инфракрасное излучение, планетарные туманности

Д.А. Алимбетова¹ , А.Т. Агишев¹ , С.А. Хохлов¹ , Т. Көмеш^{1,2,3} ,
С. Сайланбек^{1,2,3}

¹ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;

² Синьцзян астрономиялық обсерваториясы, Қытай Ғылым Академиясы, Үрімші, ҚХР;

³ Қытай Ғылым Академиясының Университеті, Бейжің, ҚХР;

ИНФРАҚЫЗЫЛ N24 КӨПІРШІКТІҢ АЙНАЛАСЫНДАҒЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

Аннотация. Бұл жұмыс N24 – үлкен инфрақызыл көпіршігіндегі аммиак молекуласының NH₃(1,1) және NH₃(2,2) сәулеленуін бақылау мен өңдеуге арналады. Ұсынылған зерттеудің нәтижесі бұл өңірдегі жұлдыздың қалыптасу процесімен жұлдызаралық ортаның физикалық қасиеттерін анықтауға мүмкіндік береді.

Бақылау мәліметтері 2018 жылдың наурыз айында Қытай ғылым академиясының Синьцзяндік астрономиялық обсерваториясындағы 26-метрлік радиотелескобында, 23 ГГц радиотолқындар жиелігінде жиналды. Мәліметтерді өңдеу спектрлерге арналған GILDAS кестесінен алынған CLASS бағдарламасының көмегімен орындалды. Жылдамдық бойынша интегралдау аралығы 60-70 км/с аралығын құрады.

Нәтижесінде жұлдыздың қалыптасу аумағындағы зат үлестірілуі көрсетілді. Жұлдыз қалыптасу аумағының орны болып келетін интегралдық-интенсивтілік картасы тұрғызылды. Кеңейіп жатқан N24 көпіршіктің аумағында 23 өзек-орын бар екендігі көрсетілді. Тасымалдануға түсетін аммиак молекуласы жақсы корреляциясы негізінде, бұл аумақтағы жұлдыз қалыптасу интенсивтілігі тұрақты болатындығы анықталды. мұндағы өзектердің температурасы мен тығыздығы бір-біріне қарағанда өзгеше болатындығына көз жеткіздік. Осыдан аммиак NH₃(1,1) және NH₃(2,2) көпіршіктің аумағындағы өзектердің ішіндегі жоғары концентрациясы айтылып, тыс жерде кездеспейтіндігіне көз жеткізілді. Яғни, табылған өзектер жұлдыздардың қалыптасуының ең ерте кезіндегі орны екенін қорытындылады.

Түйін сөздер: аммиак NH₃(1,1) және NH₃(2,2), N24 көпіршік, молекулалық тұмандықтар.

Кіріспе

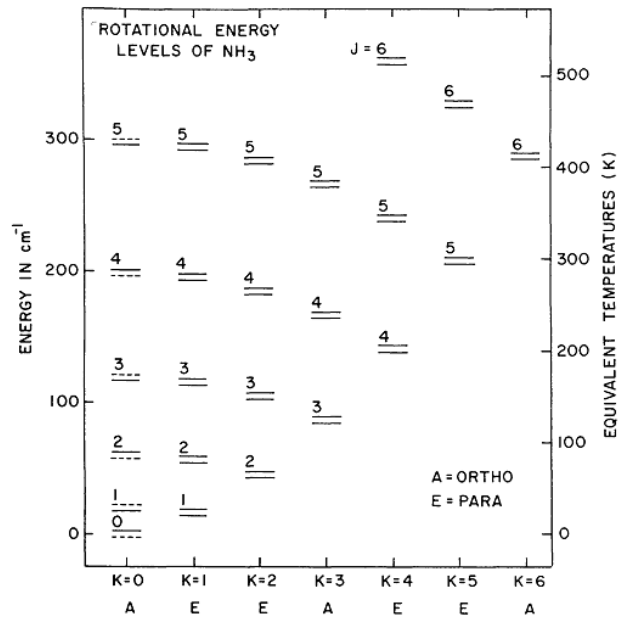
Аммиак NH₃ жұлдызаралық кеңістікте тіркелінген бірінші полиатомды молекула. Ол Ченгпен ашылып (1968ж), жұлдызаралық ортаны зерттеуге арналған баға жетпес құрал болып келеді [1]. Себебі маңыздылығы бойынша NH₃ карбон монооксидінен (CO) кейінгі орынды алады.

Пирамида пішінді NH₃ молекуласы инверсиясы бар симметриялық төбешікке жақсы мысал бола алады, содан микротолқынды спектроскопия зертханасынан түсіндіріле алады [2]. Атап айтқанда NH₃ астрофизикалық жағдайда бірнеше ерекше қасиетке ие болады. Оның метастабильді және метастабильді емес күйлер, пара- және орто-түрлері, молекуланың қозғалыс инверсиясы, аса жұқа құрылымы бар. NH₃ айналу кезіндегі энергиясы екі басты кванттық сандардың (J,K) функциясы болып келеді. Сәйкесінше

олар бұрыштық момент және оның молекулалық ось бойындағы проекциясы болып келеді. Егер осында оське көлденеңнен біршама вибрациялық қозу бар болса, молекулада дипольдік момент молекулалық ось бойында болады, және де диполь $\Delta K=0$; $\Delta J=0, \pm 1$ ережелерін орнатады. Егер K деңгейлер арасындағы дипольдік орын ауысулар (K-нің дәл сондай мәндерімен үйлеседі) тиім салынған болып келсе, айналу және вибрация қозғалыстары арасындағы өзара әсерлесу айналу осіне перпендикуляр болатын дипольдік момент тудырады. Ол тіпті вибрациялық күй өте әлсіз болған жағдайда да орын алады. Яғни, өз кезегінде баяу орын алмасулардың көбеюіне $\Delta K=\pm 3$ ($K=|K|$) әкеледі [3]. Сонымен қатар K деңгейлер бір-біріне тәуелді болып келеді. Молекула ішіндегі соқтығыстар (әлсіз магнит эффектісін ескермегенде) ΔK 3-тің мультиплеті (0-ді ескергенде) болатын орын

ауысуларды ұсынады. Әр K деңгейіндегі ең үстінгі ($J > K$) деңгейі метастабильді емес деп аталады, себебі олар алыс инфрақызыл $\Delta J = 1$ орын ауыстырулар арқылы тез ыдырай (10^{-10} с) алады. Ал ең төменгі деңгейлер көптеген баяу (10^9 с) $\Delta K = \pm 3$ орын ауыстырулар арқылы ыдырай алады және де метастабильді болады. Метастабильді емес деңгейлер қалыпты астрофизикалық күйлерде нашар қоныстандырылған болатыны анық, осы кезде метастабильді деңгейлер $\Delta K = 3$ соқтығысулары арқылы қоныстандырылады. Себебі NH_3 нақты екі күйлеріндегі спиндерінің бағдары болуы мүмкін. Сонымен қатар орто- NH_3 ($\Delta K = 3n$, n бүкіл H спиндерге параллель) және де пара- NH_3 ($\Delta K \neq 3n$, n бүкіл H спиндерге параллель емес) түрлері бар. Қалыпты жағдайда радиоактивті және соқтығысу орын алмасулары спиннің бағытын өзгерте алмайтындықтан, орто- және пара- NH_3 арасындағы орын ауысуларға тыйым салынған. ($\Delta K = 3$ орын ауысуы екі түрді араластырмайтынын ескеру керек.) Ченг (1969ж) баяу диапазонда орын алатын, орто- және пара- NH_3 араластырудың мысалдарын ұсынған еді [4]. Орто- және пара- NH_3 арасындағы айналу температурасы алғашқы күйлерді шағылдыруы мүмкін деген ұсынысты бастайды. Осындай түрде, айналу температурасы көбірек жаңа күйлерді шағылдыра алады. Әдетте айналған кезде NH_3 молекуласы вибрациялық қозғалысқа ұшырайды. Атап айтқанда, N атом H атомдардың кеңістігі арқылы кванттық механикалық тунелде бола алады. Керісінше көптеген планарлы емес молекулалар үшін, сондай-ақ тунелдену тез орындалу үшін H атомдары арасыда орналасқан потенциалдық барьер жеткілікті аз болып келеді. Нәтижесінде екі төменгі вибрациялық күйлер микротолқынды аралықта төмендейтін орын ауысу жиілігін қамтамасыз етеді. Сонымен барлық (J, K) айналу күйлері инверсиялық дублетке бөлінеді (тек $K=0$, осында ядроның спині статистикалық және симметриялық қарастырылатын элементтердің жартысы инверсиялық дублет болады). Симметриялық қарастырылумен $\Delta J = 0$, $\Delta K = 0$ дублеттер арқылы инверсиялық орын ауысулар рұқсат етіледі [2]. Осы инверсиялық ауысуларды бақылау жұлдыз аралық NH_3 туралы негізгі

ақпаратты құрайды. 1-суретте NH_3 айналу-инверсиялық энергия деңгейлерінің энергия диаграммасы берілген [5].

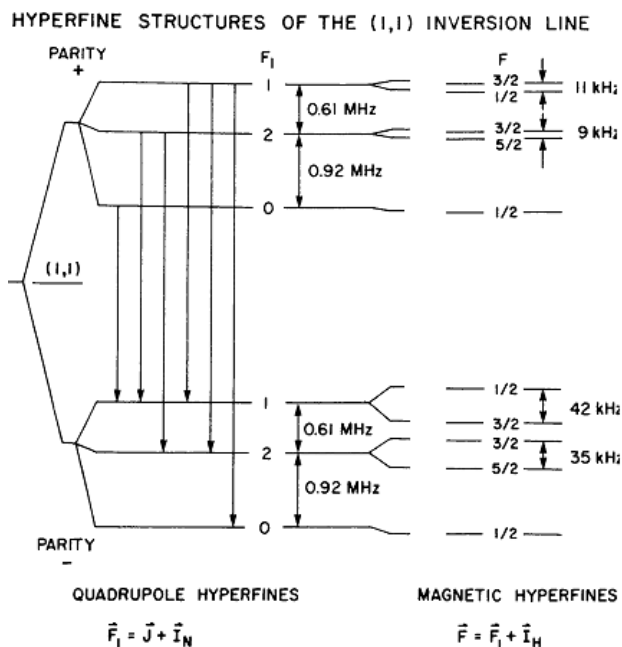


1 – сурет. Айналу-инверсиялық күйлердегі энергиялық деңгейлердің диаграммасы.

J импульс моменттің кванттық саны, K -молекулалық ось бойындағы импульс моментінің проекциясы.

Инверсиялық деңгейлер ендігері аса жұқа әсерлесу арқылы бөлінеді. Басты әсер N ядролардың квадрупольдік моменті мен электрондардың электрлік өрісі арасында болады. ^{14}N спиндері біріккен болғандықтан, дублеттің әрбір деңгейі ядроның бағыты арқылы 3 аса жұқа күйге ыдырайды. Нәтижесінде тасымалдаушы жиіліктің 5 ерекше құрамында. Бұл басты сызық ($\Delta F = 1$, $\Delta F_1 = J + I_n$, осында I_n азот спині) ең аз дегенде бүкіл интенсивтіліктің 50% ие болады. Және де интенсивтілігі шамамен тең екі жұп серіктес ($\Delta F = \pm 1$) сызықтар ~ 1 МГц арқылы басты сызықтардан бөлінеді. $J \cdot I_n$ және $J \cdot I$ жұптасуы арқылы әлсіз магниттік өзара әсерлесуі (мұнда I деп H спиндердің жиынтығын айтамыз) айқын болады. $\text{H}-\text{N}$ және $\text{H}-\text{H}$ спиндердің өзара әсерлесуі кезінде алдағы ыдырау ~ 40 МГц енгізіледі. $(J, K) = (1, 1)$ орын ауысулары үшін толығымен анық 18 аса жұқа компоненттері алынады. Ғаламшардағы әдеттегі Молекулалық бұлттар үшін электрлік аса жұқа құрылым төменгі метастабильді күй

үшін (1,1) және (2,2) жеңіл тіркеледі [6]. Жақын орналасқан қозғалмайтын қара бұлт үшін, тіпті магниттік аса жұқа құрылым реттелінген болып келеді [7]. Аса жұқа құрылымның үлкен жетістігі ол орын ауысулардың оптикалық тереңдігін шығарып алуға көмектеседі.



2 – сурет. (J,K) = (1,1) орын ауысулар кезіндегі аса жұқа ыдырау. Рұқсат етілген орын ауысулар көрсетілген [5].

Көптеген жағдайда жұлдыз аралық ортада төменгі температурада (10-10²K) молекулалық орын алмасуды қоздыру (H₂) суттегі молекулаларымен соқтығысу арқылы жүзеге асады. Жұлдыз аралық бұлттардағы инверсиялық сәулеленудегі NH₃ тіркеу осы бұлттардағы H₂ тығыздығы шамамен 10³ см⁻³, яғни өте жоғары екендігінің дәлелі бола алады. Жоғарғы деңгейлерден тыс кенеттен болатын радиоактивті бөлінулер мен соқтығысулар арасындағы жарысқа байланысты дара орын ауысулар термодинамикалық тепе-теңдікке жетуі мүмкін. Молекуланың артықшылығы болып барлық өткелдерді жауып тастайтын Эйнштейн А коэффициентінің аралығы болып есептеледі. Тіркелген орын ауыстырулардағы А мәндерінің тізімі 1 – ші кестеде берілген.

1 – кесте. Эйнштейннің А коэффициенттері.

Transition ^a	Frequency (Hz)	Energy ^b (K)	Einstein A (s ⁻¹)
(4, 2)	21.703358 × 10 ⁹	265.1	5.13 × 10 ⁻⁸
(2, 1)	23.098819 × 10 ⁹	80.6	5.15 × 10 ⁻⁸
(3, 2)	22.834185 × 10 ⁹	150.7	9.95 × 10 ⁻⁸
(4, 3)	22.688312 × 10 ⁹	239.0	1.32 × 10 ⁻⁷
(1, 1)	23.694495 × 10 ⁹	23.4	1.67 × 10 ⁻⁷
(2, 2)	23.722633 × 10 ⁹	64.9	2.23 × 10 ⁻⁷
(9, 8)	23.657471 × 10 ⁹	952.4	2.36 × 10 ⁻⁷
(3, 3)	23.870129 × 10 ⁹	124.5	2.56 × 10 ⁻⁷
(6, 6)	25.056025 × 10 ⁹	412.4	3.38 × 10 ⁻⁷
(4, 3) ^a → (3, 3) ^s	24.051244 × 10 ¹¹	239.0	6.79 × 10 ⁻²
(1, 0) → (0, 0)	57.249815 × 10 ¹⁰	28.6	1.57 × 10 ⁻³

Әдеттегі деңгейден деңгейге орын ауыстыру кезінде соқтығысулар үшін σ~10⁻¹⁵ және газ температурасы 10-10² K [8], ал соқтығысулар аралығы с ~4·10⁻⁶ c⁻¹[n(H₂)]. Соқтығысу дублеттердің төменгі метастабильді инверсиясына қарағанда басым болатыны анық. Осында тығыздығы сәйкесінше 10⁸-10⁹ см⁻³ болғанда метастабильді емес деңгейлердің толтырылуы талап етіледі.

Радиоактивті қарпу эффектісі әдеттегі алыс инфрақызыл орын ауысулардың оптикалық ортасын қоздыруға көмектеседі. Бұл берілген жағдайдағы радиациялық және өте жоғары тығыздықтың маңызды болатындығын көрсетеді. Айналу-вибрациялық аймақтардағы орын ауыстырулар қысқа радиоактивті өмірге ие және сондықтан жұлдыз маңындағы тығыздықтарда ғана байқалады [9], сонымен қатар бұл жерде жұтылумен байланысты эффектілер көп орын алады.

Бақылаулар мен мәліметтер дерекқорының мұрағаты

Молекулалық эмиссияны зерттеуге сәйкес, осы жерде ұсынылған NH₃ (1,1) (23,694495 ГГц) және NH₃ (2,2) (23,722633 ГГц) зерттеулерді жүргізу үшін 23,708564 ГГц жиілігі орнатылды. Осы бақылаулар 2018 жылдың наурыз айында Қытай ғылым академиясының Синьцзяндік астрономиялық обсерваториясымен басқарылатын 26-метрлік радиотелескоптан алынды. Бұл телескоптағы сәуле ені (максимумның жартысы болғанда толық ені, FWHM) шамамен 2' (383 парсек қашықтықта 0,22 парсек) және 23 ГГц жиілікте 0,098 км/с жылдамдығы бойынша ажыратқыштық қасиетке ие болып келеді, оны өткізу

жолағының 64 МГц режимінде 8192 арналы сандық филтреден аламыз. Спектрлік ағын периодты түрде калибрленген, әрбір 6 секунд сайын шу диодынан сигнал беріліп тұрды. Телескопты дәлдеу және басқару 18 сек.доғасынан кем емес болу керек. 23 ГГц жиілік кезінде жүйелі температурасы шамамен 50°K болатын қабылдаушы аспап ретінде 22-24,2 ГГц жиілікті қосарлы поляризацияланған арналы супергетеродин қолданылды. Карталар ауа-райы жақсы болғанда және биіктігі көкжиектен 20° жоғары кезде тор өлшемі 6' да 6' болатындай және 30" қадаммен on-the-fly (OTF) тәртібінде жинақталды және қолданылды.

Нәтижелер

Жылдамдықты-интегралды интенсивтілік жолағы (нөлдік момент) бар NH₃ (1,1) картасы көк рең түрінде және 3 суреттегі сұлба түрінде ұсынылған.

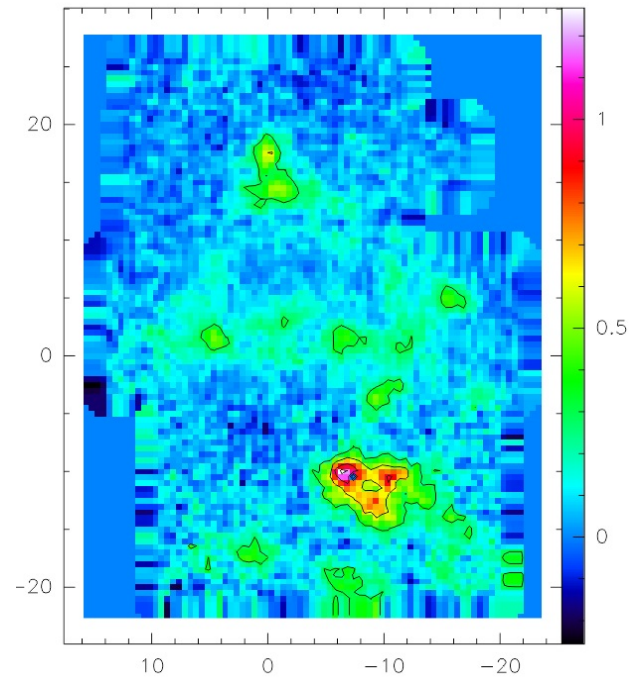
Біз қарастырған үлкен инфрақызыл көпіршік – N24 объектісі Галактикалық координаттар жүйесіндегі $l=18^{\circ}.908$, $b=-0^{\circ}.315$ центрі арқылы анықталатын, эффективті радиус 10'.93 тең объект.

Негізге NH₃ (1,1) жолағындағы бүкіл енді жабу үшін жылдамдық бойынша интегралдау аралығы 60-тен 70 км/с аралығын құрайды. Берілген зерттеу көпіршік N24 объектісінде жүргізілген. Осындағы тасымалдануға түсетін аммиак молекуласы жақсы корреляцияланатындығы көрсетілген. Осыдан бұл аумақта жұлдыз қалыптасу қозғалысының интенсивтілігі тұрақты болатындығы шығады. Ал ол барлық спектрлерге арналған GILDAS кестесінен алынған CLASS бағдарламасының көмегімен негізгі жолақтан экспортталады. ΔV арнасы аралығы (жылдамдық бойынша ажырату қасиеті), сонымен қатар N – интегралданған жылдамдық ауқымындағы арналар саны (60 - ден бастап 70 км/с дейін).

Қорытынды

Біз мульти толқын ұзындықты зерттеуді үлкен инфрақызыл Галактикалық N24 көпіршіктегі шаң мен газ түйіршіктерінің физикалық қасиеттерін зерттеу мен жұлдыз қалыптасуын түсіндіру мүмкіндіктерін Няньшань радиотелескобындай алынған мәліметтер арқылы ұсындық. Жүргізілген

зерттеу жұмыстарын келесідей қортындыласақ болады:



3 – сурет. NH₃ (1,1) жылдамдық пен интегралдық интенсивтіліктің картасы. Осында интегралдану 60-тан бастап 70км·с⁻¹ дейінгі аралықта таңдалды. Аммиактың эмиссия контурінің шегі 5σ –дан басталады және де 1σ қадам сайын көрсетілген. Түстер шкаласы К км·с⁻¹ өлшем бірлігінде берілген.

1) кеңейіп жатқан N24 көпіршіктің аумағында 23 өзек-орын бар екендігін анықтадық;

2) мұндағы өзектердің температурасы мен тығыздығы бір-біріне қарағанда өзгеше болатындығына көз жеткіздік;

3) осыдан аммиак NH₃ (1.1) және NH₃ (2.2) N24 көпіршіктің аумағындағы өзектердің ішінде болатындығы анықталынды, одан тыс жерде кездеспейтіндігіне көз жеткізілді;

4) нәтижесінде аммиак NH₃ (1.1) және NH₃ (2.2) орналасқан өзектер жұлдыздардың ең ерте кезде пайда болатын орны екені шықты.

Әдебиеттер тізімі

1 Cheung, A.C., Rank, D.M., Townes, C.H., Thornton, D.D., & Welch, W.J. (1968). Detection of NH₃ Molecules in the Interstellar

Medium by Their Microwave Emission. *Physical Review Letters*, 21(25), 1701.
2 Townes, C. H., & Schawlow, A. L. (2013). *Microwave spectroscopy*. Courier Corporation.
3 Oka, T., Shimizu, T., et al. (1971). *Ap.J. Lett.*, 165, L15-L19.
4 Cheung, A.C., et al. (1969). *Ap.J. Lett.*, 157, L13.
5 Paul, T.P., et al. (1983). *Astronomy & Astrophysics*, 21(239), 70.
6 Barret, A.H., Ho, T.P., Myers, P.C. (1977). *Ap.J. Lett.*, 211, L39.

7 Ho, T.P., Martin, R.N., Myers, P.C., Barrett, A.H. (1977). *Ap.J. Lett.*, 215, L29.
8 Green, S. (1980). Energy transfer in NH₃-He collisions. *The Journal of Chemical Physics*, 73(6), 2740-2750.
Betz, A.L., McLaren, R.A., et al. (1979). *Ap.J. Lett.*, 229, L97..

07.04.2020 басылымға қабылданды

Д.А. Алимбетова¹, А.Т. Агишев¹, С.А. Хохлов¹, Т. Көмеш^{1,2,3}, С. Сайланбек^{1,2,3}

¹ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;

² Синьцзян астрономиялық обсерваториясы, Қытай Ғылым Академиясы, Үрімші, ҚХР;

³ Қытай Ғылым Академиясының Университеті, Бейжің, ҚХР;

ИНФРАҚЫЗЫЛ N24 КӨПІРШІКТИҢ АЙНАЛАСЫНДАҒЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

Аннотация. Бұл жұмыс N24 – үлкен инфрақызыл көпіршігіндегі аммиак молекуласының NH₃(1,1) және NH₃(2,2) сәулеленуін бақылау мен өңдеуге арналады. Ұсынылған зерттеудің нәтижесі бұл өңірдегі жұлдыздың қалыптасу процесімен жұлдызаралық ортаның физикалық қасиеттерін анықтауға мүмкіндік береді.

Бақылау мәліметтері 2018 жылдың наурыз айында Қытай ғылым академиясының Синьцзяндік астрономиялық обсерваториясындағы 26-метрлік радиотелескобында, 23 ГГц радиотолқындар жиелігінде жиналды. Мәліметтерді өңдеу спектрлерге арналған GILDAS кестесінен алынған CLASS бағдарламасының көмегімен орындалды. Жылдамдық бойынша интегралдау аралығы 60-70 км/с аралығын құрады.

Нәтижесінде жұлдыздың қалыптасу аумағындағы зат үлестірілуі көрсетілді. Жұлдыз қалыптасу аумағының орны болып келетін интегралдық-интенсивтілік картасы түрғызылды. Кеңейіп жатқан N24 көпіршіктің аумағында 23 өзек-орын бар екендігі көрсетілді. Тасымалдануға түсетін аммиак молекуласы жақсы корреляциясы негізінде, бұл аумақтағы жұлдыз қалыптасу интенсивтілігі тұрақты болатындығы анықталды. мұндағы өзектердің температурасы мен тығыздығы бір-біріне қарағанда өзгеше болатындығына көз жеткіздік. Осыдан аммиак NH₃ (1,1) және NH₃ (2,2) көпіршіктің аумағындағы өзектердің ішіндегі жоғары концентрациясы айтылып, тыс жерде кездеспейтіндігіне көз жеткізілді. Яғни, табылған өзектер жұлдыздардың қалыптасуының ең ерте кезіндегі орны екенін қорытындылады.

Түйін сөздер: аммиак NH₃(1,1) және NH₃(2,2), N24 көпіршік, молекулалық тұмандықтар.

Д.А. Алимбетова¹, А.Т. Агишев¹, С.А. Хохлов¹, Т. Көмеш^{1,2,3}, С. Сайланбек^{1,2,3}

¹ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Қазақстан;

² Синьцзянская астрономическая обсерватория Китайской Академии наук, Урумчи, КНР;

³ Университет Китайской Академии наук, Пекин, КНР;

ФОРМИРОВАНИЕ ЗВЕЗД ВОКРУГ ИНФРАКРАСНОГО ПУЗЫРЯ N24

Аннотация. Данная работа посвящена наблюдению и анализу излучения молекулярного аммиака NH_3 (1,1) и NH_3 (2,2) в большом инфракрасном пузыре N24. Результаты проведенного исследования позволили определить физические свойства межзвездной среды в пузыре и оценить характер процесса звездообразования в области.

Данные наблюдений были получены в марте 2018 года на 26-метровом радиотелескопе в Синьцзянской астрономической обсерватории на частоте 23 ГГц. Обработка данных проводилась с использованием программы CLASS из стандартного пакета GILDAS для спектров. Диапазон интегрирования скорости составил 60-70 км/ч.

В результате расчетов показано распределение вещества в области звездообразования. Была построена карта интегральной интенсивности, которая является индикатором локализирующей область звездообразования. В наблюдаемом объеме расширяющегося пузыря N24 найдено 23 ядра. На основании корреляции в массах переносимой молекулой аммиака было установлено, что темп образования звезд в этой области происходит с постоянной скоростью. Мы обнаружили, что температура и плотность различных участков в пузыре значительно отличаются. Из этого следует, что высокая концентрация аммиака NH_3 (1,1) и NH_3 (2,2) имеет место только внутри ядер. Таким образом, мы пришли к выводу, что найденные ядра находятся на самой ранней стадии формирования.

Ключевые слова: аммиак NH_3 (1.1) и NH_3 (2.2), пузырь N24, молекулярное облако.

D.A. Alimbetova¹, A.T. Agishev¹, S.A. Khokhlov¹, T. Komesh^{1,2,3}, S. Sailanbek^{1,2,3}

¹ *al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;*

² *Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, P. R. China;*

³ *University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, P. R. China;*

STAR FORMATION AROUND INFRARED BUBBLE N24

Abstract: This work is devoted to the observation and analysis of the radiation of molecular ammonia NH_3 (1,1) and NH_3 (2,2) in a large N24 infrared bubble. The results of the study make it possible to determine the physical properties of the interstellar medium in the bubble and to evaluate characteristics of the star formation process in the region.

The observational data were obtained in March 2018 at a 26-meter radio telescope at the Xinjiang Astronomical Observatory at a frequency of 23 GHz. Data processing was carried out by using CLASS program from the standard GILDAS spectrum package. The range of integrated velocity was 60-70 km/h.

As a result of calculations, the distribution of matter in the region is shown. A map of integrated intensity, which is an indicator localizing the region of star formation was constructed. 23 prestellar cores were found in the observed volume in the expanding N24 bubble. Based on the correlation in the transferred masses of ammonia, constant rate of star formation in this region was found. Also, temperature and density of different areas in the bubble are significantly different. In consequence, high concentration of ammonia NH_3 (1,1) and NH_3 (2,2) takes place only inside the cores. Thus, we concluded that observed cores at early stage of star formation.

Keywords: ammonia NH_3 (1,1) and NH_3 (2,2), bubble N24, molecular clouds.

А.Е. Амантаева* , А.Т. Агишев 

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

*e-mail: amantayevainash@gmail.com

ҚЫСҚА ПЕРИОДТЫ КАТАКЛИЗМАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ИНФОРМАЦИЯЛЫҚ ЭНТРОПИЯСЫ

Аннотация. Бұл жұмыста қысқапериодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың WZ Sge типті 11 қысқа периодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздарының тыныштық күйдегі және жарқ ету кезіндегі, екі күйіне информациялық-энтропиялық талдауы жүргізілді. Олардың ішіндегі 4 жұлдыздың EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And тыныштық және жарқ ету кезіндегі спектрлерінде бақыланатын Бальмер профиліндегі H α сызығының уақыт шкаласында өзгерістері талданды. Зерттеу негізі ретінде квазирегулярлы, хаостық, стохастық процестер үшін информациялық энтропияның және оны нормалаудың жаңа әдісі қолданысқа ие болды. Бұл әдіс бойынша сандық классификациялау жүргізілді. Информациялық-энтропиялық әдіс шарттары негізінде табиғаты әр түрлі ашық жүйелерді сипаттауға қолданылуға мүмкіндік беретін, бақылау нәтижелерін өңдеу үшін сәйкес алгоритмі құрылды. Әдіс екі өлшемді процесстер үшін жалпыланып, нормаланды. Нормалау шарты ретінде толық біртектілік қабылданды. Нәтижесінде қысқапериодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың WZ Sge типті 4 жұлдызының EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And профильдерінің шартты, нормаланған энтропиясының температураға тәуелділігі тұрғызылып, сандық түрде олардың айырмашылығы көрсетілді. Жұмыстың нәтижесі бойынша қысқапериодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың фундаменталдық, физикалық параметрлері – температураны анықтаудың эмпирикалық әдісі ретінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информациялық энтропия, катаклизмалық айнымалы жұлдыздар, температура энтропиялық диаграмма.

Кіріспе

Астрофизикалық зерттеулердің қазіргі замандағы әдістерінің дамуы жұлдыздар қойнауындағы, олардың атмосфераларындағы, жұлдыз маңындағы ортаның, жұлдызаралық кеңістіктің физикалық заңдылықтарын анықтаумен тығыз байланысты. Астрофизикалық зерттеулерде қолданылатын, маңызды әдістердің бірі – информациялық энтропия теориясына және оның қолдануына сүйенеді. Информациялық энтропияны нормалап, және бақыланатын құбылыстардың физикалық табиғатын өзқауымдылық теориясының терминдерінде түсіндіру арқылы бұл процесстерді күрделілік дәрежесі бойынша сандық түрде жіктеуге болады. Басқаша айтқанда, қасиеттері бойынша әр түрлі процесстерді құрылымдылық тәртіптілік дәрежесі бойынша бөлуге мүмкіндік береді.

Информациялық энтропия күннің радиосәулелену сигналдарының және айнымалы жұлдыздардың уақыт бойынша

жарық қисығын сандық классификациялау үшін сәтті қолданылған жұмыстар бар [1]. Герцшпрунг – Рассел диаграммасындағы бас тізбектегі жұлдыздардың басым көпшілігі өзқауым, олардың нормаланған информациялық энтропиясы хаостық процесстер аймағында жатыр. Бұл әдіс, сондай-ақ, жұлдыздардың ұқсас түрлерін энтропиялық-метрикалық диаграммада топтастыра отырып, айнымалы жұлдыздарды түрлері бойынша топтастыруға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың негізі орбиталық периодтары бірнеше минуттан (~80 мин.) ондаған сағатқа дейінгі аралықта бақыланатын катаклизмалық айнымалы (CVs), тығыз қос жүйе жұлдыздарына жататын, қысқа периоды WZ Sge типті 11 жұлдыздың жарқ ету кезіндегі және тыныштық күйіндегі информациялық-энтропиясын бағалау арқылы талдау болып табылады. Стандартты модельде [2] бұл жүйелер бас тізбектің кеш спектралды

класында орналасқан жұлдыздың Рош кеңістігін толтырып, ақ ергежейліге тасымалдануын қарастырады.

Бақылаулар мен мәліметтер дерекқорлары

Спектралды бақылаулар Boller & Chivens спектрографымен және 2.1-метрлі OAN SPM телескопымен алынды. Спектрлер 3,03Å/пиксель дәлдігімен 4000Å-ден 7100Å-ге дейінгі диапазонды қамтыды. Сигнал/шуыл қатынасын жақсарту үшін біз фазалық спектрлер сериясын алдық: он спектр бір орбиталық кезең ішінде тең фазалық интервалдармен алынды (Период = 80,5 мин.). Спектрлердің бұл тізбегі келесі кезеңдер мен кейінгі түндерде дәл сол фаза интервалдарында қайталанды. Бұл бізге бірнеше цикл ішінде алынған бір орбиталық фазада спектрлерді қосу жолымен, уақыт бойынша дәлдікті азайтпай, фазасы бойынша орташаланған спектрлерді синтездеуге мүмкіндік берді.

Нәтижелер

Жұлдыздардың спектрлерінен информациялық энтропиялық сипаттамаларын анықтау үшін және қысқапериодты катаклизмалық айнымалы жұлдыз типі WZ Sge [3] ретінде жіктеу үшін 11 жұлдыздың [4] абсолюттік энергетикалық мәндері стандартты ағын бірліктеріне келтіріліп, IRAF программасында өңделді.

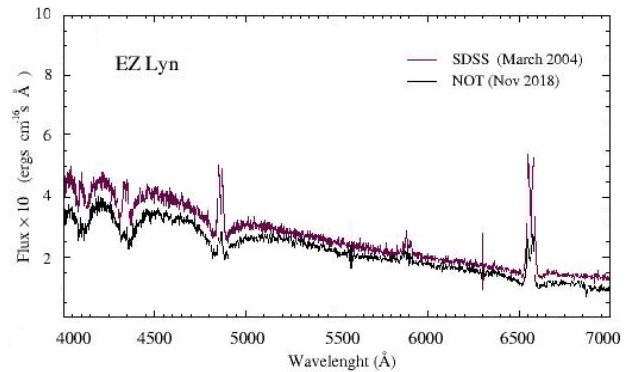
1 – кесте. WZ Sge [3] типті жұлдыздардың параметрлері.

№	Объект	P орб. (дни)	V	q	M1	M2	Twd	i
1	WZ SGe	0.0567	~15	0.092	0.85	0.078	13500	77
2	GW Lib	0.0533	19.1	0.060	0.84	0.05		11
3	V455 And	0.0563	16.5	0.060s		>M9	11500	83
4	AI Com	0.0567	19.1	0.060			16300	
5	SDSS 1035	0.057	18.7	0.055e	0.94	0.05	10100	83
6	V406 Vir	0.056	17.8	0.05	~1.0	0.05	12000	~70
7	EZ Lyn	0.059	17.8	0.05s	~0.9	0.045	13000	~70
8	EG Cnc	0.060	18.8	0.035s			12300	
9	RX 1050-14	0.062	17.6	<0.055v			13000	<65
10	GD 552	0.0713	16.6	<0.052v		<0.08	10900	<60
11	RE 1255	0.083	19.0	<0.064v	<0.9	<0.08	12000	<5

Жұлдыздардың тыныштық кезіндегі күйі жарқылдан кейінгі спектр аймағындағы энергияның күрт төмендеуімен сипатталады. Информациялық энтропия әдісін екі айнымалы үшін жазамыз [5]:

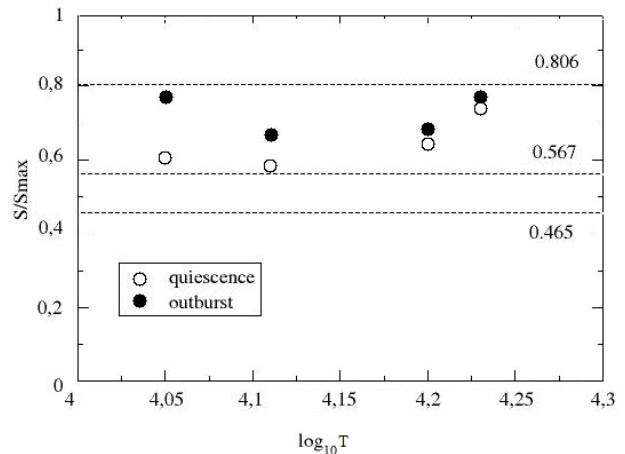
$$S(x, y) = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P(x_i, y_j) \ln(P(x_i, y_j)). \quad (1)$$

Кейбір қысқапериодты WZ Sge [3] типті катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың спектроскопиялық бақылаулары Бальмер профиліндегі Halfa сызығының уақыт шкаласында тыныштық және жарқ ету кезіндегі өзгерістерін айқын көрсетеді.



1 – сурет. Уақыт бойынша орташаланған EZ Lyn спектрінің калибрленген ағыны.

Энтропияны есептеу кезінде 4 жұлдыздың спектрлеріндегі энергия мәндері көрсетілді, ал басқа жұлдыздар мәндері есепке алынбады. Есептеу нәтижелері 2-суретте көрсетілген.



2 – сурет. Жұлдыздарының нормаланған информациялық энтропиясы (1)

Бұл ыстық компоненттен зат тасымалдануының айнымалылығын көрсетеді. Мұндай регулярлы емес өзгерістер жүйенің физикалық қасиеттерін анықтауға кедергі келтіруі мүмкін. Алайда, бұл процесстің ықтималдылық тұрғыдан

бағалауға мүмкіндік пайда болады. Сапалық өзгерістер сандық анықталуы мүмкін.

Алынған нәтижелер WZ Sge типіндегі қысқа мерзімді катаклизмалық айнымалы жұлдыздарды жіктеудің және оларды қысқа мерзімді катаклизмалық жұлдыздардың үлкен тобынан оқшауландыру мүмкіндігін көрсетеді. Жұлдыздардың информациялық энтропиялары, теорияға сәйкес, өз-ұқсастық аймағында орналасқан, сонымен қатар Цаллис статистикасын ескере отырып масштабты өзгермейтін құрылымы сипатталды [6]. Температура өскен сайн жарқылдың ықтималдық қасиеттері тыныш күйден айырмашылығы бәсеңдей түседі. Бұл айырмашылық температура азайған сайын басым. Яғни жұлдыз температуралары ұсынылған әдіспен эмпирикалық анықталуы мүмкін.

Қорытынды

Бұл жұмыста біз жұлдызды олардың энтропиялы сипаттамасына сәйкес спектрі бойынша топтауға болатын мүмкіндікті көрсеттік. Өртүрлі жұлдыздардың спектріндегі нормаланған энтропияның сандық мәні келтірілген критерийлер бойынша айырмашылығы – стохастылық пен өзқауымдастық айқын. Осындай әдіспен зерттелінетін құбылыстардың физикалық табиғаты да топтасу әртүрлілігі мен қолдау табады. Нәтежесінде катаклизмалық жұлдыздар профилдерінің шартты, нормаланған энтропиясының температураға тәуелділігі тұрғызылып, сандық түрде айырмашылығы көрсетілді. Жұмыстың нәтижесі катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың фундаменталдық, физикалық

параметрі – температураны анықтаудың эмпирикалық әдісі ретінде қолданылуы мүмкін

Әдебиеттер тізімі

1. Жанабаев З.Ж., Наурызбаева А.Ж., Алимгазинова Н.Ш., Бейсебаева А.С. Энтропийно-метрические характеристики астрофизических сигналов // Материалы 19-й международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – 2009. – С. 2–13.
 2. Warner B. Cataclysmic variable stars. – Cambridge University Press, 2003. – 596 p.
 3. Kato T., Sekine Y., Hirata R. HV Virginis and WZ Sge-type dwarf novae // Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2001. – Т. 53. – №. 6. – P. 1191-1210.
 4. Zharikov S. Short orbital period cataclysmic variables // The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects-III. – SISSA Medialab, 2017. – Т. 255. – P. 012.
 5. Zhanabaev Z. Z., Kozhagulov Y. T., Khokhlov S. A. Scale invariance criteria of dynamical chaos // International Journal of Mathematics and Physics. – 2013. – Vol. 4, – № 2. – P. 29–37.
- 1 Zhanabaev Z.Zh., Kozhagulov Y.T., Khokhlov S.A., Agishev A.T., Zhexebay D.M. Informational and entropic criteria of self-similarity of fractals and chaotic signals // International Journal of Mathematics and Physics. 2018. – Vol. 90, – № 1. – P.90–96.

10.04.2020 басылымға қабылданды

А.Е. Амантаева*, А.Т. Агишев

ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

**e-mail: amantayevainash@gmail.com*

ҚЫСҚА ПЕРИОДТЫ КАТАКЛИЗМАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ИНФОРМАЦИЯЛЫҚ ЭНТРОПИЯСЫ

Аннотация. Бұл жұмыста қысқапериодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздардың WZ Sge типті 11 қысқа периодты катаклизмалық айнымалы жұлдыздарының тыныштық күйдегі және жарқ ету кезіндегі, екі күйіне информациялық-энтропиялық талдауы жүргізілді. Олардың ішіндегі 4 жұлдыздың EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And тыныштық және жарқ ету кезіндегі спектрлерінде бақыланатын Бальмер профиліндегі $H\alpha$ сызығының уақыт шкаласында өзгерістері талданды. Зерттеу негізі ретінде квазирегулярлы, хаостық, стохастық

процесстер үшін информациялық энтропияның және оны нормалаудың жаңа әдісі қолданысқа ие болды. Бұл әдіс бойынша сандық классификациялау жүргізілді. Информациялық-энтропиялық әдіс шарттары негізінде табиғаты әр түрлі ашық жүйелерді сипаттауға қолданылуға мүмкіндік беретін, бақылау нәтижелерін өңдеу үшін сәйкес алгоритмі құрылды. Әдіс екі өлшемді процесстер үшін жалпыланып, нормаланды. Нормалау шарты ретінде толық біртектілік қабылданды. Нәтижесінде қысқапериодты катаклизмикалық айнымалы жұлдыздардың WZ Sge типті 4 жұлдызының EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And профильдерінің шартты, нормаланған энтропиясының температураға тәуелділігі тұрғызылып, сандық түрде олардың айырмашылығы көрсетілді. Жұмыстың нәтижесі бойынша қысқапериодты катаклизмикалық айнымалы жұлдыздардың фундаменталдық, физикалық параметрлері – температураны анықтаудың эмпирикалық әдісі ретінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информациялық энтропия, катаклизмалық айнымалы жұлдыздар, температура энтропиялық диаграмма.

А.Е. Амантаева*, А.Т. Агишев

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

**e-mail: amantayevainash@gmail.com*

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КАТАКЛИЗМИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Аннотация. В работе проведен информационно-энтропийный анализ излучения короткопериодических катаклизмических переменных звезд типа WZ Sge в спокойном состоянии и при вспышке. Для 4 звезд: EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And были проанализированы изменения линий $H\alpha$, серии Бальмера, на временной шкале. В качестве основного инструмента исследования был использован метод информационной энтропии, и ее нормировка для квазирегулярных, хаотических, стохастических процессов. По предложенному алгоритму проведена количественная классификация. На основе условий нормировки информационной энтропии и количественных критериев самоорганизации, используемых для описания хаотичности открытых систем, интерпретированы результаты вычислений. Данный метод обобщен и нормирован для двумерных процессов. В качестве условия нормирования использовался случай однородного распределения элементов двумерной энтропии. В результате получены температурные зависимости условной, нормированной энтропии для 4-х звезд типа WZ Sge: EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063+2638031, V455 And и приведены количественные различия. Результаты работы могут быть использованы в качестве эмпирического метода оценки температуры короткопериодических катаклизмических переменных звезд по наблюдаемым характеристам изменения излучения во время вспышек.

Ключевые слова: Информационная энтропия, переменные катаклизмические звезды, температурно энтропийная диаграмма.

А.Е. Amantayeva*, А.Т. Agishev

al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan;

**e-mail: amantayevainash@gmail.com*

INFORMATIONAL ENTROPY OF SHORT-PERIODICAL CATACLYSMIC VARIABLES STARS

Abstract: Work is devoted to implementing an information-entropy analysis for short-periodic cataclysmic variable stars of the WZ Sge type. Two different states are considered: normal and during a flare. Changes in the $H\alpha$ lines of the Balmer series on the timeline were analyzed for 4 stars of the

WZ Sge type: EZ Lyn, GW Lib, PNV J03093063 + 2638031, V455 And. The method of information entropy and its normalization for regular, chaotic, stochastic processes was used. According to the proposed algorithm, a quantitative classification is carried out. Based on the quantitative criteria for self-organization in accordance with normalizing conditions, which is described the randomness of open systems, our calculations were interpreted. This method is generalized and normalized for two-dimensional processes. Case of a uniform distribution of two-dimensional entropy elements was used. As a result, we obtained the temperature dependences of the conditional entropy and propose quantitative differences. The results of this work can be used as an empirical method for estimating the temperature of short-periodic cataclysmic variable stars by observed radiation.

Key words: Information entropy, variable cataclysmic stars, temperature-entropy diagram.

FTAMP 29.05.23; 29.05.29; 29.05.41

*Зазулин Д.М.^{1,2} , Кемелжанова С.Е.¹ , Эзау П.Д.³ ¹ *әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Қазақстан, Алматы*² *Ядролық Физика институты, Қазақстан, Алматы*³ *Петербург ядролық физика институты, Россия*

ГОЛОГРАФИЯЛЫҚ ЕКІ ЖАҚТЫЛЫҚ ӘДІСПЕН СИПАТТАЛҒАН НӨЛДІК ДЫБЫСЫ БАР ЖҮЙЕГЕ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ТЕРМОДИНАМИКАНЫ ҚОЛДАНУ

Аннотация. Термодинамика геометриясы әдісі аясында бұл жұмыста голографиялық дуальдік әдіспен болжанған нөлдік дыбысы бар жүйенің тепе-теңдік күйдегі алуан түрлілігінің қасиеттері зерттелді. Лежандр түрлендірулеріне қатысты инвариантты нәтижелер термодинамикалық потенциалды таңдауға тәуелсіз есептелінді. Осы қарастырылып отырған жүйе үшін тиісті метрикалар мен скалярлы қисықтар есептелініп, қасиеттері сипатталды. Голографиялық тәсіл көмегімен жұмыста кванттық сұйықтықтың жаңа түрі табылып, сұйықтықтың жылу сыйымдылығы төмен температурада қарастырылды. Термодинамикалық потенциал ретінде температура мен бариондық тығыздыққа байланысты энтропия алынып және де 3-өлшемді графиктер тұрғызылды. График арқылы ондағы термодинамикалық айнымалы скаляр қисықтары шексіздікке немесе нөлге ұмтылады, бұл дегеніміз мүмкін болатын фазалық ауысуларды және сәйкесінше кванттық әсермен өзара ірекеттесудің мүмкін болатындығын көрсетеді. Бұл жағдайда метрианың екі нұсқасы да нөлдік дыбысы бар қаралған голографиялық жүйеде ықтимал фазалық ауысулар сызықтарының орналасуы туралы бірдей қорытындыға әкелетіндігі көрсетілген.

Түйін сөздер: геометротермодинамика, Лежандр түрлендірулері, метрикалық тензор, скаляр өрісінің қисықтығы, голографиялық екі жақтылық, нөлдік дыбыс.

Кіріспе

Голографиялық дуальдік әдісте кванттық жүйелер табиғаттағы белгілі төрт әсерлесудің ішінде күшті әсерлесуде байқалады[1]. Голографиялық модельдер эксперименталды мәліметтермен жақсы үйлесетін бірқатар болжамдарға әкеледі. Сонымен қатар голографиялық әдістің көмегімен кванттық жүйелердің жаңа түрлері болжанады. Мысалы, [2] жұмыста төмен температураларда Ферми сұйықтық сияқты нөлдік дыбыс бар жүйе анықталған, бірақ бұл жүйеде жылу сыйымдылығының мүлдем басқа температуралық тәуелділігі бар. Сондықтан зерттеудің өзекті міндеті болып жаңа кванттық жүйелердің термодинамикалық қасиеттерін голографиялық екі жақтылық әдісімен қарастыру болып табылады. Осы жұмыста нөлдік дыбысы бар голографиялық жүйенің термодинамикалық қасиеттеріне зерттеу жүргізілді. Зерттеу әдісі ретінде термодинамика геометриясы қолданылды [3], ал термодинамикалық потенциал ретінде - бариондардың температурасы мен

тығыздығына байланысты энтропия қолданылды.

Геометротермодинамика

Лежандр түрленулеріне қатысты инвариантты болатын тепе-теңдіктің көптүрлілігінің қисықтығының көмегімен Э. Кеведо ұсынған[3] геометротермодинамикада термодинамикалық жүйелердегі өзара әрекеттесулер есептелінеді. Термодинамикада да жүйенің физикалық қасиеттері жүйе сипатталатын термодинамикалық потенциалдарды таңдауға байланысты емес. Термодинамикалық потенциалдардың бір жиынтығынан екіншісіне өту Лежандрдің түрлендірулері арқылы жүзеге асырылады және бұл мағынада термодинамика Лежандрдың өзгерулеріне қатысты инвариантты болады. ГТД-да, мысалы, [3] көрсетілгеніндей, көптүрліліктің нөлдік қисықтығына қатысты идеалды газда бөлшектер бір-бірімен әрекеттеспейді. Бұл жағдайда ГТД

фазалық ауысулар өтетін нүктелерге жақын жүйенің әрекетін қалпына келтіреді. Тепе-теңдіктің көптүрлілігіне қатысты скалярлық өрістің қисықтығы фазалық ауысуларға жақын жерде шексіздікке ұмтылады, яғни бұл жағдай әртүрлі кара құрдымдарда, Бозе-Эйнштейн, Ван-дер-Ваальс газдарының және басқа да физикалық құбылыстарда[4], көрсетілген. Бұл факт аз зерттелген термодинамикалық жүйелерде белгісіз фазалық ауысуларды іздеуге ыңғайлы. Осы жұмыста термодинамикалық жүйелерді зерттеу үшін біз тиісті тепе-теңдіктің алуан түрлілігінің метрикалық тензорларын, метрикалық тензорлардың детерминанттарын және сәйкес скалярлы өрістің қисықтарын есептейміз. Метриканы және метрикалық тензорларды есептеу үшін төмендегі формуланы пайдаландық[3]:

$$dl^2 = E_a \frac{\partial \Phi}{\partial E^a} \delta_{ab} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E^b \partial E^c} dE^a E^c \quad (1)$$

$$dl^2 = E_a \frac{\partial \Phi}{\partial E^a} \eta_{ab} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E^b \partial E^c} dE^a E^c \quad (2)$$

l^2 - термодинамикалық ұзындық квадраты, $\Phi \equiv \Phi(E^a)$ – термодинамикалық потенциал, E^a -термодинамикалық потенциалға тәуелді, ($a=1, \dots, n$), n – термодинамикалық потенциалдар саны, Φ , $\delta_{ab} = \text{diag}(1, 1, \dots, 1)$ және $\eta_{a,b} = \text{diag}(1, -1, \dots, -1)$ тәуелді. Екі формулада (1) және (2) Лезандр түрленулеріне[3] қатысты инвариантты.

Қисықтың тензоры қарапайым өрнекпен өрнектеледі:

$$R_{abcd} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 g_{ad}}{\partial E^b \partial E^c} + \frac{\partial^2 g_{bc}}{\partial E^a \partial E^d} - \frac{\partial^2 g_{ac}}{\partial E^b \partial E^d} - \frac{\partial^2 g_{bd}}{\partial E^a \partial E^c} \right) + g_{np} (\Gamma_{bc}^n \Gamma_{ad}^p - \Gamma_{bd}^n \Gamma_{ac}^p) \quad (3)$$

мұндағы $g^{nm}(g_{ad})$ – метрикалық тензор,

$$\Gamma_{bc}^n = \frac{1}{2} g^{nm} \left(\frac{\partial g_{mb}}{\partial E^c} + \frac{\partial g_{mc}}{\partial E^b} - \frac{\partial g_{bc}}{\partial E^m} \right) - \text{Кристофел символы. Ары қарай скалярлық қисықтық мына формуламен есептелінеді}$$

$R = g^{ac} g^{bd} R_{abcd}$.

Одан әрі біз тек екі термодинамикалық потенциалға тәуелді жүйелермен

жұмыс істейміз, онда скаляр өрісінің қисығы үшін өрнек оңайлатылады:

$$R = \frac{2P_{1212}}{\det(g)}, \quad (4)$$

мұндағы $\det(g)$ – екі өлшемді метрикалық тензордың детерминанты.

Голографиялық сипаттама бойынша нөлдік дыбыс жүйесі

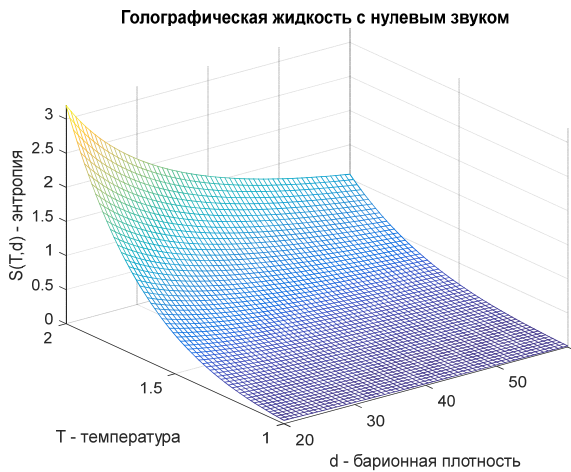
Голографиялық тәсіл көмегімен жұмыста[2] кванттық сұйықтықтың жаңа түрі табылды. Бұл жұмыста сұйықтықтың жылу сыйымдылығы төмен температураларда $\sim T^6$ температурасына байланысты тәуелді. Ферми-сұйықтықтарға тән емес жылу сыйымдылығының болуына қарамастан, жүйенің төмен температураларда нөлдік дыбыс модалары бар. Осы сұйықтың энтропиясы үшін $Td^{-\frac{1}{p}} \ll 1$ жуықтаулар [2] жұмыста көрсетілген. $Td^{-\frac{1}{p}} \ll 1$ жуықтау үшін энтропия:

$$S(T, d) = S_0 + N_q \left(\frac{4\pi}{p+1} \right)^{2p+1} \left(\frac{T^{2p}}{2d} \right) \quad (5)$$

мұндағы T – температура, d – бариондық тығыздық, p – қарастырылып отырған сұйықтықтағы кеңістіктің өлшемділігі (біз 3 өлшемді кеңістікті қарастырамыз), S_0 - нөлдік температурадағы энтропия және N_q - бірнеше тұрақтылар. (5) –ші формула кескін алынды, бұл кескінде T және d параметрлерінің бірнеше диапазоны.

(1)–ші метрика үшін (5) –ші формуланы қолдана отырып, $\frac{N_q}{2} \left(\frac{4\pi}{p+1} \right)^{2p+1}$ бірлік үшін метрикалық тензорды аламыз:

$$g(T, d) = \begin{bmatrix} \frac{180T^{10}}{d^2} & -\frac{15T^{11}}{d^3} \\ -\frac{15T^{11}}{d^3} & -\frac{2T^{12}}{d^4} \end{bmatrix} \quad (6)$$



1 – сурет. Нөлдік дыбыстағы голографиялық жүйе[2] үшін температура мен бариондық тығыздыққа тәуелді энтропия (5)

Ары қарай осы тензордың детерминантын есептейміз:

$$\det(g) = -\frac{585T^{22}}{d^6} \quad (7)$$

және скаляр өрістің қисықтығын есептейміз (4):

$$R = -\frac{985d^2}{135T^{12}} \quad (8)$$

(5)-ші өрнекті (2)-ші формулаға қолдана отырып, және бірлік ретінде $\frac{N_q}{2} \left(\frac{4\pi}{p+1} \right)^{2p+1}$ пайдаланып метрикалық тензорды есептейміз:

$$g(T, d) = \begin{bmatrix} \frac{180T^{10}}{d^2} & -\frac{21T^{11}}{d^3} \\ -\frac{21T^{11}}{d^3} & -\frac{2T^{12}}{d^4} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Бұл тензордың детерминанты:

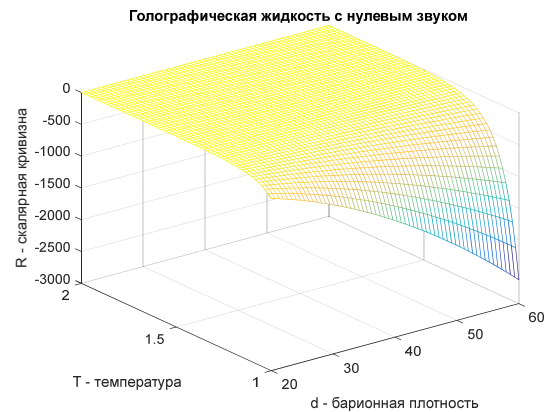
$$\det(g) = -\frac{81T^{22}}{d^6} \quad (10)$$

Скаляр өрістің қисықтығы:

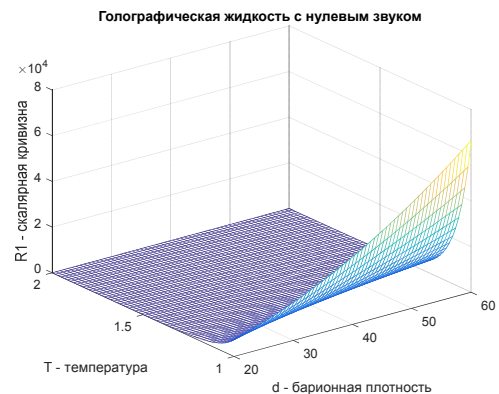
$$R_1 = \frac{398d^2}{216T^{12}} \quad (11)$$

(8) және (11) формулалардан бариондық тығыздықтың ұлғаятындығын және скалярлық өрістің қисықтығы нөлге ұмтылатын температурада минус пен плюс шексіздікке ұмтылатын жағдайда фазалық ауысулар мүмкін болатындығын көруге болады. Сонымен қатар, скалярлы өрістің қисықтары барионды зарядтың

тығыздығының нөлге ұмтылған кезінде және температура ұлғайған кезде нөлге ұмтылады, бұл дегеніміз жүйедегі бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесудің әлсіреуін көрсетеді. T және d параметрлерінің кейбір диапазоны үшін алынған нәтижелер 2a және 2б суреттерде көрсетілген. Осы жүйе үшін екі метрика (1) және (2) тиісті қисықтарға арналған сингулярлықтардың орналасуына қатысты бірдей жалпы нәтижеге әкеледі.



а)



ә)

2 сурет – Бариондық тығыздыққа және температураға қатысты скалярлық қисықтың тәуелділігі. а) (1)-ші формула бойынша есептелінген метрика, ә) (2)-ші формула бойынша есептелінген метрика.

Қорытынды

Осы жұмыста ГТД шеңберінде голографиялық екі жақтылық әдіспен болжанған нөлдік дыбысы бар күшті әсер ететін кванттық жүйенің тепе-теңдігі қарастырылды, метрианың екі ықтимал варианттары үшін метрикалық тензорлар мен скалярлы қисықтар есептелді.

Термодинамикалық потенциал ретінде температура мен бариондық тығыздыққа байланысты энтропия алынды.

3-өлшемді графиктер алынды, онда термодинамикалық айнымалы скаляр өрістің қисықтары шексіздікке немесе нөлге ұмтылады, бұл мүмкін болатын фазалық ауысуларды және сәйкесінше кванттық әсермен өзара әрекеттесудің мүмкін болатындығын көрсетеді.

Бұл жағдайда екі метрик (1) және (2) нұсқаларының екеуі де нөлдік дыбысы бар қаралған голографиялық жүйеде ықтимал фазалық өтпелер сызықтарының орналасуына қатысты бір жүйеге келтіретіні көрсетілген.

Әдебиеттер тізімі

- [1] Maldacena J. The large N limit of super conformal field theories and supergravity // *Adv.Theor. Math. Phys.* – 1998. – С. 231–252.
- [2] Karch A., Son D.T., and Starinets A.O. Zero sound from holography // *Phys. Rev. Lett.* –2009. – Vol.102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.051602>
- [3] Karch A., O'Bannon A. Holographic thermodynamics at finite baryon density: some exact results // *JHEP* 0711:074. - 2007. <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2007/11/074>
- [4] Quevedo H. Geometrothermodynamics // *J. Math. Phys.* – 2007. – Vol. 48, - P.013506. <https://doi.org/10.1063/1.2409524>.
- [5] Quevedo H., Sanchez A., Taj S., Vazquez A., Phase transitions in Geometrothermodynamics // *Gen. Rel. Grav.* - Vol. 43. -2011. –P.1153. <https://doi.org/10.1007/s10714-010-0996-2>
- [6] Engelhardt N and Horowitz G.T. Recovering the spacetime metric from a holographic dual // *Adv. Theoretical Math. Phys.* -2017. –Vol. 21. No.7. –P.1635-1653.
- [7] Czech B., Lamprou L., McCandlish S. and Sully J. Integral geometry and holography // *J. High energy Phys.* –2015. –No.175. –P. 7-33.
- [8] Bhattacharya J., Veronika E. Hubeny, Mukund Rangamani, Tadashi Takayanagi. Entanglement density and gravitational thermodynamics // *Phys. Rev. D* - 2015. –Vol.91. -P.106009.
- [9] Quevedo H., Sasha A., Zaldivar. A geometrothermodynamic approach to ideal quantum gases and Bose-Einstein condensates // *J. General Relativity and Quantum Cosmology.* -2015. arXiv:1512.08755v3
- [10] Mansoori, Seyed Ali Hosseini et.al. Extrinsic and intrinsic curvatures in thermodynamic geometry // *Phys. Rev. B* 759. -2016. -P.298-305.
- [11] Ming Zhang, Xin-Yang Wang, Wen-Biao Liu. Extrinsic curvature ingeometrothermodynamics // *Physics Letters B.* –2018. -Vol.783. –P.169-174.
- [12] Ming Zhang Corrected thermodynamics and geometrothermodynamics for anti-de Sitter black hole // *Nuclear Physics B.* –2018. - Vol.935. –P.170-182.
- [13] Andreas Karch, Andy O'Bannon Holographic Thermodynamics at Finite Baryon Density: Some Exact Results // *J. High Energy Physics.* -2007. <https://doi.org/10.1088/1126-6708/2007/11/074>
- [14] Yunseok S., Sang-Jin Sin, Jonathan Shock, Dimitrios Zoakos Holographic hadrons in a confining finite density medium // *Journal of High Energy Physics.* -2010. –Vol.3. – P.115. [https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2010\)115](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2010)115)
- [15] Xun Chen, Danning Li, Mei Huang Criticality of QCD in a holographic QCD model with critical end point // *Chinese Physics C.* -2019. –Vol.43. –No 2. –P.023105.
- [16] Alsup, James et.al. Duality between zeroes and poles in holographic systems with massless fermions and a dipole coupling // *Phys. Rev. D* 90. -2014. –No.12. –P.126013.
- [17] Pineda V., Quevedo H., Maria N. Quevedo, Sanchez A., Valdes E. The physical significance of geometrothermodynamic metrics // *J. of Geometric Methods in Modern Physics.* -2019. –Vol.16. –No. 11. – P.1950168. <https://doi.org/10.1142/S0219887819501688>.
- [18] Quevedo H., Nettel F., Bravetti A. Representation invariant Geometrothermodynamics: applications to ordinary thermodynamic systems // *J. of Geom. and Physics.* -2014. –Vol.81. –P.1-9.
- [19] Maria N. Quevedo, Quevedo H. Geometrothermodynamics of the cosmological constant // *International Journal of Management and Applied Science.* -2017. –

*Зазулин Д.М.^{1,2} , Кемелжанова С.Е.¹ , Эзау П.Д.³ ¹ *әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Қазақстан, Алматы*² *Ядролық Физика институты, Қазақстан, Алматы*³ *Петербургский ядерный физика институты, Россия*

Голографиялық екі жақтылық әдіспен сипатталған нөлдік дыбысы бар жүйеге геометриялық термодинамиканы қолдану

Аннотация. Термодинамика геометриясы әдісі аясында бұл жұмыста голографиялық дуальдік әдіспен болжанған нөлдік дыбысы бар жүйенің тепе-теңдік күйдегі алуан түрлілігінің қасиеттері зерттелді. Лежандр түрлендірулеріне қатысты инвариантты нәтижелер термодинамикалық потенциалды таңдауға тәуелсіз есептелінді. Осы қарастырылып отырған жүйе үшін тиісті метрикалар мен скалярлы қисықтар есептелініп, қасиеттері сипатталды. Голографиялық тәсіл көмегімен жұмыста кванттық сұйықтықтың жаңа түрі табылып, сұйықтықтың жылу сыйымдылығы төмен температурада қарастырылды. Термодинамикалық потенциал ретінде температура мен бариондық тығыздыққа байланысты энтропия алынып және де 3-өлшемді графиктер тұрғызылды. График арқылы ондағы термодинамикалық айнымалы скаляр қисықтары шексіздікке немесе нөлге ұмтылады, бұл дегеніміз мүмкін болатын фазалық ауысуларды және сәйкесінше кванттық әсермен өзара ірекеттесудің мүмкін болатындығын көрсетеді. Бұл жағдайда метрианың екі нұсқасы да нөлдік дыбысы бар қаралған голографиялық жүйеде ықтимал фазалық ауысулар сызықтарының орналасуы туралы бірдей қорытындыға әкелетіндігі көрсетілген.

Түйін сөздер: геометротермодинамика, Лежандр түрлендірулері, метрикалық тензор, скаляр өрісінің қисықтығы, голографиялық екі жақтылық, нөлдік дыбыс.

* Д.М. Зазулин^{1,2}, С.Е. Кемелжанова¹, П.Д. Эзау³¹ *КазНУ им. әл-Фараби, Алматы, Қазақстан;*² *Институт Ядерной Физики, Алматы, Қазақстан;*³ *Петербургский Институт Ядерной Физики, Россия*

Применение геометротермодинамики к системе с нулевым звуком описанной методом голографических дуальностей

Аннотация. В рамках метода геометротермодинамики в настоящей работе исследованы свойства равновесного многообразия системы с нулевым звуком, предсказанной методом голографических дуальностей. Получены результаты инвариантные относительно преобразований Лежандра, т.е. независимые от выбора термодинамического потенциала. Для рассматриваемой системы рассчитаны соответствующие метрики и скалярные кривизны, а также описаны их свойства. С помощью голографического подхода в работе был обнаружен новый тип квантовой жидкости. Теплоемкость, полученной в этой работе жидкости, при низких температурах зависит от температуры $\sim T^6$. В качестве термодинамического потенциала бралась энтропия, зависящая от температуры и барионной плотности. Получены 3-мерные гра-

фики, на которых хорошо видно, при каких значениях термодинамических переменных скалярные кривизны стремятся к бесконечности или к нулю, что указывает на возможные фазовые переходы и на возможную компенсацию взаимодействий квантовыми эффектами соответственно. Показано, что оба варианта метрик в данном случае приводят к одному и тому же выводу относительно расположения линий возможных фазовых переходов в рассмотренной голографической системе с нулевым звуком.

Ключевые слова: геометротермодинамика, преобразования Лежандра, метрический тензор, скалярная кривизна, голографические дуальности, нулевой звук.

D.M. Zazulin^{1,2}, S.E. Kemelzhanova¹, P.D. Ezau³

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

³Petersburg Institute of Nuclear Physics, Russia

Application of geometrothermodynamics to the system with zero sound described by the method of holographic duality

Abstract. In the framework of the method of geometrothermodynamics, in present work, we studied the properties of equilibrium manifold of the system with zero-sound predicted by the holographic duality method. The results are invariant under the Legendre transformations, i.e. independent of the choice of thermodynamic potential. For the systems under consideration, the corresponding metrics, determinants of metrics and scalar curvatures are calculated, and their properties are also described. Using the holographic approach, a new type of quantum liquid was discovered. The heat capacity of the liquid obtained in this work at low temperatures depends on the temperature $\sim T^6$. Entropy, which depends on temperature and baryon density, was taken as the thermodynamic potential. 3-dimensional obtained that clearly show at which values of thermodynamic variables scalar curvatures tend to infinity or to zero, which indicates possible phase transitions and possible compensation of interactions by quantum effects, respectively. It is shown that both variants of metrics in this case lead to the same conclusion regarding the location of possible phase transition lines in the considered holographic system with zero sound.

Keywords: geometrothermodynamics, Legendre transformations, metric tensor, scalar curvature, holographic duality, zero sound..

Г.Р.Сүбебекова* , А.С.Бейсебаева 

ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

*e-mail: gulfursubebekov@gmail.com

В[e] ҚҰБЫЛЫСЫ БАР IRAS 20090 + 3809 ЖҰЛДЫЗЫНЫҢ ДОППЛЕРЛІК ТОМОГРАФИЯСЫ.

Аннотация. Бұл жұмыстың зерттеу объектісі ретінде Акку шокжұлдызының солтүстік жартышарында ($l=75^\circ.3$, $b=+2^\circ.6$) орналасқан IRAS 20090+3809 ($V\sim 10.9$ жұлдыздық шамасына тең) жұлдызы алынған. IRAS 20090+3809 жүйесінің іргел параметрлері келесідей міндерге ие: $T_{\text{эфф}}=11000\pm 500$ К, проекциялық жылдамдығы $V_i = 31 \pm 3$ км/с, жұлдыз аралық жұтылуы $A_V = 0.50 \pm 0.02$ mag, жұлдызға дейінгі қашықтығы $D = 2.4 \pm 0.1$ крс, және жарықтылығы $\log L/L_\odot = 3.5 \pm 0.1$, орбиталды периоды $P_{\text{orb}} = 131.290 \pm 0.080$ күнге тең болып табылады.

Жұмыста Допплер томографиясы әдісін пайдалана отырып IRAS 20090+3800 жұлдызының H_α және Fe II сызықтарының профильдерін зерттедік. Спектралды сызықтарының профильдерін зерттеу үшін жоғары рұқсаттамадағы $R=18,000-65,000$ 25 бақылау нәтижелері алынған. IRAS 20090+3809 жұлдызының жоғары рұқсаттамадағы спектроскопиялық бақылаулары McDonald Observatory (Техас, США) обсерваториясындағы 2.1 метрлік және Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Martir (OAN SPM, Baja California, Мексика) обсерваториясындағы 2.1 метрлік телескоптарында алынған.

Мақалада жұлдыз маңайлы шаң-тозаңды қабықшасы бар қос жүйенің Fe II 6431 Å және H_α сызықтары үшін томография нәтижесі бойынша тұрғызылған Допплер картасы көрсетілген. Допплер томографиясының нәтижесінде негізгі эмиссиялық сызықтардың көзі қос жүйенің компоненттерінің арасынан В-жұлдыз аймағынан келетінін байқаймыз.

Түйін сөздер: шаң-тозаңды қабықшасы бар жұлдыздар, Допплер томографиясы, спектроскопиялық талдау.

Кіріспе

FS CMa [1] типті объектілер тобының мәні шаң пайда болатын жаңа типті объект ретінде маңызды. Сонымен қатар, бұл жұлдыздар тобы жұлдызаралық қабықтардың пайда болуы мен эволюциясын зерттеу үшін өте маңызды, өйткені осы уақытқа дейін масса алмасуы бар қос жүйелердегі жұлдыздардың эволюциясы донорлық жұлдыздың массаның жоғалуы және бұл затты акцептор жұлдызымен қабылдау мүмкіндігі туралы теориялық болжамдар негізінде ғана зерттелген. Бұл топ жаңа болғандықтан, FS CMa сияқты жұлдыздардың табиғатын түсінуге байланысты бірқатар сұрақтар бар. Сондықтан осы топтың әр объектісін зерттеу қажеттілігі туындайды.

Бұл жұмыстың зерттеу объектісі Акку шокжұлдызының солтүстік жартышарында ($l=75^\circ.3$, $b=+2^\circ.6$) орналасқан IRAS 20090+3809 ($V\sim 10.9$ жұлдыздық шамасына тең) жұлдызы болып табылады.

Бұл жұлдыз ең алғаш спектрінде H_α эмиссиялық сызықтары бар жұлдыз ретінде [2] жұмысында көрсетілген. IRAS 20090+3809 жұлдызының инфрақызыл артықтығы кросс-корреляция әдісі арқылы Tycho-2 оптикалық каталогында және MSX инфрақызыл каталогында [3] жұмысында көрсетілген. IRAS 20090+3800 жұлдызы NOMAD каталогының фотометриялық критерийлері бойынша FS CMa тобының жұлдызы ретінде ерекшеленген, оған дейін бұл жұлдыз қатты инфрақызыл сәулеленетін ерте типтегі жұлдыз ретінде белгілі болатын [5]. Сонымен қатар [6] жұмысында бұл объект қара құрдымға үміткер компоненті бар қос жүйе ретінде анықталған. Жұмыста біз қазіргі уақытта жақын қос жүйелерді зерттеу үшін өзекті болып табылатын Допплер томография әдісін қолдандық, өйткені картада жұлдыздық заттың донорлық жұлдыздан екінші жұлдызға ауысуы көрсетілген.

Аппаратура және бақыланған материалдарды өңдеу

Спектрлік бақылаулардың нәтижесінде $R=18,000-65,000$ жоғары шешімімен 25 бақылау алынды. 2,7 метрлік МакДональд обсерваториясының телескопы (Техас, АҚШ) және 2,1 метрлік Астрономико-Национальдық Сан-Педро Мартир телескопының көмегімен OAS 20090 + 3809 жұлдызының жоғары ажыратымдылығымен спектроскопиялық бақылаулар алынды (OAN SPM, Baja California, Мексика). Осы обсерваторияларда алынған барлық спектрлер IRAF-тің шоғырланған/саңылаулы бағдарламалық пакетін қолданып өңделді. Бұл спектрлерді алғашқы өңдеудің негізгі кезеңдеріне келесілер жатады: CCD кадрларын алдын-ала өңдеу (бұрыс пікірлерді есепке алу, ғарыштық бөлшектерді шығару, шашыраңқы сәулелерді есепке алу); бірөлшемді спектрлерді шығару; дисперсті арақатынасын анықтау; объектінің спектріне дисперсия байланысын байланыстыру; толқын ұзындығын түзету. Жоғары ажыратымдылықтағы спектрлер 3,3 метрлік CFHT телескопының көмегімен ESPaDoNS спектроскопиялық поляриметрді спектроскопиялық режимде алды. Өңдеу Urena және Libre-ESpRIT бағдарламалық пакеттерін қолдану арқылы жүзеге асырылды [7].

Допплерлік томография

IRAS 20090 + 3809 жүйесіндегі Na және Fe II 6431 Å эмиссия сызықтарының пайда болу аймақтарын зерттеу үшін техникаға сәйкес Доплер томографиясы [8]. Fe II 6431 Å сызығы оптикалық спектрдегі ең күшті металл сызықтарының бірі болғандықтан таңдалды. Доплерлік карталар спектрлерді фазалық ажыратымдылықпен біріктіріп, максималды энтропия әдісін қолдана отырып жасалды [9]. (1-суретте) Na және Fe II 6431 Å сызықтарының айналасындағы фазалық катарлардың спектрлері және соған сәйкес Доплер карталары көрсетілген. Иілу бұрышы $i = 72^\circ$, ал орбиталық фазасы $=0,0$ жоғарғы байланыстағы көрінетін жұлдыздың жағдайына сәйкес келеді. Жүйеде кейбір маңызды орындардың орналасуы, мысалы жұлдыздар массасының центрі және ыстық компоненттің Роше лобы 1 суретте

көрсетілген. Сұр реңктегі суреттер Na (төменгі оң жақ) және Fe II 6431 шығару сызығына сәйкес келеді (жоғарғы оң жақта). Қалың контурларда Si II II сіңіру сызығын қолдана отырып, 6347 Å сызылған томография көрсетілген. Олар ыстық жұлдыздың жағдайына өте жақсы сәйкес келеді. Na және Fe II 6431 Å доплер карталарының құрылымы күрделірек. Алғашқы жуықтауда Fe II 6431 Å сызығындағы ~ 30 км/с жылдамдықпен жүйенің масса центрінің айналасындағы сақина құрылымы айқын көрінеді. Бұл, мүмкін, дөңгелек дискінің ішкі бөлігіне (шекарасына) сәйкес келеді. Сақинаның жарықтығы біркелкі емес, бұл, ең алдымен, айналадағы дисктің желдің және/немесе ыстық компоненттің қозу күштерінің бұзылуымен байланысты. Доплер Na карталарында дөңгелек дискінің құрылымы жақсы түсінілмейді.

Сәулелендіру көзі жүйенің компоненттеріне қарағанда төмен жылдамдыққа ие және, мүмкін, ыстық компонент пен дөңгелек дискінің жұлдызды желарасындағы соққы аймағына сәйкес келеді. Дегенмен, Na картасының жарқын бөлігі Fe II картасының жарқын бөлігімен сәйкес келеді.

Қорытынды

Бұл жұмыста біз Доплер томографиясын қолданумен 20090 + 3800 IRAS жұлдызының Na және Fe II сызықтарының профильдерін зерттедік. Нәтижесінде доплерлік бейнелеу профильдік сызықтарының көздері B-жұлдызының айналасында, жүйенің компоненттері арасында және бүкіл жүйенің айналасында орналасқан дискіде таратылатындығын көрсетті.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Miroshnichenko A.S. Toward understanding the B [e] phenomenon. I. Definition of the galactic FS CMa stars //The Astrophysical Journal. – 2007. – Т. 667. – №. 1. – С. 497.
- 2 Fairlamb J.R., Oudmaijer R.D., Mendigutía I., Plee J.D., van den Ancker M.E. A spectroscopic survey of Herbig Ae/Be stars with X-shooter - I. Stellar parameters and accretion

rates// Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol 453, Issue 1. - P. 976-1001.

3 Merrill P.W., Burwell C.G. Additional Stars whose Spectra have a Bright H α Line // Astrophysical Journal. – 1950. - vol. 112. - p.72.

4 Clarke A.J., Oudmaijer R.D., Lumsden S.L. Tycho-2 stars with infrared excess in the MSX Point Source Catalogue // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2005. vol. 363. - p. 1111-1124.

5 Miroschnichenko A.S., Manset N., Polcaro F., Rossi C., Zharikov S. The B[e] phenomenon in the Milky Way and Magellanic Clouds // IAU Symposium – 2011. - Vol. 272, P. 260-264.

6 Khokhlov S.A. et al. Toward Understanding the B [e] Phenomenon. VII. AS 386, a Single-

lined Binary with a Candidate Black Hole Component // The Astrophysical Journal. – 2018. – T. 856. – №. 2. – C. 158.

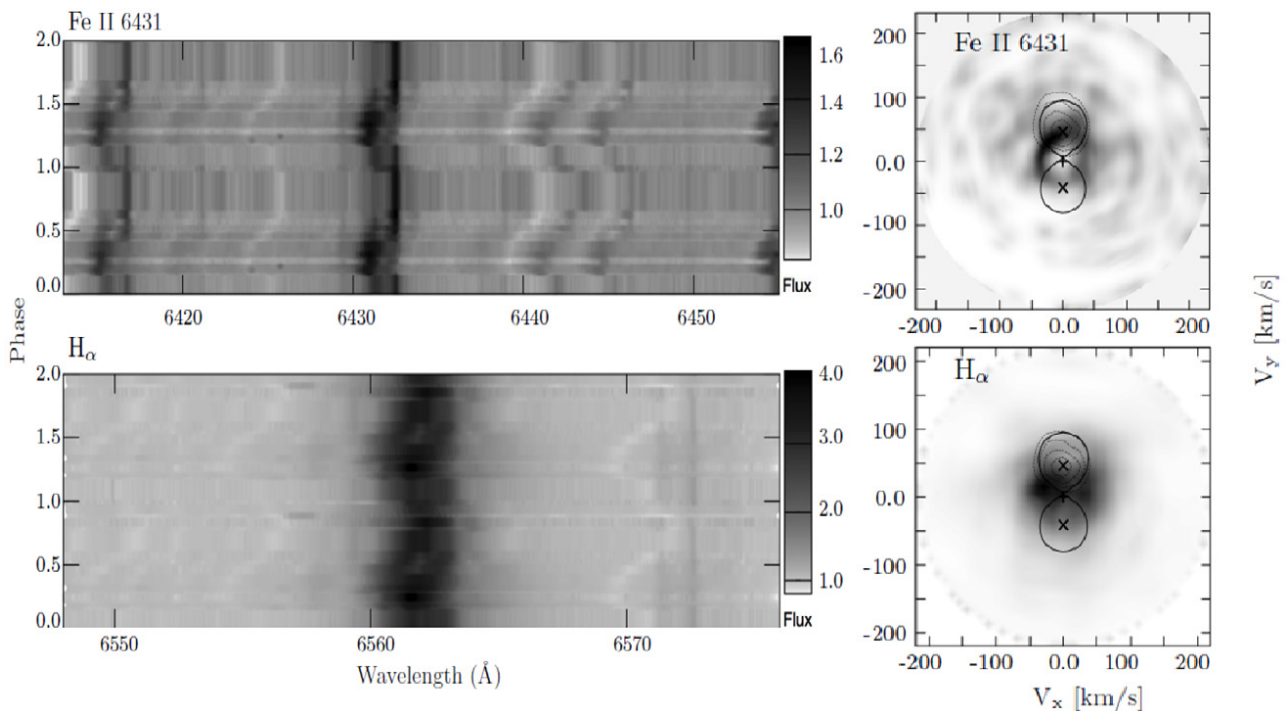
7 D'Alessio F., Di C., Amico D.P., Andrea G., Croce G., Danio L., Dario M., Ezio P., Fernando S., Roberto V., Gaetano V., SWIRCAM: a NIR imager-spectrometer to search for extragalactic supernovae // Proc. SPIE. – 2000.– vol. 4008.- P. 748-758.

8 Beals C.S. The spectra of the Pecygni stars // Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria.–1953.– Vol. 9. – P. 1.

9 Marsh T.R., Horne K. Images of accretion discs–II. Doppler tomography // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1988. – Vol. 235. – №. 1. – P. 269-286.

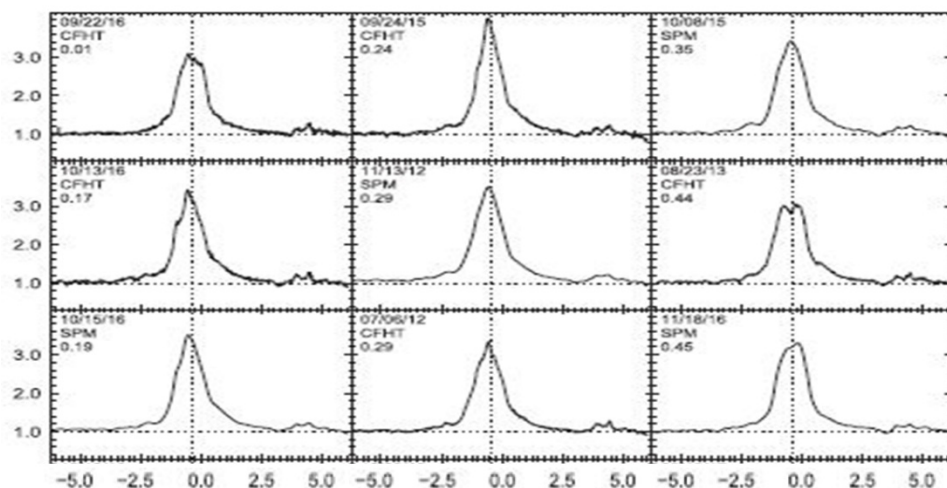
15.04.2020 басылымга қабылданды

Қосымша 1



1 – сурет. Оң жақ панель: Fe II 6431 Å (жоғарғы панель) және H α (төменгі панель) үшін томография арқылы қалпына келтірілген, екілік жүйеде айналмалы газдың орналасуының доплерлік карталары. Сол жақ панель: Fe II сызықтары айналасындағы аймақтағы орбиталық кезеңмен біріктірілген 6431 Å (жоғарғы) және H α (төменгі). Қарқындылық шкаласы (жергілікті континумға қатысты салыстырмалы ағын) оң жақта, ал орбитальды фаза сол жақта көрсетілген.

Қосымша 2



2 – сурет. IRAS 20090 + 3809 спектріндегі $H\alpha$ сызығының орбитальды өзгерістері. Көлденеңсызықтарсызықтарконтинумдеңгейін, ал вертикаль сызықтаржүйелік RV көрсетеді. Обсерватория атаулары мен орбитальды фазалар әр спектр үшін бақылау күндерімен бірге көрсетілген.

Г.Р.Сүбебекова*, А.С.Бейсебаева

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

**e-mail: gulnursubebekov@gmail.com*

В[е] ҚҰБЫЛЫСЫ БАР IRAS 20090 + 3809 ЖҰЛДЫЗЫНЫҢ ДОППЛЕРЛІК ТОМОГРАФИЯСЫ.

Аннотация. Бұл жұмыстың зерттеу объектісі ретінде Акку шокжұлдызының солтүстік жартышарында ($l=75^\circ.3$, $b=+2^\circ.6$) орналасқан IRAS 20090+3809 ($V\sim 10.9$ жұлдыздық шамасына тең) жұлдызы алынған. IRAS 20090+3809 жүйесінің іргел параметрлері келесідей міндерге ие: $T_{\text{эфф}}=11000\pm 500$ К, проекциялық жылдамдығы $V_i = 31 \pm 3$ км/с, жұлдыз аралық жұтылуы $A_V = 0.50 \pm 0.02$ mag, жұлдызға дейінгі қашықтығы $D = 2.4 \pm 0.1$ крс, және жарықтылығы $\log L/L_\odot = 3.5 \pm 0.1$, орбиталды периоды $P_{\text{orb}} = 131.290 \pm 0.080$ күнге тең болып табылады.

Жұмыста Доплер томографиясы әдісін пайдалана отырып IRAS 20090+3800 жұлдызының $H\alpha$ және Fe II сызықтарының профильдерін зерттедік. Спектралды сызықтарының профильдерін зерттеу үшін жоғары рұқсаттамадағы $R=18,000-65,000$ 25 бақылау нәтижелері алынған. IRAS 20090+3809 жұлдызының жоғары рұқсаттамадағы спектроскопиялық бақылаулары McDonald Observatory (Техас, США) обсерваториясындағы 2.1 метрлік және Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Martir (OAN SPM, Baja California, Мексика) обсерваториясындағы 2.1 метрлік телескоптарында алынған.

Мақалада жұлдыз маңайлы шаң-тозаңды қабықшасы бар қос жүйенің Fe II 6431 Å және $H\alpha$ сызықтары үшін томография нәтижесі бойынша тұрғызылған Доплер картасы көрсетілген. Доплер томорграфиясының нәтижесінде негізгі эмиссиялық сызықтардың көзі қос жүйенің компоненттерінің арасынан В-жұлдыз аймағынан келетінін байқаймыз.

Кілт сөздер: шаң-тозаңды қабықшасы бар жұлдыздар, Доплер томографиясы, спектроскопиялық талдау.

Г.Р.Сүбебекова*, А.С.Бейсебаева

КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

*e-mail: gulnursubebekov@gmail.com

ДОПЛЕРОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ЗВЕЗДЫ IRAS 20090 + 3809 С ФЕНОМЕНОМ B[e].

Аннотация. В данной работе объектом исследования является IRAS 20090+3809 ($V \sim 10.9$ mag), звезда северного полушария в созвездии Лебедя ($l=75^\circ.3$, $b=+2^\circ.6$). Фундаментальные параметры системы IRAS 20090+3809 составляют $T_{\text{эфф}}=11000 \pm 500$ К, проекционная скорость $V_i = 31 \pm 3$ км/с, межзвездное поглощение $A_V = 0.50 \pm 0.02$ mag, расстояние до звезды $D = 2.4 \pm 0.1$ кpc, и светимость $\log L/L_\odot = 3.5 \pm 0.1$, орбитальный период $P_{\text{orb}} = 131.290 \pm 0.080$ дней.

В работе были исследованы профили линии $H\alpha$ и FeII звезды IRAS 20090+3800 с помощью Доплеровской томографии. Для исследования профилей спектральных линии были получены 25 наблюдений с высоким разрешением $R=18,000-65,000$. Спектроскопические наблюдения звезды IRAS 20090+3809 с высоким разрешением были выполнены на 2.7 метровом телескопе McDonald Observatory (Техас, США) и 2.1 метровом телескопе Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Martir (OAN SPM, Baja California, Мексика).

В работе представлены Доплеровские карты расположения околозвездного газа в двойной системе, реконструированные по результатам томографии для линий FeII 6431 Å и $H\alpha$. В результате Доплер томография показала, что источники эмиссионных линий распределены в области вокруг B-звезды, между компонентами системы и в диске, расположенном вокруг всей системы.

Ключевые слова: звезды с газопылевой оболочкой, Доплеровская томография, спектроскопический анализ.

G.R. Subebekova*, A.S. Beisebaeva

al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan;

*e-mail: gulnursubebekov@gmail.com

DOPPLER TOMOGRAPHY OF THE STAR IRAS 20090 + 3809 WITH B[e] PHENOMENON.

Abstract In this paper, the object of study is IRAS 20090 + 3809 ($V \sim 10.9$ mag), a northern hemisphere star in the constellation Cygnus ($l = 75^\circ.3$, $b = +2^\circ.6$). The fundamental parameters of the IRAS 20090 + 3809 system are $T_{\text{eff}} = 11000 \pm 500$ K, projection velocity $V_i = 31 \pm 3$ km / s, interstellar absorption $A_V = 0.50 \pm 0.02$ mag, distance to the star $D = 2.4 \pm 0.1$ kpc, and luminosity $\log L / L_\odot = 3.5 \pm 0.1$, orbital period $P_{\text{orb}} = 131.290 \pm 0.080$ days.

In this work, we studied the profiles of the $H\alpha$ and Fe II lines of the IRAS star 20090 + 3800 using Doppler tomography. To study the spectral profiles, 25 observations were obtained with a high resolution of $R = 18,000-65,000$. High-resolution spectroscopic observations of the star IRAS 20090 + 3809 were obtained with the 2.7-meter McDonald Observatory telescope (Texas, USA) and the 2.1-meter Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Martir telescope (OAN SPM, Baja California, Mexico).

The paper presents Doppler maps of the location of circumstellar gas in a binary system, reconstructed from tomography for the Fe II 6431 Å and $H\alpha$ lines. As a result, Doppler imaging showed that the sources of emission lines are distributed in the region around the B-star, between the components of the system and in the disk located around the entire system.

Keywords: stars with a dusty shell, Doppler tomography, spectroscopic analysis.

А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев

Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл

*e-mail: buseinov@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПОЛЕЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В СЕЗОНЫ 2017 – 2018 ГОДОВ

Аннотация. С целью развития новых эффективных методов регистрации полей серебристых облаков выполнен анализ результатов панорамного мониторинга сумеречного сегмента, проведённого в летние сезоны 2017-2018 годов. В наблюдениях использовалась широкоугольная монохромная камера Agecont AV40185DN-NB, имеющая поле зрения до 180 градусов по азимуту. Показано, что применение этой камеры позволяет не только успешно фиксировать факт появления серебристых облаков, но и изучать их структуру и кинематику путём последующего анализа изображений. В частности, выявлено, что изменение общей азимутальной протяженности облачных полей на протяжении ночи определялось, главным образом, влиянием изменения условий их освещения Солнцем. Панорамный мониторинг позволил также обнаруживать редкие события, связанные с возникновением и быстрым развитием своеобразных элементов облачного поля. В частности, рассмотрен факт появления отдельной волокнообразной детали облачного поля в ночь с 3 на 4 июля 2018 года, появление и развитие которой оказалось связанным с эволюцией холодного тропосферного фронта над территорией Западно Сибирской низменности. Сделан вывод о том, что применение панорамного мониторинга сумеречного сегмента перспективно не только для совершенствования синоптических наблюдений серебристых облаков, но и для уточнения выводов о характере тропосферно – мезосферных связей.

Ключевые слова: мезосфера, серебристые облака, панорамный мониторинг, анализ изображений, фотометрия, метеорологические карты, тропосферно-мезосферные связи.

Введение

Одной из актуальных задач изучения природы мезосферных серебристых облаков (МСО) является уточнение характера связи их возникновения с крупномасштабными тропосферными процессами. Перспективность и научная новизна такого подхода подтверждена в ряде работ выполненных в Центре Астрофизических Исследований Северо-Казахстанского университета (ЦАИ СКУ) [1-9] Основанием для получения научно значимых выводов в решении этой задачи должны быть результаты длительных наблюдений объекта исследований. Они могут быть получены как наземными средствами, и с применением космических аппаратов дистанционного зондирования атмосферы. В соответствии с выработанной в ЦАИ СКУ методикой, наиболее продуктивно сочетание этих подходов. Настоящая работа продолжает ранее проведенные исследования, имея ори-

гинальное отличие от них; в ней использованы данные новейшего подхода к получению информации о полях МСО с наземных пунктов – панорамный мониторинг [10].

Основная часть

В сезоны видимости серебристых облаков 2017 и 2018 года наблюдения проводились из нескольких наземных пунктов на территории Северо-Казахстанской области. Из них центральным был пункт, расположенный на Обсерватории СКУ, где проводился мониторинг небесной сферы с использованием широкоугольной камеры Agecont AV40185DN-NB.

В 2017 году мониторинг МСО ежедневный проводился с 1 июня по 12 июля. В ходе наблюдений производились многочасовые видеозаписи сумеречного сегмента и находящихся в его пределах объектов, что определило высокую информативность данных. При этом серебристые облака были отмечены в 6 случаях. Разумеется, на

продуктивность наблюдений в значительной мере влияла погода. Наиболее яркие облака наблюдались в ночь с 19 на 20 июня. Пример изображения поля серебристых об-

лаков в эту дату на 23 часа 45 минут приведён на рисунке 1. Здесь красным выделены участки кадра, где облака впервые уверенно отмечены визуально.



Рисунок 1 – Вид поля серебристых облаков в ночь с 19 на 20 июня 2017 года. Север находится в центре изображения

Качество изображений позволяло не только выделять области сумеречного сегмента занятые полями серебристых обла-

ков, но и отождествлять детали его структуры в ходе общего анализа картины (рис. 2).

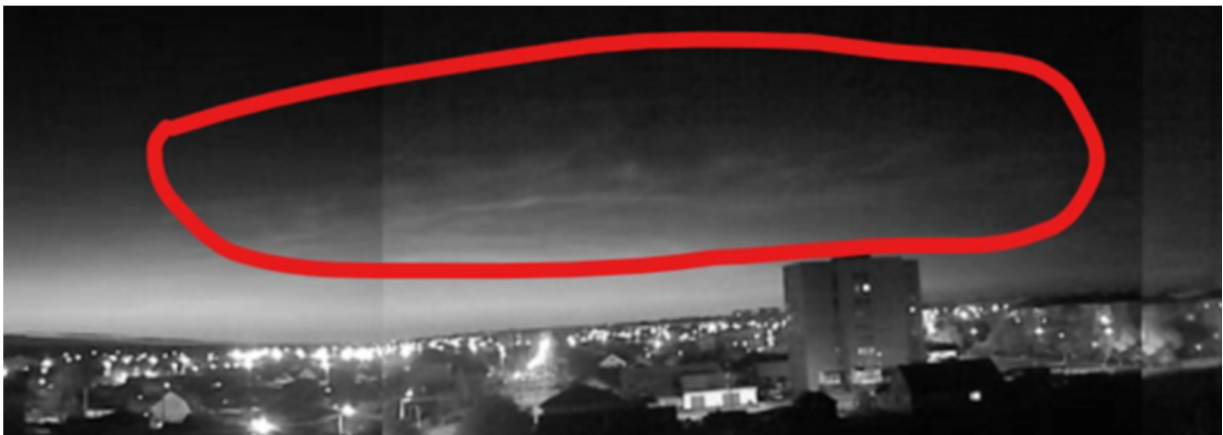


Рисунок 2 – Структурные элементы поля серебристых облаков в момент времени 23:40.

В летний сезон 2018 года панорамный мониторинг МСО проводился с 1 июня по 24 июля. Он дал более весомые результаты, чем предыдущий. В июне 2018 года серебристые облака уверенно наблюдались в 7 ночей. В июле из 15 ясных ночей серебристые облака были зарегистрированы в 5 случаях.

Динамику полей серебристых облаков довольно сложно отслеживать, но результат такого исследования ценен. Он позволяет ответить на вопрос о том отражают ли характеристики движения облачных образований движение воздушных масс в мезосфере, или же это движение связано с распространением гравитационных волн в стратосфере и мезосфере. Записи панорамного мониторинга свидетельствуют о

том, что в большинстве случаев поля МСО смещаются с востока на запад. Что определяет эту картину: струйные течения воздушных масс в мезосфере; условия освещения облачности Солнцем или образование новых облачных полей? Для ответа на этот вопрос полезно изучить характер изменения общей протяжённости облачного поля по азимуту.

Для определения этой величины был применён метод масштабирования изображения. С достаточной точностью его можно выполнить, принимая во внимание тот факт, угловая протяжённость изображения по азимуту равна 180 градусов. Тогда измерив линейную протяжённость изображения на экране монитора, мы определим масштаб картины в градусах на миллиметр.

Далее измеряя азимутальную протяжённость облачных полей на снимках можно находить их угловую протяжённость. Результаты измерений для трёх ясных ночей приведены в таблице 1. В первой колонке даны моменты измерения, во второй, третьей и четвёртой азимутальные протяжённости облачного поля для трёх наблюдательных ночей. Измерения проводились через каждые 10 минут.

Таблица 1. – Изменение протяжённости облачного поля по азимуту

Время	Ширина поля облаков(в градусах)			Средняя ширина поля
	19.06.17	19.06.18	05.07.18	
00:00	100	115	85	100
00:10	105	108	95	103
00:20	85	102	96	94
00:30	83	95	85	88
00:40	63	93	90	82
00:50	58	85	100	81
01:00	57	79	95	77
01:10	55	84	86	75
01:20	40	83	85	69
01:30	35	78	83	65
01:40	50	76	94	73
01:50	62	72	105	80
02:00	79	70	114	88
02:10	96	81	120	99
02:20	84	85	125	98
02:30	79	86	129	98

По данным таблицы 1 построены графики изменения азимутальной протяжённости облачного поля со временем (рис. 3-5). Во всех случаях заметно плавное уменьшение этой величины со временем, начиная с появления облаков и до истинной полуночи. После полуночи протяжённость облачного поля всякий раз возрастала. На графиках показаны также аппроксимации полиномом второй степени изменения исследуемой характеристики. Хорошее совпадение кривых с данными измерений очевидно. Это соответствует выводу о том, что величина азимутальной протяжённости об-

лачности определялась, скорее всего, положением Солнца под горизонтом. То есть быстрого образования или исчезновения серебристых облаков во время наблюдений не происходило.

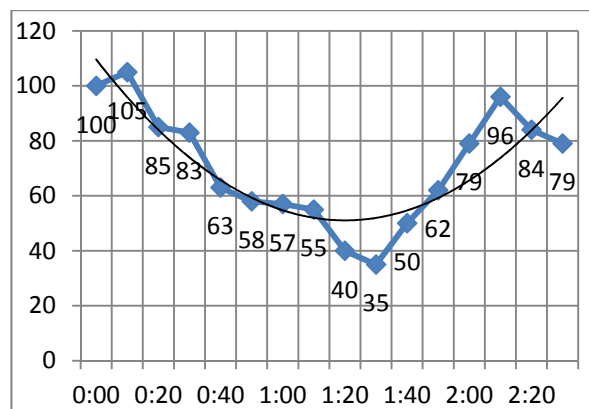


Рисунок 3 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах (вертикальная ось) от времени в минутах (горизонтальная ось) с полиномиальной аппроксимацией в ночь с 19 на 20 июня 2017 года.

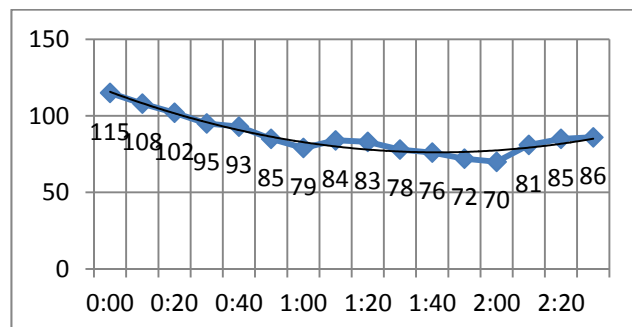


Рисунок 4 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией в ночь с 19 на 20 июня 2018 года.

Развитие протяженности поля облачности 19 июня 2018 года дало несимметричную картину по причине того, что длительность наблюдений после полуночи была явно сокращена. Но параболический ход азимутальной протяженности облачного поля здесь соблюдается.

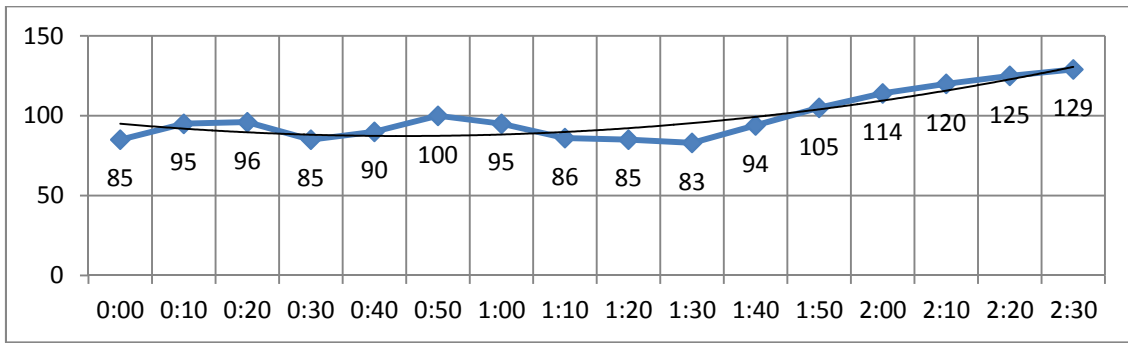


Рисунок 5 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией за 05 июля 2018 года.

Вид изменения азимутальной протяжённости облачного поля 5 июля 2018 года отличается от предыдущих наличием волнообразных отклонений протяженности облачного поля от

аппроксимационной кривой с периодом около получаса. Причиной их появления могли быть явления, в том числе тропосферные процессы, повлиявшие на развитие МСО, наблюдавшихся в эту дату.

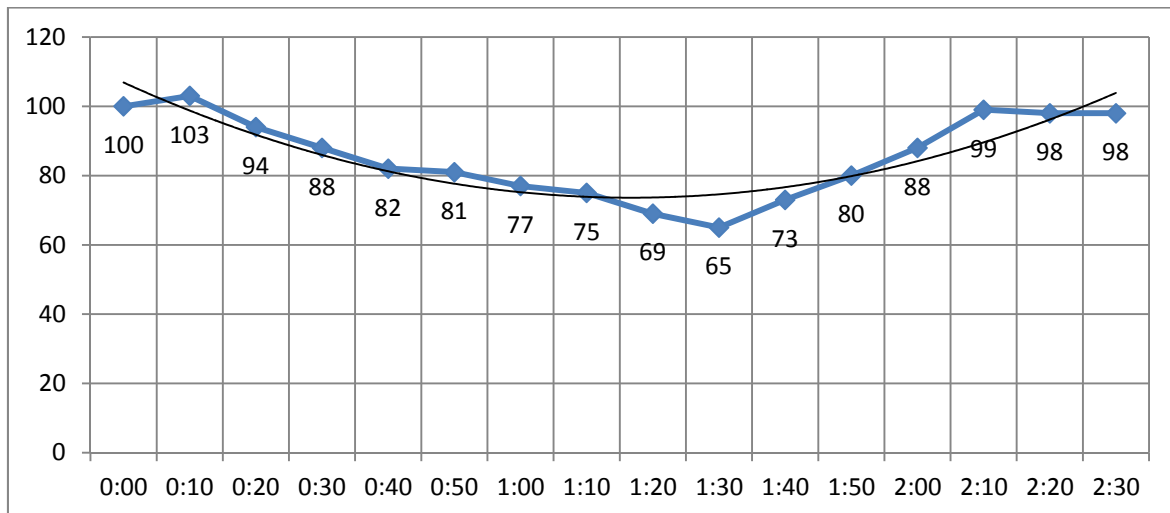


Рисунок 6 – График среднего изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией

Последнее соображение выглядит особенно привлекательным после сравнения графика на рисунке 5 с результатом усреднения данных за три даты (рис. 6). Точность параболической аппроксимации усреднённых данных изменения азимутальной протяжённости поля МСО со временем в пределах ночи заметно выше. Следовательно, предположение об определяющем влиянии солнечной освещённости на изменение азимутальной протяжённости облачного поля близко к реальности.

Данные панорамного мониторинга МСО позволяют детализировать выводы о

связи развития мезосферной облачности с тропосферными процессами. Для этого выполнялась стандартная процедура сравнения результатов мониторинга с анализом метеорологических карт [8]. Оказалось, что для сезонов 2017-2018 годов всем эпизодам появления МСО всякий раз соответствовали благоприятные метеорологические условия – то есть или движение холодных фронтов и циклонов или развитие окклюзий над контролируемой областью пространства.

Выдающимся примером такой связи стали события, отмеченные в ночь с 3 на 4

июля 2018 года, когда наблюдалась аномальная структура облачного поля (рис. 7). В эту ночь было зарегистрировано возникновение и быстрое развитие редчайшей детали – узкой протяженной полосы мезосферной облачности. Такие образования вызывают острый интерес исследователей верхней атмосферы Земли, но попадают в

поле зрения камер далеко не каждый год. В начале периода видимости МСО камера зафиксировала поле серебристых облаков, протянувшихся с востока на запад. Затем от облачного поля как бы отделилось протяженное лентообразное волокно, которое быстро перемещалось на юго-юго-восток и вскоре достигло высоты более 25 градусов.



Рисунок 7 – Фрагмент из видеозаписи на ночь с 3 на 4 июля 2018 года

Обсуждение

Анализ панорамных изображений полей МСО позволяет продолжить исследование физической связи мезосферных и тропосферных процессов на новом уровне. Для

примера рассмотрим карты метеорологических полей, предоставленные Северо-Казхстанским филиалом Казгидромета для ночи с 3 на 4 июля 2018 года (рис. 8).

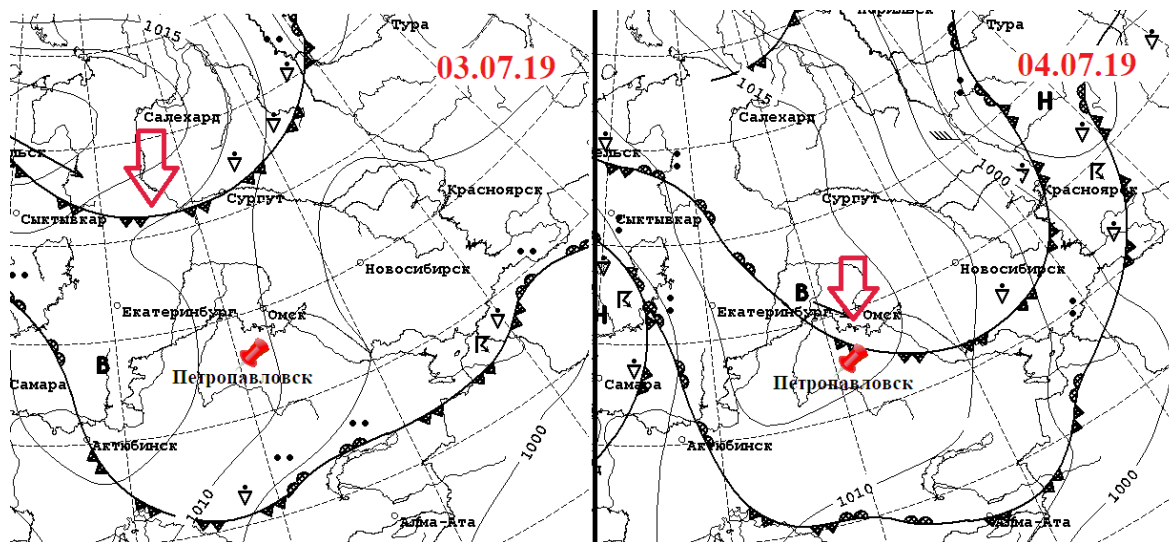


Рисунок 8 – К анализу условий возникновения серебристых облаков в ночь с 03 на 04 июля 2018 года.

Хорошо видно, что холодный фронт, возникший над севером Западно-Сибирской низменности 3 июля, за сутки переместился более чем на 1000 км к юго-юго-востоку. Над его тыловой частью в мезосфере,

как это нередко бывает, образовалось поле серебристых облаков, зафиксированных камерой. В северо-западной своей части холодный фронт смыкался с тёплым, образуя

область окклюзии. Бурный характер движения воздушных масс в ней, скорее всего, и породил такую систему гравитационных волн, которая привела к образованию обособленного облачного волокна в мезосфере.

Применение панорамного мониторинга, таким образом, позволяет получать данные, обладающие гораздо большей информативностью, сравнительно с аналогичными полученными с помощью одиночной камерой. Практическая ценность метода состоит не только в получении объективных данных о состоянии серебристых облаков, но и в доказательстве связи их образования с тропосферными процессами.

Заключение

Проведён панорамный мониторинг полей серебристых облаков в сезоны 2017-2018 годов с последующим анализом его результатов. Показано, что панорамные камеры с высокой чувствительностью позволяют регистрировать поля серебристых облаков с протяжённостью по азимуту до 180 градусов на протяжении всей ночи. Получены зависимости азимутальной протяженности облачных полей от времени, которые показали, что наблюдавшиеся поля МСО меняли свою протяжённость, прежде всего, в зависимости от глубины погружения Солнца под горизонт.

Показано, что актуальной проблемой в изучении серебристых облаков является развитие научно обоснованных представлений о механизме их образования и эволюции. Одной из наиболее перспективных идей в области решения этой проблемы является гипотеза о влиянии на состояние мезосферы масштабных тропосферных процессов. Одним из путей её проверки является анализ результатов наземного панорамного мониторинга полей серебристых облаков и обработки спутниковых данных с последующим сопоставлением результатов с данными метеорологических карт.

Выявлен редкий случай появления линейной формы серебристых облаков. Изучение феномена обнаружило его несомненную физическую связь с развитием

холодного фронта, реализуемую посредством порождаемых движением фронта гравитационных волн.

Литература

1. Солодовник А.А., Лазарев С.В. Метеорологические явления в тропосфере и проблема происхождения серебристых облаков.- Петропавловск, 2007, ЦНТИ. – С.17.
2. Солодовник А.А., Кудабая Д.А., Сартин С.А., Бельченко В.Н. Метеорологические процессы в тропосфере Земли и происхождение серебристых облаков // Вестник Актыбинского государственного педагогического института, – 2010. №1, – С. 109-114.
3. P. Dalin, S. Kirkwood, A. Mostrom, K. Stebel, P. Hoffmann, and W. Singer // A case study of gravity waves in noctilucent clouds. *Annales Geophysicae* 2004. 06.
4. Журавлев П.Л. Исследование влияния геофизических факторов на образование полей мезосферных серебристых облаков. Магистерская диссертация на соискание академической степени, Петропавловск, СКГУ, 2014. – 69 с.
5. Солодовник А.А. Атмосферное электричество и происхождение серебристых облаков // *Земля и Вселенная*, № 6, 2007.
6. Солодовник А.А., Кудабая Д.А., Крючков В.Н., Леонченко А.С. Серебристые облака: проблема образования и вопрос о дефинициях. – *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия физ. мат.* № 4 2011. – С. 105 – 110.
7. Солодовник А.А., Кудабая Д.А., Крючков В.Н. Сезонные и межсезонные вариации площади глобального поля серебристых облаков.- *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия физ. мат.* № 4 2013. – С. 60 – 64.
8. Солодовник А.А., Журавлев П.Л., Баукенов Б.М. Изучение влияния тропосферных процессов на образование полей серебристых облаков по итогам наблюдений 2013 года//*Актуальные вопросы современной науки. Сборник научных трудов*, № 36, Новосибирск, 2014. – С. 89 – 101.
9. Солодовник А.А., Журавлёв П.Л., Баукенов Б.М. Опыт прогнозирования появления МСО на основе анализа метеорологических данных // *Материалы международной*

научно-практической конференции «Достижения и перспективы исследований небесных тел и Земли: фундаментальные, прикладные и научно-методические аспекты» 10.04.2014 г. – Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева. – С. 62-68.

10. Солодовник А.А., Уазиров А.Н., Билялов А.К. Опыт панорамного мониторинга мезосферных серебристых облаков. - The Scientific Heritage № 24 (2018) P.1

(Budapest, Hungary). – с. 48-52.

Сайт спутника AIM, раздел содержит фотографии северного и южного полушарий <http://lasp.colorado.edu/aim/browse-images.php?dataset=pmc> (актуальна 01.05.2019)

Принято в печать 06.12.2019

А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев

Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл

**e-mail: buseinov@gmail.com*

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПОЛЕЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В СЕЗОНЫ 2017 – 2018 ГОДОВ

Аннотация. С целью развития новых эффективных методов регистрации полей серебристых облаков выполнен анализ результатов панорамного мониторинга сумеречного сегмента, проведённого в летние сезоны 2017-2018 годов. В наблюдениях использовалась широкоугольная монохромная камера Arecont AV40185DN-HB, имеющая поле зрения до 180 градусов по азимуту. Показано, что применение этой камеры позволяет не только успешно фиксировать факт появления серебристых облаков, но и изучать их структуру и кинематику путём последующего анализа изображений. В частности, выявлено, что изменение общей азимутальной протяженности облачных полей на протяжении ночи определялось, главным образом, влиянием изменения условий их освещения Солнцем. Панорамный мониторинг позволил также обнаруживать редкие события, связанные с возникновением и быстрым развитием своеобразных элементов облачного поля. В частности, рассмотрен факт появления отдельной волокнуобразной детали облачного поля в ночь с 3 на 4 июля 2018 года, появление и развитие которой оказалось связанным с эволюцией холодного тропосферного фронта над территорией Западно Сибирской низменности. Сделан вывод о том, что применение панорамного мониторинга сумеречного сегмента перспективно не только для совершенствования синоптических наблюдений серебристых облаков, но и для уточнения выводов о характере тропосферно – мезосферных связей.

Ключевые слова: мезосфера, серебристые облака, панорамный мониторинг, анализ изображений, фотометрия, метеорологические карты, тропосферно-мезосферные связи.

A.A. Solodovnik, B.M. Useinov, M.V Lanochkin., B.M. Ibraev

Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл

**e-mail: buseinov@gmail.com*

RESULTS OF MONITORING FIELDS OF NLC IN SEASONS 2017 - 2018

Abstract. In order to develop new effective methods for recording fields of silvery clouds, the results of panoramic monitoring of the twilight segment conducted in the summer seasons of 2017-2018 were analyzed. The observations used a wide-angle monochrome camera Arecont AV40185DN-HB, which has a field of view up to 180 degrees azimuth. It is shown that the use of

this camera allows not only to successfully record the appearance of silvery clouds, but also to study their structure and kinematics by subsequent image analysis. In particular, it was found that the change in the total azimuthal extent of cloud fields during the night was determined mainly by the influence of changes in the conditions of their illumination by the Sun. Panoramic monitoring also allowed to detect rare events associated with the emergence and rapid development of peculiar elements of the cloud field. In particular, the fact of the appearance of a separate fiber-like detail of the cloud field on the night of 3 to 4 July 2018, the appearance and development of which was associated with the evolution of the cold tropospheric front over the territory of the West Siberian lowland, is considered. It is concluded that the use of panoramic monitoring of the twilight segment is promising not only to improve SYNOPTIC observations of silvery clouds, but also to clarify the conclusions about the nature of tropospheric-mesospheric connections.

Keywords: mesosphere, silver clouds, panoramic monitoring, image analysis, photometry, meteorological maps, tropospheric-mesospheric communications.






А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Петропавл

2017 - 2018 ЖЫЛДАРДАҒЫ КҮМІС БҰЛТ ӨРІСТЕРІН БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аннотация. Күміс бұлт кен орындарын тіркеудің жаңа тиімді әдістерін әзірлеу мақсатында 2017-2018 жж. Жазғы маусымдарда ымырт сегментіне панорамалық бақылау нәтижелерін талдау жасалды. Байқау кезінде Arecont AV40185DN-NB кең бұрышты монохромды камера пайдаланылды, көру өрісі азимутта 180 градус. Бұл камераны пайдалану күміс бұлттардың пайда болу фактісін сәтті тіркеуге ғана емес, сонымен қатар кейінгі кескінді талдау арқылы олардың құрылымы мен кинематикасын зерттеуге мүмкіндік беретіндігі көрсетілген. Атап айтқанда, бұлтты өрістердің жалпы азимуталды мөлшерінің бір тәулік ішінде өзгеруі көбінесе олардың күн сәулесі жағдайындағы өзгерістердің әсерінен анықталады. Панорамалық бақылау сонымен қатар бұлт өрісінің ерекше элементтерінің пайда болуымен және тез дамуына байланысты сирек кездесетін оқиғаларды анықтауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, пайда болуы және дамуы Батыс Сібір ойпаты аумағындағы суық тропосфералық фронттың эволюциясымен байланысты 2018 жылдың 3-4 шілдесіне қараған түні бұлт өрісінің жеке талшық тәрізді бөлшегінің пайда болу фактісі қарастырылды. Ымырт сегментінің панорамалық мониторингін қолдану күміс бұлттардың синоптикалық бақылауын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар тропосфералық - мезосфералық байланыстардың табиғаты туралы қорытындыларды нақтылауға мүмкіндік береді деген тұжырымға келді.

Түйін сөздер: мезосфера, күміс бұлттар, панорамалық бақылау, кескінді талдау, фотометрия, метеорологиялық карталар, тропосфералық-мезосфералық коммуникациялар.

А.С. Инчин¹ , Ю.Р. Шпади¹ , М.Ю. Шпади¹ , Л.И. Майлибаева¹ 
А.Ю. Лозбин^{1,2} , Г.М. Аязбаев^{1,2} 

¹Институт космической техники и технологии, г. Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

e-mail: lozbin.a@jstt.kz

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ МИССИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА KAZSCISAT-1

Аннотация. В статье приведены основные результаты выполнения научной миссии космического аппарата KazSciSat-1. Описываются работы, проведенные на стадиях опытно-конструкторских работ создания космической системы научного назначения специалистами Института космической техники и технологии. Разработан космический аппарат научного назначения KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса. В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр LEMI-040 предназначенный для измерения вектора индукции. 4 декабря 2018 г. произведен успешный запуск KazSciSat-1. С 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите. Произведено более 440 сеансов связи и получено более 1300 точек измерений постоянного магнитного поля Земли в зоне видимости НКУ над регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных. Построены карты регионального реального и модельного магнитного поля. Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

Ключевые слова: геомагнитное поле, наноспутник, ионосфера, космический аппарат

Введение.

Магнитное поле Земли (МПЗ) является надежным барьером, который окружает и защищает нашу планету от потока высокоэнергетических заряженных частиц, потоков солнечного ветра. Вместе с тем оно, как известно, оказывает постоянное и непосредственное воздействие на деятельность живых организмов. Без него жизнь на Земле не могла бы существовать. Поэтому изучению магнитного поля во всем мире уделяется большое внимание. В последнее время к наблюдениям за изменением магнитного поля Земли уделяется особое внимание, поскольку наблюдается тенденция к ослаблению магнитного поля Земли и постепенное смещение магнитного Северного полюса в сторону Сибири [1, 2]. Располагая данными измерений и последующих расчетов, ученые получают возможность понимания естественных процессов, происходящих в глубинах нашей планеты и о влиянии на планету космической погоды, являющейся следствием бурной деятельности Солнца. Казахстан также вносит свой вклад в изучение магнит-

ного поля Земли. С этой целью был разработан и 4 декабря 2018 года запущен казахстанский научный наноспутник KazSciSat-1. Спутник проводит измерения постоянного магнитного поля Земли над казахстанским регионом.

Наноспутник KazSciSat-1

В рамках опытно-конструкторских работ по созданию космической системы научного назначения специалистами 2-х лабораторий Института космической техники и технологии (ИКТТ) (Лабораторией разработки космических систем и Лабораторией космических систем научного назначения) разработан космический аппарат научного назначения (КАНН) KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса (НЦК).

KazSciSat-1 разработан на базе технологии CubeSat 3U для эксплуатации на солнечно-синхронной орбите с высотой ~600 км. Основной миссией КАНН является мониторинг магнитного поля Земли с целью исследования физических процессов в ближнем

космосе и их взаимосвязи с земными процессами. Задачи для научного спутника были поставлены научными организациями Казахстана (АО «НЦКИТ», МОН РК) при участии зарубежных партнеров из России (ИЗМИРАН, Геоскан), Украины (ЛЦ ИКИ), Франции (CNRS). При формировании научного облика КАНН учтен опыт специалистов Института по обработке и анализу спутниковой геофизической информации в рамках программы «Интеркосмос» (1978-1990 гг).

В ходе работ над КА выполнены следующие основные этапы:

- осуществлено проектирование космической системы научного назначения на базе требований европейских стандартов ECSS;
- разработано программное обеспечение для бортового комплекса управления КА;
- разработано программное обеспечение наземного целевого комплекса, включающее систему планирования и научной обработки полезных данных, а также веб-портал для предоставления обработанной научной информации конечным потребителям;
- выполнены работы по сборке космического аппарата KazSciSat-1 и его наземного сегмента;
- проведены испытания космического аппарата KazSciSat-1 на воздействие внешних факторов согласно разработанным планам и методикам испытаний;
- произведена интеграция космического аппарата KazSciSat-1 для запуска на ракетоносителе Falcon-9.

4 декабря 2018 г. в 00:32 (GMT+6) успешно осуществлен запуск KazSciSat-1 на ракете-носителе Falcon-9. Далее в 03:54 (GMT+6) произошло успешное отделение КАНН от платформы UFF ракеты-носителя. Спустя 30 минут после отделения произведено разворачивание антенной системы УКВ-диапазона КАНН и далее, через 10 минут, произведено разворачивание штанги полезной нагрузки.

На рисунке 2 приведен внешний вид спутника с выносной штангой и магнитометром на конце.



Рисунок 1 – Внешний вид наноспутника KazSciSat-1

Спустя 6 часов после отделения космического аппарата от ракеты-носителя, на НКУ состоялись первые сеансы связи. На рисунке 2 приводится внешний вид антенного комплекса НКУ.



Рисунок 2 – Внешний вид антенного комплекса НКУ

Во время первых сеансов связи осуществлено тестирование служебных систем и полезной нагрузки, произведены испытания всей цепочки миссии, начиная от приема полезных данных, ее передачи на НЦК, научной обработки, каталогизации и заканчивая публикацией на сайте (<http://kazscisat.istt.kz>) КСНН для конечных потребителей

В ходе работ за период с 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите.

Произведено более 440 сеансов связи с KazSciSat-1, получено более 1300 точек измерений постоянного магнитного поля

Земли над казахстанским регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных.

Крайний сеанс связи с KazSciSat-1 проведен 11 декабря 2019 года. В ходе сеанса принято 11 сигналов маяка, содержащих телеметрическую служебную и целевую информацию. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр (ФЗМ) LEMI-040 (летная версия магнитометра LEMI-020). Прибор разработан Львовским центром Института космических исследований Украины.

ФЗМ предназначен для измерения вектора индукции магнитного поля (рисунок 3).



Рисунок 3 – Датчик ФЗМ LEMI-020 и внешний вид наноспутника

В таблице 1 приведены основные характеристики ФЗМ.

Результаты и обсуждение

Спутник KazSciSat-1 был запущен попутным грузом и отделение от платформы ракетносителя происходило в группе КА. Изначально была идентифицирована эта группа, а 8 февраля 2019 года KazSciSat-1 был окончательно определен как отдельный спутник и получил номер в каталоге НОРАД №43787.

Уточнение TLE-данных существенно повысило качество принимаемой научной информации, поскольку точность слежения спутника стала намного лучше. На рисунке 4 показаны проекции трасс спутника во время сеансов связи НКУ с КА KazSciSat-1 в пе-

риод с 1.01.2019 по 31.03.2019 года, а на рисунке 5 – точки измерений магнитного поля Земли.

Таблица – 1 - Технические характеристики магнитометра LEMI-020

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания постоянного тока, В	5.0 ± 0.2
Диапазон измерения каждой проекции вектора индукции магнитного поля, нТл, не менее	± 60000
Смещения нуля, нТл, не более	2000
Погрешность определения смещения нуля при калибровке, нТл, не более	50
Уровень шума на частоте 10 Гц, пТлср.кв./√Гц, не более	30
Неортогональность осей магнитной чувствительности, не более	$\pm 0.5^\circ$
Количество разрядов цифрового кода	20
Параметры последовательного цифрового интерфейса RS-232: - скорость обмена данными, кБод - количество бит информации - количество стоп бит	115.2 8 1
Объем внутренней энергонезависимой памяти, МБт	512
Максимальная потребляемая мощность, Вт, не более	0.4
Габаритные размеры, мм, не более: - блока электроники - печатной платы узла электроники - блока датчика (без кабеля) - датчика	130x78x55 66x66x10 64x40x30 20x20x21
Масса, кг, не более - печатной платы узла электроники - датчика	0,04 0,025

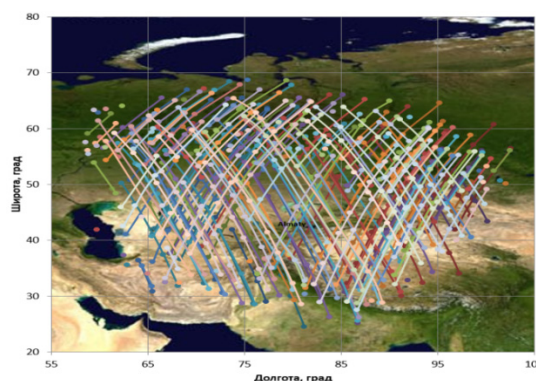


Рисунок 4 – Проекция трасс спутника во время сеансов связи НКУ с KazSciSat-1

«Мертвая зона» на рисунке 5 в районе г. Алматы, где располагается приемная станция НКУ, объясняется техническими ограничениями антенны на прием сигналов спутника в надире.

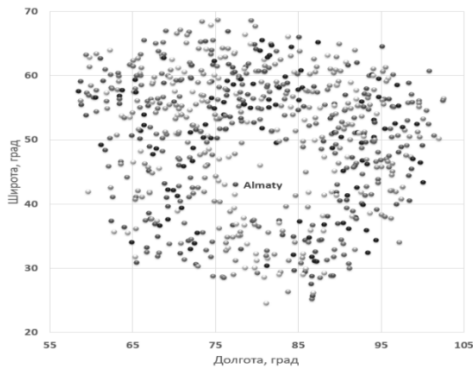


Рисунок 5 – Точки проведенных измерений спутника KazSciSat-1 по состоянию на 31.03.2019г.

Как уже было сказано, KazSciSat-1 проводит 3-х компонентные измерения постоянного магнитного поля Земли над в зоне прямой видимости спутника НКУ. На рисунке 5 видно, что зона измерений магнитного поля Земли ограничена регионом 25-70° (С.Ш.) и 55-105° (В.Д.). Модуль поля вычислялся по формуле (1):

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}; \quad (1)$$

На рисунке 6 показаны значения компонент (B_x , B_y , B_z) и модуля (B_m) вектора индукции магнитного поля, измеренные на борту KazSciSat-1.

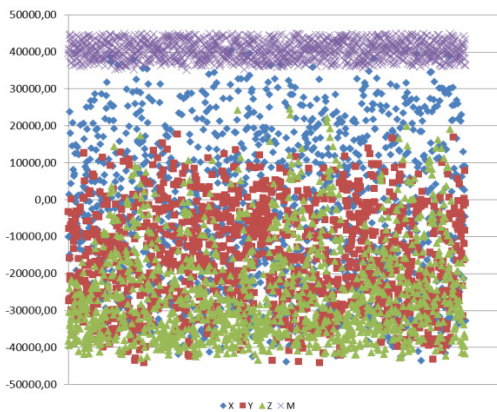


Рисунок 6 – Значения компонент (B_x , B_y , B_z) и модуля (B_m) вектора индукции магнитного поля, полученные с борта KazSciSat-1

Для изучения магнитного поля Земли необходимо иметь карты его временного и пространственного распределения. Наличие таких карт позволит проследить динамику изменений МПЗ, выявить естественные и техногенные факторы, влияющие на МПЗ. Поэтому первым шагом в исследовании магнитного поля является построение таких

карт. Точки над регионом, в которых проводились измерения, показаны на рисунке 5.

На высоте спутника (~600 км) построено модельное магнитное поле для казахстанского региона. При этом использована модель IGRF-12 на эпоху 2015-2020 годы [3]. Карта изолиний модуля модельного магнитного поля приведена на рисунке 7.

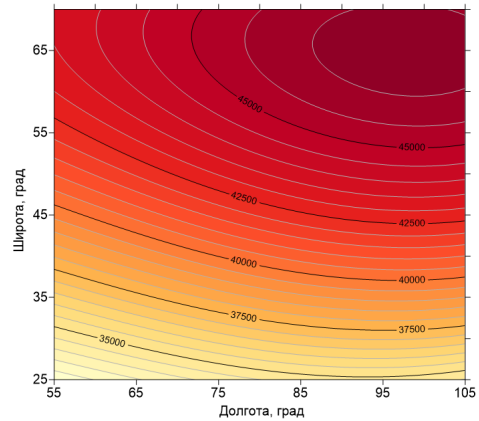


Рисунок 7 – Карта модельного модуля МПЗ в казахстанском регионе

Как видно из рисунка 7, модельное магнитное поле имеет весьма сглаженный вид. Для оценки реального магнитного поля в регионе использованы данные магнитных измерений на спутнике KazSciSat-1.

По накопленным за 3 месяца спутниковым данным построена региональная карта реального магнитного поля, приведенная на рисунке 8.

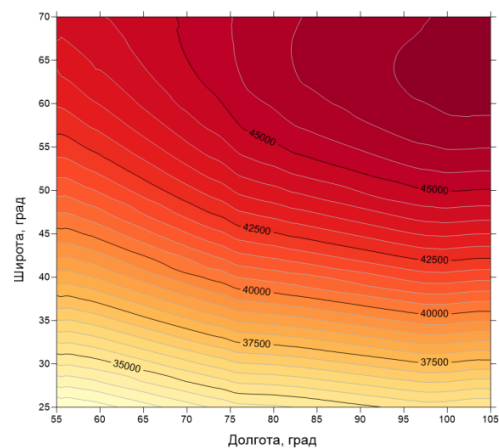


Рисунок 8 – Карта изолиний реального магнитного поля в регионе по накопленным спутниковым данным

Заключение

В рамках опытно-конструкторских работ по созданию космической системы науч-

ного назначения специалистами ИКТТ спроектирован, изготовлен и запущен на околоземную орбиту космический аппарат научного назначения KazSciSat-1. Создан наземный сегмент, состоящий из НКУ для управления и связи со спутником и НЦК для сбора и обработки научной информации КАНН.

3 месяца активного существования спутника и 440 сеансов связи с ним позволили получить более 1300 измерений магнитного поля Земли, построить карты реального магнитного поля Земли над территорией Республики Казахстан и сравнить его с модельным полем, построенным по модели IGRF-12 для этого же региона.

Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено,

космический аппарат работает в штатном режиме.

Список литературы

- 1 G.A. Glatzmaier and P.H. Roberts. A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal, *Nature*, 377, 1995, pp. 203-209.
- 2 J. Aubert. Geomagnetic acceleration and rapid hydromagnetic wave dynamics in advanced numerical simulations of the geodynamo, *Geophysical Journal International*, V. 214, Issue 1, 2018, p.531-547
- 3 <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmo/d/igrf.html>

Принято в печать 03.03.2020

**А.С. Инчин¹, Ю.Р. Шпади¹, М.Ю. Шпади¹, Л.И. Майлибаева¹
А.Ю. Лозбин^{1,2}, Г.М. Аязбаев^{1,2}**

¹*Институт космической техники и технологии, г. Алматы, Казахстан*

²*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
e-mail: lozbin.a@istt.kz*

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ МИССИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА KAZSCISAT-1

Аннотация. В статье приведены основные результаты выполнения научной миссии космического аппарата KazSciSat-1. Описываются работы, проведенные на стадиях опытно-конструкторских работ создания космической системы научного назначения специалистами Института космической техники и технологии. Разработан космический аппарат научного назначения KazSciSat-1 и наземный сегмент, состоящий из наземного комплекса управления (НКУ) и наземного целевого комплекса. В качестве полезной научной нагрузки на спутнике KazSciSat-1 использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр LEMI-040 предназначенный для измерения вектора индукции. 4 декабря 2018 г. произведен успешный запуск KazSciSat-1. С 1 января по 31 марта 2019 г. производилась штатная эксплуатация KazSciSat-1 на орбите. Произведено более 440 сеансов связи и получено более 1300 точек измерений постоянного магнитного поля Земли в зоне видимости НКУ над регионом. Произведена научная обработка полученных полезных данных. Построены карты регионального реального и модельного магнитного поля. Через год после запуска (11 декабря 2019 года) был проведен очередной сеанс связи с KazSciSat-1. По результатам анализа полученных данных KazSciSat-1 каких-либо отклонений в работе подсистем не выявлено, космический аппарат работает в штатном режиме.

Ключевые слова: геомагнитное поле, наноспутник, ионосфера, космический аппарат

**A.Inchin, Yu. Shpadi¹, M.Shpadi¹, L.Mailibayeva¹
A.Loabin^{1,2}, G.Ayazbayev^{1,2}**

¹Institute of Space Techniques and Technologies, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

e-mail: lozbin.a@istt.kz

THE RESULTS OF SCIENTIFIC MISSION OF THE KAZSCISAT-1 SPACECRAFT

Abstract. In this paper the main results of the scientific mission of the KazSciSat-1 spacecraft is given. The main results of the Scientific Space System designing by the specialists of the Institute of the Space Techniques and Technologies are shown. The Scientific Spacecraft KazSciSat-1 and ground segment (Ground Scientific Mission Center and Ground Mission Control Center) are created. As a scientific payload on board KazSciSat-1 the 3-axis flux-gate magnetometer LEMI-040 for the magnetic field flux density measurements is used. At December, 4, 2018 the KazSciSat-1 was successfully launched. Started from January, 1 till March, 31, 2019 the routine operation of the KazSciSat-1 was proceeded. More than 440 communication sessions were done and more than 1300 results of the Earth's magnetic field measurements in the Mission Control Center visibility zone above region are received. The scientific data processing was done. The regional maps (real and model) of the magnetic field are generated. After one-year operation, at December, 11, 2019, the last communication session was done. After received operational and scientific data analysis, no any errors in the subsystems actions are found. The spacecraft still works properly.

Keywords: geomagnetic field; nanosatellite; ionosphere; spacecraft

А.С. Инчин¹, Ю.Р. Шпади¹, М.Ю. Шпади¹, Л.И. Майлибаева¹

А.Ю. Лозбин^{1,2}, Г.М. Аязбаев^{1,2}

¹Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматық., Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматық., Қазақстан

e-mail: lozbin.a@istt.kz

KAZSCISAT-1 ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ МИССИЯСЫНЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аңдатпа. Мақалада KazSciSat-1 ғарыш кемесінің ғылыми миссиясының негізгі нәтижелері келтірілген. Жұмыста Ғарыштық техника және технология институтының мамандары ғылыми пайдалану үшін ғарыш жүйесін құру бойынша тәжірибелік-конструкторлық жұмыстардың кезеңдерінде атқарылған жұмыстар туралы сипатталған. KazSciSat-1 ғылыми ғарыш кемесі және жерден басқару кешені (ЖБК) және жердегі нысаналы кешеннен тұратын жер сегменті жасалды. KazSciSat-1 спутнигіндегі пайдалы ғылыми жүктеме ретінде индукциялық векторды өлшеуге арналған LEMI-040 үш компонентті ағынды феррозондтық магнитометрі қолданылды. 2018 жылдың 4 желтоқсанында KazSciSat-1 сәтті ұшырылды. 2019 жылдың 1 қаңтарынан 31 наурызына дейін KazSciSat-1 орбитада қалыпты жұмыс істеді. 440-тан астам байланыс сеанстары жүргізіліп, 1300-ден астам ЖБК-ға көріну өлке аймағында жердің тұрақты магнит өрісін алу мүмкін болды. Алынған пайдалы мәліметтерді ғылыми өңдеу жүргізілді. Аймақтық нақты және модельді магнит өрісінің карталары жасалды. Іске қосылғаннан кейін бір жыл өткен соң (2019 жылғы 11 желтоқсан) KazSciSat - 1 жүйесімен кезекті байланыс сессиясы өтті. Алынған KazSciSat-1 деректерін талдау нәтижелері бойынша ішкі жүйелер жұмысында ауытқулар анықталған жоқ, ғарыш аппараттары қалыпты жағдайда жұмыс істейді.

Кілт сөздер: геомагниттік өріс, наноспутник, ионосфера, ғарыш аппараттары

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капытин²

¹Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н. Туси;

²Национальная Академия Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан;

ДТОО «Институт Ионосферы», Алматы;

shirin.guseyn@gmail.com, vmsons@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация: В работе представлены результаты обработки временных рядов радиоизлучения Солнца методом динамического фрактального анализа. Необходимость использования данного метода продиктована нелинейностью и диссипативностью протекающих процессов. Обнаружено, что если найденные значения фрактальной оценки $1 < D_t < 1.5$, полученные на основе временных рядов флуктуаций радиоизлучения Солнца, то тогда существующий ряд имеет персистентный (инерционный) характер. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объекта. Таким образом, современный динамический метод - фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце. Применение на практике современного динамического метода фрактального анализа дало возможность определить динамические параметры (эволюция пятен, прогноз вспышечных событий и оценка их мощность и др.) на Солнце.

Ключевые слова: солнечная радиация, нестационарные временные ряды, синергетика, фрактальный анализ, прогнозирование, космическая погода.

Введение

К концу XX века российский радиопизик О.И. Юдин, исследовавший солнечное радиоизлучение, подтвердил существование его флуктуаций, связанных с физическими процессами, происходящими на Солнце. Научный сотрудник Радиопизического научно исследовательского института, расположенного в Нижнем Новгороде в 70-х годах того же века, проф. М.М. Кобрин (вместе со своими сотрудниками) начал публиковать научные результаты, подтверждающие, что динамика этих флуктуаций связана с солнечными вспышками, которые не редко сопровождаются протонными событиями

[1,2]. Протонное событие – является одним из самых важных и опасных проявлений космической погоды и требует тщательного и всестороннего изучения. Несмотря на то, что эти наблюдения проводятся на радиоастрономических телескопах с диаметром $2 \div 100$ метров и работающих на частотах $f = 1 \div 17$ ГГц на территориях разных стран, в настоящее время полученные результаты существенно противоречат друг другу. Основные причины этого были частично объяснены в работе [3]. Применение преобразования Фурье и его различных модификации на основе флуктуаций солнечного радиоизлучения является наиболее важным из этих

причин, хотя эти классические методы позволяют получить более реалистичные результаты при исследовании стационарных и линейных процессов.

За последние несколько десятилетий исследователи обнаружили, что в природе постоянно происходят процессы, которые не могут быть интерпретированы в рамках линейных теорий колебаний и волн. Это относится к процессам эволюции, то есть к процессам возникновения, развития и распада новых физических структур. Как правило, такие процессы сопровождаются ростом хаотичности. Причем хаотичность не редко имеет детерминированный характер.

Чтобы понять суть эволюционных процессов возникновения и развития физических структур, изучить их природу, необходимо использовать методы нелинейной динамики [8]. Эти методы позволяют изучать детерминированные процессы с учетом эволюционной нелинейности. Понятие эволюционной нелинейности возникло в теории «физики эволюции», в задачи которой входит описание процессов возникновения, эволюции и распада открытых неравновесных динамических систем (ОНДС) в рамках фундаментальных законов физики [6,13,14]. К ОНДС относятся все природные системы, включая солнечные вспышки. Постоянный процесс эволюции систем как раз и обусловлен их открытостью, изменениями внешних условий, неравновесностью природных систем [4, 6].

Для изучения временных рядов записи параметров, отражающих эволюционные динамические процессы, можно использовать различные нелинейные методы. В частности методы неравновесной динамики. Их особенность заключается в том, что они позволяют выявлять детерминированные процессы, разделять детерминированный хаос от случайного хаоса (часто случайный, или недетерминированный хаос называется шумом), определять размерность уравнений, которые описывают данные процесс [7].

За последние 30 лет специалисты и эксперты в различных областях науки разработали методы для изучения природы эволюционных процессов, происходящих в живых и неживых объектах в мире. Некоторые из них широко освещены в монографиях и

учебниках [5,6,7,8]. Исследование временных рядов записи интенсивности радиоизлучения Солнца, основанное на наших наблюдениях в любых ОНДС, состоит в определении его структуры и изучении процессов их эволюции.

Основываясь на вышеупомянутых научных работах, в предлагаемой работе путем применения методов фрактального анализа к временным рядам, полученным по радиоастрономическим наблюдениям Солнца, сделана попытка приблизиться к пониманию вспышечного процесса и его влияния на атмосферу Земли.

2.Обработка и использование данных наблюдений

В качестве наблюдательных данных использовались 12 изолированных солнечных радио всплесков с мощностью $2 \leq K \leq 3$ баллов. Нами использованы данные радио поляриметров, работающих на частотах $f=1, 2, 3$ и 4 ГГц, полученные в 2010-15 гг., в Нобеямской радио обсерватории (Япония) и данные австралийской обсерватории в Лермонтеза 2014 г. Информация для математической обработки взята с сайтов <https://solar.nro.nao.ac.jp/>, <http://www.sws.bom.gov.au>. Временные ряды основаны на дискретных значениях $\Delta t = 1$ мин. Кроме того, нами также были использованы материалы наблюдений проводимый на 12- метровом радиотелескопе на частотах $f=1$ ГГц и $f=3$ ГГц в Институте ионосферы Республики Казахстан за период 2010-15 гг.

Наблюдения за Солнцем, продолжались регулярно, с 08:00 до 18:00 (по местному времени) на длинах волн 10.7 и 27.8 см. Учитывая, что дискретный объем полученных данных составляет $\Delta t = 5$ секунд, количество ежедневных данных за 7-8 часов составляет $N= 5400-5700$. Эти материалы были использованы только для определение локального положение (начало, максимум и конец) солнечного вспышки (всплесков) и сравниваем его с уровнем радиоизлучение Солнца полученные с помощью радио поляриметра Нобеяма.

При исследовании предвспышечных состояний в центрах активности с развивающимися группами пятен, дающими

вспышки с силой ≥ 2 баллов, было установлено, что в радио спектрах сантиметрового радиоизлучения Солнца усиливаются пульсации с характерными времени $t_x \geq 25$ минут. Для подтверждения этого факта использовались материалы наблюдений с 1979-82 гг. и 1989-90 гг. на радиотелескопе РТ-12 Института Ионосферы Республики Казахстан, РТ-22 Радиоастрономической станции Физического института РАН. Предполагаемые радио-вспышки и данные их наблюдений вокруг них были обработаны с использованием метода динамического преобразования Фурье (ДПФ) и метода фрактального анализа (МФА) [3,9].

В период 24-ого цикла солнечной активности, благодаря совместным исследованиям, кроме протонных событий, имевших место 17 мая и 6 января 2014 года, были установлены три протонных события - 27 января, 7 марта и 13 марта 2012 года [9]. В период этих протонных событий произошло увеличение солнечной радиации на Земле.

Мы изучили временные ряды, связанные со вспышечными процессами, которые, в свою очередь, были связаны с эволюцией пятен (изменения полей, увеличение интенсивности) и вариацией в диапазоне $5.5 \leq M \leq 8.7$ баллов. В настоящее время интенсивность возмущений во время протонных событий оценивается по пятибалльной шкале от R1 (для M балловой вспышки), до R5 (M=12.5) для самой яркой вспышки.

3. Результаты обработки данных наблюдений и их анализ

За последние 25 лет в различных областях науки: в физике, геофизике, радиофизике, биологии, медицине и экономике, широко используются такие современные методы, как фрактальный анализ, вейвлет-преобразование. Они используются для анализа временных рядов, которые отражают динамику нестационарных процессов [3]. Применение метода фрактального анализа к радиоастрономическим временным рядам отражено в [3,10]. Определение степени хаотичности временных рядов является основной сутью фрактального анализа. Существуют различные способы определения степени фрактального измерения. Простой

метод R/S для нестационарных временных рядов предложен английским гидрологом Херстом [11]. В этом методе, степень фрактального измерения - D_t основана на показателе H_t -Херста.

В данной работе с помощью модифицированного фрактального анализа были проанализированы радиоастрономические временные ряды, составленные на основе 12 мощных вспышек и 5 протонных событий (за 3 дня до события, день событий и через два дня после события).

Для анализа процесса солнечной вспышки нами использовались временные ряды на основе локальных скачков, когда число дискретных точек $100 \leq N \leq 300$ относительно незначительно, мы использовали усовершенствованную Эрик Нейманом эмпирическим методом формулу [12]:

$$H_t = \ln(R/S) / \ln\left(\pi + \frac{N}{2}\right) - 0,0011 * \ln N + 1.0136 \quad (1)$$

Здесь $a=\pi/2$ - заданная положительная постоянная.

Анализируя природные явления, Херст пришел к выводу, что, если число дискретных значений незначительно, то значение $a=0.5$ более реально отражает значение этой константы. Тогда $\pi = 2a = 2 \cdot 0.5 = 1$. Мы, в следующих вычислениях использовали формулу (1), где, N - количество данных наблюдения временных данных, S - средний квадрат наклона наблюдательных рядов, R - значение размаха внутри границы.

В качестве расчетной точки Херст использовал формулу $R = \sqrt{T}$, которую он взял из труда Эйнштейна о Броуновском движении частиц, где T - показатель времени. Оценки фрактального измерения по показателю Херст - D_t определяются по следующей простой формуле:

$$D_t = 2 - H_t \quad (2)$$

На основе временных рядов полученных до, во время и после вспышки определены оценки фрактального измерения - D_t :

$$0.5 < H_t \leq 1; \quad 1 < D_t < 1.5 \quad (3)$$

Показатели позволяют сделать вывод о том, что временные ряды, основанные на радиоастрономических колебаниях, это непрерывные временные ряды. Если $H_t \approx 0.5; D_t \approx 1.5$, то процесс определяется как случайный. Результаты статистической и

динамической обработки данных наблюдений представлены на следующих таблицах:

В таблице 1, на основе радиоастрономических временных рядов на основе вспыхивающих событий представлены показатели Херста и оценки фрактальной размерности. Из Таблицы 1 видно, что при приближении дня событий (день вспышки) хаотичность заменяется более гладкой хаотичностью.

В Таблице 2 представлены оценки фрактальной размерности для произошедшего вспыхивающего события за разные временные интервалы в 07.03.2011 г.

В Таблице 3 в разные дни зависимость между мощностью протонных событий и оценкой фрактальной размерности

Таблица 1 – Показатели Херста и оценки фрактального анализа

Дата протонных событий (день, месяц и год)	05.03.2012	09.03.2012	13.03.2012	07.03.2012
Мощность протонных событий	M 5.5	M 6.3	M 7.9	X5.5; X1.5 α-β-γ
Оценки фрактальной размерности	1.272	1.260	1.246	1.193

Таблица 2 – Оценки фрактальной размерности

Дни, месяц, год	3.03.2011	4.03.2011	5.03.2011	6.03.2011	7.03.2011	8.03.2011	9.03.2011
Показатель Херста H_t	0.827	0.825	0.828	0.814	0.766	0.825	0.830
Фрактальная размерность D_t	1.172	1.174	1.171	1.185	1.233	1.174	1.169

В работе на основе анализов 5-ти протонных событий нам удалось сделать вывод, что между величиной фрактальной размерности и мощностью протонных событий имеет место обратная зависимость.

На рисунке 1 приведены значения показателя Херста за 2014г для обсерватории в

Лермонте. Каждому дню в году соответствует единственное значение показателя Херста. Проводилось сравнение показателей Херста во время сильных вспышек, в дни после и перед вспышками, и в дни когда вспышек не было. Информация взята с сайта <https://www.spaceweatherlive.com/ru/>

Таблица 3 – Зависимость между мощностью протонных событий и оценкой фрактальной размерности

День вспышки	Продолжительность вспышка	Во время событий D_t
7.03.2011	1) 04.54÷05.40 2) 07.55÷08.41 3) 09.00÷09.50	1.157 1.171 1.168

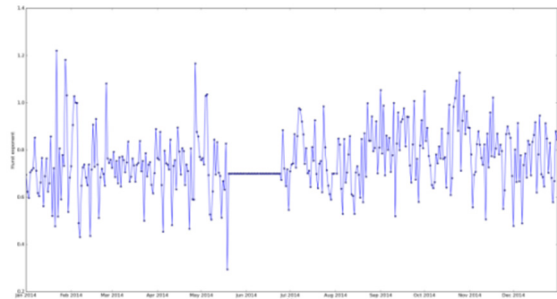


Рисунок 1 – Значения показателей Херста в зависимости от дня года(2014 г.)

Как видно из Таблицы 4 показатель Херста в период вспышки меняется.

Таблица 4 – Оценки показателей Херста для крупных солнечных вспышек за 2014 г.

дата	классификация	Показатель Херста
24.02.2014		0,647
25.02.2014	X4.9	1,082
26.02.2014		0,766
23.10.2014		1,097
24.10.2014	X3.1	0,882
25.10.2014		1,126
05.05.2014		1,034
06-09.05.2014	M1.8	0,694-0,626
10.05.2014		0,824
06.01.2014		0,722
07.01.2014	X1.25	0,852
08.01.2014		0,716

Он может как увеличиваться так и уменьшаться. В дни без вспышек показатель Херста меняется в пределах от 0,7 до 0,85, что соответствует показателю Херста для природных систем (Рисунок 2).

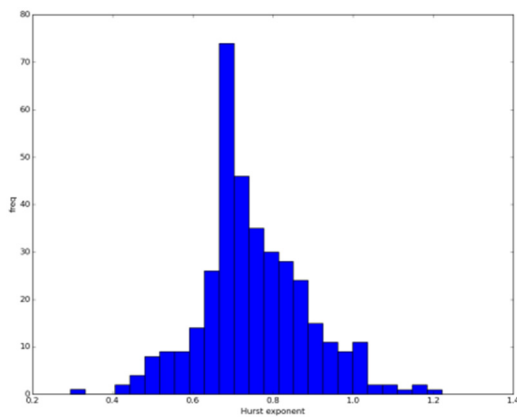


Рисунок 2 – Гистограмма распределения показателя Херста

Заключение

Анализ результатов статистической обработки данных о солнечных вспышках за несколько лет наблюдений позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что за 1-3 дня до вспышки мощностью $2 \leq K \leq 3$ баллов, преобладают пульсации с характерным временем изменения $t_x \geq 35$ мин.

2. Обнаружено, что временные ряды флуктуаций солнечного радиоизлучения, в соответствии с определенным значением фрактала $1 < D_t < 1.5$ являются непрерывными (инерционными) временными рядами. Другими словами, с приближением вспышечных процессов, хаотичность заменяется более гладко определенной хаотичностью.

3. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Более точнее, за 1-3 дня до протонного события $D_{t(сильная)} < D_{t(слабая)}$ - условия сохраняются.

4. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объекта. Таким образом, современный динамический метод -

фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце.

Литература

1. О.И. Юдин. Квазипериодические низкочастотные флуктуации радиоизлучения Солнца, Доклады АН СССР, 180 (1968) 821-823.
2. М.М. Kobrin, A.I. Korshunov. On quasi-periodic components with periodic from 30 to 60min of amplitude fluctuations of X-band solar radio emission, Sol. Phys., 25 (1972) 339-342.
3. Ş.Ş. Hüseyinov, S.Ş. Hüseyinov. SantimetrlikdestimetrlikdalğazunluğundaGünəşradioşulanmasıfluktuasiyalarının zamansızlarının statistik və dinamik tədqiqi, "Aviakosmik problemlərin həllində gənclərin yaradıcısı potensialı" III beynəlxalqelmi-praktik gənclər konfransı, (2018) 171-173.
4. И. Пригожин. От существующего к возникающему, М.: Наука, (1980) 342.
5. И. Пригожин, И. Стингерс. Время - хаос, квант, К решению парадокса времени.-М.: Эдиториал УРСС, (2001) 239.
6. В.М. Сомсиков. К основам физика эволюции, Алматы, (2016) 306.
7. А.Ю. Лоскутов. Основы теории сложных систем, М.: Регулярная и хаотическая динамика, (2007) 311.
8. А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. Введение в синергетику, М: Наука, (1990) 272.
9. Ш.Ш. Гусейнов, И.Г. Гахраманов, С.Ш. Гусейнов, В.М. Сомсиков и др. Исследование характеристик параметров солнечных радио всплесков - как эффективный критерий прогнозирования космической погоды, Azarbaijan Astronomical Journal, 11 №2 (2016) 20-26.
10. Ш.Ш. Гусейнов. Некоторые особенности характеристик хаотических колебаний, Fizika, AMEA-nin Fizika İnstitutu, №3 (2002) 31-34.
11. H.E. Hurst. Long Term Storage Capacity of Reservoirs: an experimental study, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 116 (1951) 770-799.
12. Э. Найман. Как покупать дешево и про-

давать дорого: Пособие для разумного инвестора, М.: «Альпина Паблишерз», (2011) 552.

13. V.M. Somsikov Deterministic irreversibility and the matter structure. Journal of Advances in Physics. V. 16. (2019) ISSN: 2347-3487 <http://cirworld.com/index.php/jap> p. 21-33.

14. V.M. Somsikov. Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487 .

Принято к печати 10.05.2018

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капытин²

¹Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н. Туси;

²Национальная Академия Наук Азербайджана, Баку, Азербайджан;

ДТОО «Институт Ионосферы», Алматы;

shirin.guseyn@gmail.com, ymsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И КОРОТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация: В работе представлены результаты обработки временных рядов радиоизлучения Солнца методом динамического фрактального анализа. Необходимость использования данного метода продиктована нелинейностью и диссипативностью протекающих процессов. Обнаружено, что если найденные значения фрактальной оценки $1 < D_t < 1.5$, полученные на основе временных рядов флуктуаций радиоизлучения Солнца, то тогда существующий ряд имеет персистентный (инерционный) характер. Исследование 5-и протонных событий показало, что значение вычисленной степени фрактальной размерности обратно пропорционально мощности протонного события. Установлено, что использование динамического метода фрактального анализа в радиоастрономических временных рядах, позволяет учитывать управление сдержанной хаотичностью физического состояния, вызванным процессами, происходящими на Солнце, и его взаимодействием с атмосферой Земли. Это позволяет качественно и количественно оценить энергетический баланс исследуемого нами объекта. Таким образом, современный динамический метод - фрактальный анализ, дает более реалистичные результаты при исследовании нестационарных процессов, происходящих на Солнце. Применение на практике современного динамического метода фрактального анализа дало возможность определить динамические параметры (эволюция пятен, прогноз вспышечных событий и оценка их мощность и др.) на Солнце.

Ключевые слова: солнечная радиация, нестационарные временные ряды, синергетика, фрактальный анализ, прогнозирование, космическая погода.

¹Guseynov S.Sh., ²Somsikov V.M., ¹Guseynov S.Sh., ²Andreev A. B., ²Kapytin V.I.

¹Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi;

National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan;

²Ionosphere Institute, Almaty;

shirin.guseyn@gmail.com, ymsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

SIMULATION OF THE STRUCTURE OF NON-STATIONARY AND SHORT TIME SERIES OF SOLAR RADIATION BASED ON FRACTAL ANALYSIS

Abstract. The paper presents the results of processing the time series of solar radio emission by the method of dynamic fractal analysis. The need to use this method is dictated by the nonlinearity and dissipativity of the processes. It was found that if the found values of the fractal estimate $1 < D_t < 1.5$, obtained on the basis of the time series of fluctuations in the solar radio emission, then the existing series has a persistent (inertial) character. The study of 5 proton events showed that the value of the calculated degree

of fractal dimension is inversely proportional to the power of the proton event. It is established that the use of the dynamic method of fractal analysis in radio astronomy time series makes it possible to take into account the control of the restrained randomness of the physical state caused by the processes occurring on the Sun and its interaction with the Earth's atmosphere. This allows us to qualitatively and quantitatively evaluate the energy balance of the object we are studying. Thus, the modern dynamic method - fractal analysis, gives more realistic results in the study of unsteady processes occurring on the Sun. The practical application of the modern dynamic method of fractal analysis made it possible to determine the dynamic parameters (evolution of spots, forecast flare events and estimate their power, etc.) on the Sun.

Key words: solar radiation, non-stationary time series, synergetics, fractal analysis, forecasting, space weather.

Ш.Ш. Гусейнов¹, В.М. Сомсиков², С.Ш. Гусейнов¹, А. Б. Андреев², В.И. Капыгин²

¹Н. Гуси атындағы Шамахи астрофизикалық обсерваториясы;

Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы, Баку, Әзірбайжан;

²“Ионосфера институты” ЕЖШС, Алматы;

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы.

shirin.guseyn@gmail.com, vmsoms@rambler.ru, sedi-huseynov@mail.ru,

alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru

ФРАКТАЛЬДЫ АНАЛИЗ НЕГІЗІНДЕ КҮН РАДИОСЫ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫНЫҢ ТҰРАҚСЫЗ ЖӘНЕ ҚЫСҚА УАҚЫТТЫҚ ҚАТАРЛАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Мақалада күн радиосының шығарылуының уақыттық қатарларын динамикалық фракталдық талдау әдісімен өңдеу нәтижелері келтірілген. Бұл әдісті қолдану қажеттілігі процестердің сызықты емес және диссипативті болуына байланысты. Егер күн радиосының сәулеленуіндегі тербелістердің уақыт сериясы негізінде алынған $1 < D_t < 1.5$ фрактальды сметаның табылған мәндері табылса, онда бар сериялар тұрақты (инерциялық) сипатқа ие болатындығы анықталды. 5 протондық оқиғаны зерттеу фракталдық өлшемнің есептік дәрежесінің мәні протон оқиғасының күшіне кері пропорционал екенін көрсетті. Радио-астрономияның уақыттық қатарларында фракталдық анализдің динамикалық әдісін қолдану Күнде болып жатқан процестердің және оның Жердің атмосферасымен әрекеттесуінен туындаған физикалық күйдің шектелген кездейсоқтықты бақылауды ескеруге мүмкіндік беретіндігі анықталды. Бұл біз оқып жатқан объектінің энергетикалық балансын сапалы және сандық бағалауға мүмкіндік береді. Осылайша, заманауи динамикалық әдіс - фракталдық талдау, Күнде болып жатқан тұрақсыз процестерді зерттеуде анағұрлым нақты нәтижелер береді. Фрактальды талдаудың заманауи динамикалық әдісін тәжірибеде қолдану Күннің динамикалық параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді (дақтар эволюциясы, алаудың алдын-алу шаралары және олардың қуатын бағалау және т.б.).

Түйінді сөздер: күн радиациясы, стационар емес уақыт қатарлары, синергетика, фракталдық талдау, болжау, ғарыш райы.

Г.А. Самигулина¹ , З.И. Самигулина² ¹Институт информационных и вычислительных технологий,
г. Алматы, Казахстан²Казахстанско-Британский Технический Университет,
г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ «СТРУКТУРА-СВОЙСТВО» ЛЕКАРСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННЫХ ИМ- МУННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В настоящее время фармакологическая отрасль активно развивается за счёт внедрения последних достижений в области искусственного интеллекта (ИИ). Ведущие мировые производители лекарственных препаратов сотрудничают с известными фирмами, занимающимися разработкой новых инновационных алгоритмов искусственного интеллекта с целью снижения себестоимости процесса производства лекарств и сокращения временных ресурсов. В связи с чем разработка современной интеллектуальной технологии, позволяющей обрабатывать большой массив химической информации и прогнозировать фармакологические свойства лекарственных соединений является актуальной задачей.

Прогнозирование зависимости «структура-свойство» (Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR) лекарственных соединений осуществляется с помощью модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем (Artificial Immune Systems, AIS) и алгоритма опыления цветов (Flower Pollination Algorithm, FPA). Алгоритм опыления цветов FPA применяется для решения задачи выделения информативных дескрипторов, описывающих структуру химических соединений. Представлена архитектура программного обеспечения для реализации предложенной интеллектуальной технологии с помощью агентно-ориентированного и онтологического подходов для мультиагентной платформы JADE. Построена онтологическая модель модифицированного алгоритма FPA-AIS в редакторе онтологий Protégé с учётом механизма оценки эффективности модифицированного алгоритма FPA-AIS на основе характеристик: ошибка классификации, точность, полнота и f-мера.

Ключевые слова: интеллектуальная технология, зависимость «структура-свойство» QSAR лекарственных соединений, искусственные иммунные системы, алгоритм опыления цветов, агентно-ориентированный подход, онтологическая модель.

Введение

Последние тенденции в области развития фармакологической отрасли привели к значительному росту сотрудничества известных производителей лекарств и организаций, занимающихся разработкой и внедрением ИИ. Например, швейцарская фармакологическая компания Roche заключила соглашение с фирмой Exscientia, специализирующейся в области ИИ для разработки доклинических препаратов. Также крупнейшая компания IBM успешно предоставляет суперкомпьютер Watson фармакологической компании Pfizer для поиска противораковых препаратов. Внедрение

методов ИИ нацелено на снижение временных и финансовых затрат при отборе кандидатов в лекарства, поскольку характерной особенностью исследований в данной области является большое количество химической структурной информации, эффективный анализ которой и последующая редукция данных позволяет достичь более высокой точности прогнозирования фармакологических свойств лекарственных соединений.

Хорошо зарекомендовали себя методы искусственного интеллекта для решения задачи выделения информативных признаков, такие как: алгоритм оптимизации

серых волков (Grey wolf optimization, GWO) [1], генетический алгоритм (Genetic Algorithm, GA) [2], алгоритм роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) [3], алгоритм опыления цветов (Flower Pollination Algorithm, FPA) [4] и т.д.

Особый интерес вызывает алгоритм опыления цветов, впервые предложенный учёным YangXin-She в 2012 году [5]. FPA является метаэвристическим алгоритмом, имитирующим процесс опыления цветов в природе. В настоящее время существует много исследований, посвящённых применению FPA в области биоинформатики и медицины. Например, в работе [6] представлен улучшенный алгоритм опыления цветов для идентификации белков. Работа [7] посвящена исследованиям сосудов сетчатки на основе алгоритма FPA с поиском по эталону. В исследованиях [8] алгоритм опыления цветов используется для идентификации личности по энцефалограмме. Работа [9] посвящена применению алгоритма FPA для настройки нейронной сети при классификации болезней сердца. В статье [10] представлен бинарный алгоритм опыления цветов и его приложения для решения задачи выделения информативных признаков. Моделирование осуществлялось на основе эталонных данных в области биоинформатики, таких как Tox-171, AR10P и т.д.

Таким образом, FPA является перспективным современным метаэвристическим алгоритмом, который в настоящее время успешно применяется для решения задачи выделения информативных признаков и может использоваться при разработке модифицированных алгоритмов прогнозирования на основе AIS.

Постановка задачи исследований

Постановка задачи исследований формулируется следующим образом: необходимо разработать программное обеспечение на мультиагентной платформе JADE для реализации интеллектуальной технологии прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений

на основе модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем FPA-AIS, агентно-ориентированного и отнологического подходов.

Модифицированный алгоритм FPA-AIS

Так как в настоящее время не существует универсальных алгоритмов для решения задачи прогнозирования актуальна разработка модифицированных алгоритмов искусственного интеллекта, которые можно применять к базам данных дескрипторов, рассматриваемых лекарственных соединений различных по размерности и характеру данных.

Рассмотрим процесс функционирования алгоритма опыления цветов для решения задачи выделения информативных дескрипторов, описывающих структуру химических соединений. В основе алгоритма FPA лежит природный процесс опыления цветов для дальнейшего воспроизводства вида. Опыление может быть осуществлено переносом пыльцы за счёт опылителей (пчёл, насекомых, птиц и т.д.), а также с помощью самоопыления. Данные формы опыления называются биотической и абиотической. На рисунке 1 представлен процесс опыления цветов в природе.

При разработке алгоритма опыления цветов выделены следующие положения [5, 11]:

- процесс глобального опыления осуществляется на основе биотической формы, когда пыльца от одного цветка переносится на рыльце пестика другого цветка за счёт опылителя, совершающего полёт Леви [15]; локальное опыление рассматривается как форма самоопыления; постоянство цветка – это процесс, при котором отдельные опылители посещают определённые виды цветов; локальное и глобальное опыление происходит с вероятностью $p \in [0,1]$.

Псевдокод алгоритма опыления цветов представлен следующим образом [4,5]:

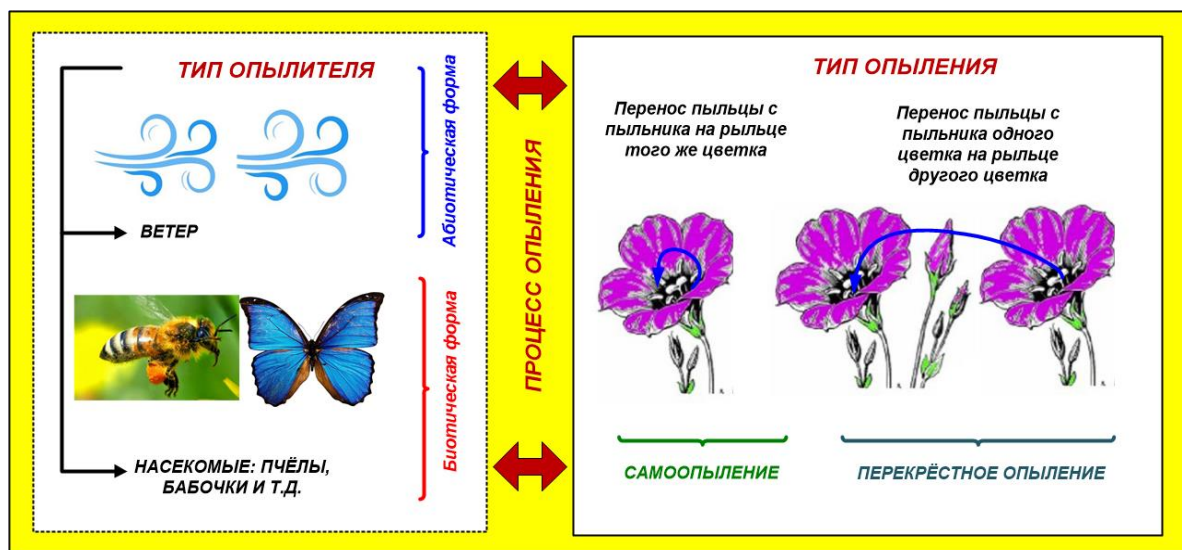


Рисунок 1 – Процесс опыления цветов

Инициализация параметров с вероятностью $p \in [0,1]$;

Случайная генерация начальной популяции цветов;

Оценка начальной популяции и поиск текущего лучшего решения $gbest$;

While (пока не будет достигнут критерий останова) do

For each flower

If $\text{rand}() < p$

Глобальноеопыление:

$$(x_i^{t+1} = x_i^t + L(x_i^t - gbest));$$

// на основе шагов Леви

else

Выбор двух случайных событий x_j^t и

x_k^t ;

Локальное опыление:

$$(x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t));$$

endif

обновление новых позиций;

обновление решений с учётом лучшего решения;

endfor

Сохранить текущее лучшее решение;

endwhile

Рассмотрим модифицированный алгоритм *FPO – AIS* на основе алгоритма опыления цветов и искусственных иммунных систем.

Алгоритм: *FPO – AIS*.

Шаг 1. Формирование базы данных дескрипторов лекарственных соединений.

Шаг 2. Классификация БД дескрипторов по фармакологическим свойствам. Создание базы знаний на основе заключений экспертов онтологической модели.

Шаг 3. Построение оптимального набора дескрипторов на основе FPA.

Шаг 4. Решение задачи прогнозирования QSARна основе алгоритма искусственных иммунных систем [12].

*Шаг 5.*Отбор кандидатов химических соединений с заданными фармакологическими свойствами.

*Шаг 6.*Оценка эффективности алгоритма FPA-AIS.

Достоинствами предложенного алгоритма являются: выделение информативных признаков, повышение точности моделей прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений, сокращение временных и финансовых ресурсов при создании новых лекарственных препаратов.

Разработка программного обеспечения на мультиагентной платформе JADE для интеллектуальной технологии прогнозирования QSARна базеагентно-ориентированного и онтологического подходов

Интеллектуальная технология прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений состоит из различных этапов, реализация ко-

торых удобна на основе агентно-ориентированного подхода [13]. Современные мультиагентные системы состоят из совокупности автономных агентов, которые функционируют в программной среде, могут взаимодействовать друг с другом и осуществлять параллельную обработку данных. Так как анализ баз данных дескрипто-

ров химической информации требует значительных временных и вычислительных ресурсов актуально использование агентной платформы JADEс открытым исходным кодом. Общая архитектура программного обеспечения, реализующего интеллектуальную технологию на основе платформы JADE представлена на Рисунке 2.

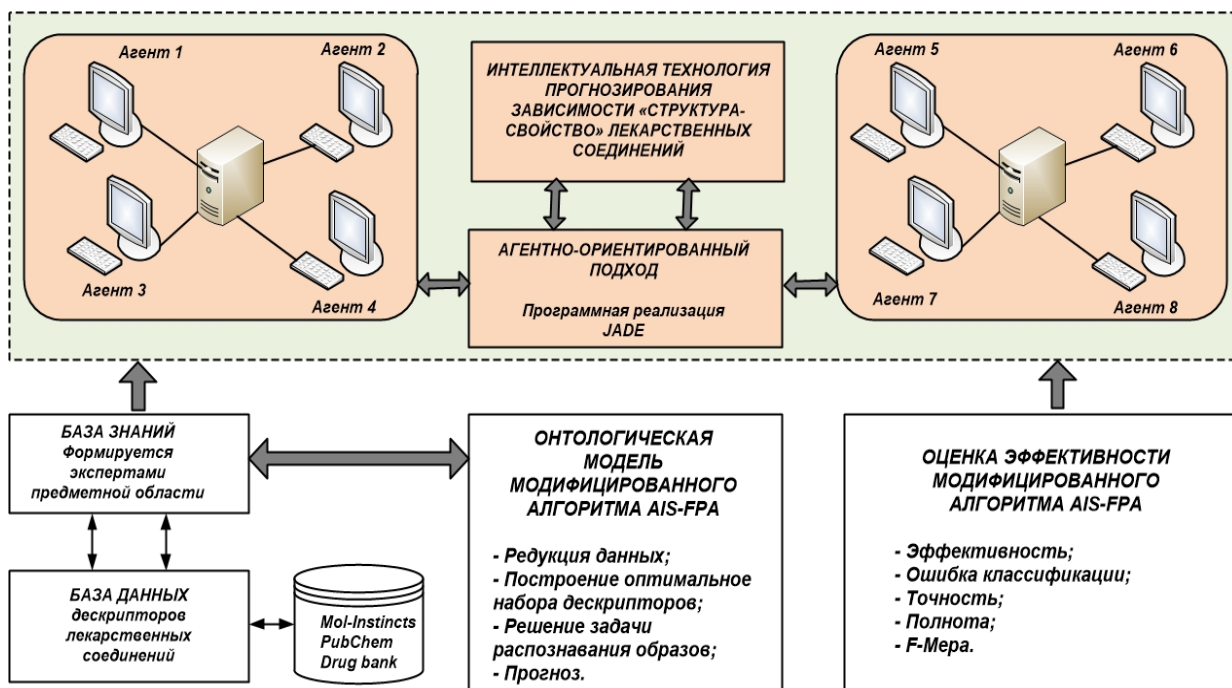


Рисунок 2 – Архитектура программного обеспечения для прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе агентно-ориентированного и онтологического подходов

Програмная среда состоит из взаимодействующих агентов, которые реализуют поставленные цели, способны принимать решения и связываться с другими агентами.

Система подключается к базе знаний и к онтологической модели, содержащей сведения экспертов и онтологической модели системы, а также базе данных дескрипторов рассматриваемого химического соединения. База данных дескрипторов формируется на основе мировых банков данных химической

информации, таких как Mol-Instincts, PubChem, Drugbank и т.д.

Разработанная модель прогнозирования на основе модифицированного алгоритма FPA-AIS описывается с помощью онтологической модели, реализованной в редакторе онтологий Protégé. На Рисунках 3 и 4 представлены токсонимия классов модифицированного алгоритма FPA-AIS и визуализация структурной схемы онтологической модели.



Рисунок 3–Токсономия классов онтологической модели модифицированного алгоритма FPA-AIS

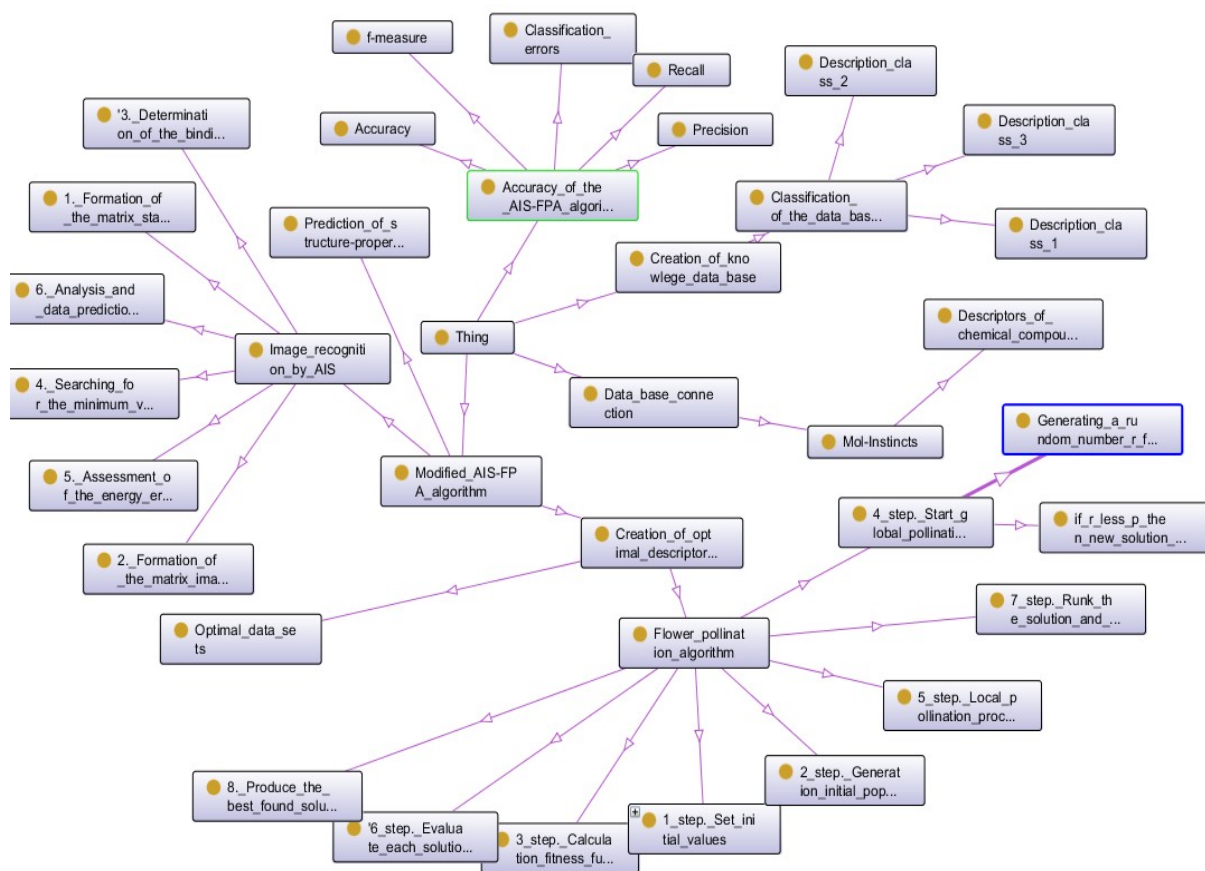


Рисунок 4 – Структурная схема онтологической модели модифицированного алгоритма FPA-AIS

Эффективность разработанной модели прогнозирования оценивается с помощью характеристик: accuracy, classification error, precision, recall, f-measure и др.

Таким образом, агентно-ориентированный и онтологический подходы являются удобными современными инструментами для реализации разработанной интеллектуальной технологии прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе модифицированных алгоритмов искусственного интеллекта. Данный подход позволяет обрабатывать большие массивы химической информации, формировать оптимальные наборы дескрипторов, повышать качество моделей прогнозирования и сокращать временные ресурсы при создании кандидатов в лекарственные соединения.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК в рамках научного проекта №AP05130019 на тему: «Разработка и анализ баз данных для информационной системы прогнозирования зависимости «структура-свойство» лекарственных соединений на основе алгоритмов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг.)

Список литературы

- 1 Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. Grey wolf optimizer // *Advances in Engineering software.* – 2014. – Vol. 69. – P. 46-61.
- 2 Saidi R., Ncir W., Essoussi N. Feature Selection Using Genetic Algorithm for Big Data // *AM-LTA.* – Springer, 2018. – P. 352–361.
- 3 Qiu C. A novel multi-swarm particle swarm optimization for feature selection // *Genetic Programming and Evolvable.* – Springer, 2019. – P. 1-27.
- 4 Abdel-Basset M., Shawky L.A. Flower pollination algorithm: a comprehensive review // *Artificial Intelligence Review.* – Springer, 2019. – Vol. 52., №4. – P. 1-25.
- 5 Yang X.-S. Flower Pollination Algorithms // *Nature-Inspired Optimization Algorithms.* – 2014. – P. 155-173.
- 6 Lei X., Fang M., Chen L. Improved flower pollination algorithm for identifying essential proteins // *Biology, Medicine, Computer Science. System Biology.* – 2018. – Vol. 12. - №4. – P. 130-166.
- 7 Emary E., Zawbaa H.M., Hassaien A.E., Parv B. Multi-objective retinal vessel localization using flower pollination search algorithm with pattern search // *Advanced Data Anal Classification.* – 2017. – Vol. 11. - №3. – P. 611-627.
- 8 Rodrigues D., Silva G.F., Papa J.P., Marana A.M., Yang X.S. EEG – based person identification through binary flower pollination algorithm // *Expert system application.* – 2016. – Vol. 62. – P. 81-90.
- 9 Yazid M.H., Talib M.S., Satria M.H. Flower pollination neural network for heart Disease classification // *Materials Science and Engineering.* – 2019. – Vol. 551. – P. 1-5.
- 10 Rodrigues D., Yang X.S., De Souza A.N., Papa J.P. Binary flower pollination algorithm and its application to feature selection // *Recent advances in swarm intelligence and evolutionary computation.* – Springer, 2015. – P. 85-100.
- 11 Буркеев Е.М. Прогнозирование потребления нефти с использованием нейронной сети. Магистерская диссертация. - Санкт-петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург, 2017. – 50 с.
- 12 Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control // *Artificial intelligence review.* – Springer, 2019. – Vol. 52. - №4. – P. 2457-2473.
- 13 Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Development of multi-agent technology for prediction of the «structure-property» dependence of drugs on the basis of modified algorithms of artificial immune systems // *Proceedings of International Work Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, IWBBIO 2018, April 25-27.* – Spain, Granada. – 2018. – P. 1-2.
- 14 Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Immune network technology on the basis of Random Forest algorithm for computer aided drug design // *Lecture Notes in Computer Science. Proceedings of the Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (IWBBIO 2017.)* - Granada (Spain): Springer, 26-28 April 2017. Part 1. – P. 50-61.
- 15 Pavlyukevich I. Levy flights, non-local search and simulated annealing // *Journal Computational Physics.* – 2007, №226. – P. 1830-1844.

Принято в печать 21.12.2019

Г.А. Самигулина¹, З.И. Самигулина²

¹Институт информационных и вычислительных технологий,

г. Алматы, Казахстан

²Казахстанско-Британский Технический Университет,

г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ «СТРУКТУРА-СВОЙСТВО» ЛЕКАРСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННЫХ ИМ- МУННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В настоящее время фармакологическая отрасль активно развивается за счёт внедрения последних достижений в области искусственного интеллекта (ИИ). Ведущие мировые производители лекарственных препаратов сотрудничают с известными фирмами, занимающимися разработкой новых инновационных алгоритмов искусственного интеллекта с целью снижения себестоимости процесса производства лекарств и сокращения временных ресурсов. В связи с чем разработка современной интеллектуальной технологии, позволяющей обрабатывать большой массив химической информации и прогнозировать фармакологические свойства лекарственных соединений является актуальной задачей.

Прогнозирование зависимости «структура-свойство» (Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR) лекарственных соединений осуществляется с помощью модифицированного алгоритма искусственных иммунных систем (Artificial Immune Systems, AIS) и алгоритма опыления цветов (Flower Pollination Algorithm, FPA). Алгоритм опыления цветов FPA применяется для решения задачи выделения информативных дескрипторов, описывающих структуру химических соединений. Представлена архитектура программного обеспечения для реализации предложенной интеллектуальной технологии с помощью агентно-ориентированного и онтологического подходов для мультиагентной платформы JADE. Построена онтологическая модель модифицированного алгоритма FPA-AIS в редакторе онтологий Protégé с учётом механизма оценки эффективности модифицированного алгоритма FPA-AIS на основе характеристик: ошибка классификации, точность, полнота и f-мера.

Ключевые слова: интеллектуальная технология, зависимость «структура-свойство» QSAR лекарственных соединений, искусственные иммунные системы, алгоритм опыления цветов, агентно-ориентированный подход, онтологическая модель.

Г.А. Самигулина¹, З.И. Самигулина²

¹Ақпараттық және есептеу іштехнологиялар институты

Алматы қ., Қазақстан

²Қазақстан-Британ техникалық университеті

Алматы қ., Қазақстан

ЖАСАНДЫ ИММУНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН АЛГОРИТМІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ ДӘРІЛІК ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ «ҚҰРЫЛЫМ-ҚАСИЕТ» ТӘУЕЛДІЛІГІН БОЛЖАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАБДЫҒЫН ЖАСАУ

Аннотация. Қазіргі таңда фармакология саласы жасанды интеллекттің (ЖИ) соңғы жетістіктерін енгізе отырып белсенді даму үстінде. Дәрі өндіру үдерісінің құндылығын төмендету мен уақыт қорын қысқарту мақсатында дәрілік препараттарды өндіруші алдыңғы қатарлы әлемдік өндірушілер жасанды интеллекттің жаңа инновацияланған алгоритмдерін жасайтын танымал фирмалармен бірге қызмет атқарып келеді. Осыған байланысты ауқымды химиялық ақпараттарды өңдеу және дәрілік қосылыстардың фармакологиялық қасиеттерін

болжауға мүмкіндік беретін замануи жасанды интеллектуалды технологияларын жасау өзекті мәселе болып табылады.

Дәрілік қосылыстардың «құрылым-қасиет» (Quantitative Structure-Activity Relationship, QSAR) және тәуелділігін болжау гүлдердің тозаңдануы алгоритмінің (Flower Pollination Algorithm, FPA) жасанды иммунды жүйелердің модификацияланған алгоритмінің көмегімен жүзеге асырылады. Гүлдердің тозаңдануы алгоритмі FPA химиялық қосылыстардың құрылысын сипаттайтын ақпаратты дескрипторлардың мәселерін шешуде қолданылады. JADE мультиагентті платформасына арналған онтологиялық және агентті-бағдарланған тәсілдерінің көмегімен ұсынылған интеллектуалды технологияларды жүзеге асыру үшін бағдарламалық жабдықтаудың құрылысы ұсынылды. Толықтық, f-өлшем, дәлдік және классификацияның қатесі сияқты сипаттамалардың негізінде FPA-AIS модификацияланған алгоритмінің бағалау механизмінің тиімділігін ескере отырып Protégé онтологиялық редакторінде FPA-AIS модификацияланған алгоритмінің онтологиялық моделі тұрғызылды.

Түйін сөздер: интеллектуалды технология, QSAR дәрілік қосылыстардың «құрылым-қасиет» тәуелділігі, жасанды иммунды жүйелер, гүлдердің тозаңдану алгоритмі, агентті-бағдарланған тәсіл, онтологиялық модель.

G.A. Samigulina¹, Z.I. Samigulina²

*¹Institute of information and computing technologies,
c. Almaty, Kazakhstan*

*²Kazakh-British Technical University,
c. Almaty, Kazakhstan*

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR IMPLEMENTATION OF INTELLECTUAL TECHNOLOGY FOR FORECASTING DEPENDENCE «STRUCTURE-PROPERTIES» OF MEDICINAL COMPOUNDS BASED ON MODIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS ALGORITHM

Abstract. Nowadays the pharmacological industry is actively developing due to the introduction of the latest achievements in the field of artificial intelligence (AI). The world's leading drug manufacturers are collaborating with well-known companies involved in the development of new innovative artificial intelligence algorithms in order to reduce the cost of the drug production process and time resources. In this connection, the development of modern intellectual technology that allows processing a large array of chemical information and predicting the pharmacological properties of medicinal compounds is an actual task. The prediction of the Quantitative Structure-Activity Relationship (QSAR) of drug compounds is carried out using a modified Artificial Immune Systems (AIS) and the Flower Pollination Algorithm (FPA). The FPA algorithm is used to solve the problem of extracting informative descriptors describing the structure of chemical compounds. The software architecture for the implementation of the proposed intellectual technology using agent-based and ontological approaches for the multi-agent platform JADE is presented. The ontological model of the modified FPA-AIS algorithm is constructed in the Protégé ontology editor, taking into account the mechanism for evaluating the effectiveness of the modified FPA-AIS algorithm based on the characteristics: classification error, accuracy, precision, recall and f-measure.

Keywords: intellectual technology, QSAR structure-property relationship of drug compounds, artificial immune systems, flower pollination algorithm, agent-based approach, ontological model.

Л.А. Алексеева

Институт математики и математического моделирования

Алматы, Казахстан

E-mail: alexeeva@math.kz**БИКВАТЕРНИОНЫ ФОТОНОВ. СВЕТ**

Аннотация: Настоящая работа связана с построением периодических решений бикватернионного волнового уравнения электро-гравимагнитного (ЭГМ) поля, которое является бикватернионным обобщением уравнений Максвелла, и описывает связь между напряженностью эфира и порождаемыми им ЭГМ зарядами и ЭГМ-токами. В статье построены фундаментальные и обобщенные решения этого уравнения, которые описывают фотоны, как ЭГМ волны фиксированной частоты, излучаемыми ЭГМ зарядами и ЭГМ-токами. Определены плотность и движение фотонов, их энергия-импульс. Построены также решения однородного биволнового уравнения, которые описывают свободные фотоны как свободные ЭГМ волны фиксированной частоты. На их основе дано бикватернионное представление света и плотности его энергии-импульса.

Ключевые слова: Д-энтропия, энергия, инструментарий, баланс, измерения.

Введение

В работах [1-5] автором разработана бикватернионная модель электро-гравимагнитного (ЭГМ) поля, ЭГМ зарядов и ЭГМ токов и ЭГМ взаимодействий на основе бикватернионных обобщений уравнений Максвелла и Дирака. Отметим, что бикватернионное представление уравнений Максвелла, которое описывает связь ЭМ поля с электрическими зарядами и токами, основано на представлении векторов напряженности в виде одного бикватерниона с определенным ограничением на его скалярную часть, которая равна нулю. Уравнения Максвелла в бикватернионном представлении эквивалентны одному бикватернионному волновому уравнению (*биволновое уравнение*), которое выражает бикватернион заряда-тока через бикватернионный градиент (*биградиент*) напряженности ЭМ-поля.

Бикватернионное волновое уравнение относится к классу гиперболических и описывает решения гиперболических систем из 8-ми дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка. Отметим, что кватернионное представление уравнений Максвелла началось с самого Максвелла и имеет довольно обширную библиографию ([6-16] и др.).

Снятие ограничения на нулевую скалярную часть бикватерниона напряженности ЭМ-поля позволяет дать бикватернионное представление ЭГМ поля, а также бикватернионное представление масс-зарядов и токов, которое содержит в комплексной скалярной части ЭГМ заряд, а в комплексной векторной части - вектор напряженности ЭГМ поля. Последний содержит напряженность электрического поля (в действительной части) и в комплексной - напряженность гравимагнитного поля, которое есть объединение вихревого магнитного поля с потенциальным гравитационным полем в одно гравимагнитное поле.

Мы назовем *эфиром* – ЭГМ поле, которое описывается бикватернионом напряженности ЭГМ поля. Его скалярную часть естественно назвать *плотностью эфира*. А векторная часть, по построению, описывает напряженности электрического и гравимагнитного полей. Биволновое уравнение в этом случае выражает ЭГМ заряды и токи через биградиент напряженности ЭГМ поля.

Настоящая работа связана с построением периодических решений биволнового уравнения ЭГМ поля. Особый класс решений уравнения -- это монохроматические

решения, которые описывают периодические колебания и волны фиксированной частоты. Уравнение для бикватернионных амплитуд колебаний (*биамплитут*) – *стационарное* биволновое уравнение - в этом случае становится эллиптическим. Здесь построены фундаментальные и обобщенные решения этого уравнения, которые описывают фотоны, как ЭГМ волны фиксированной частоты, излучаемыми ЭГМ зарядами и ЭГМ-токами. Построены также решения однородного биволнового уравнения, которые описывают свободные фотоны как свободные ЭГМ волны фиксированной частоты. На основе этих фотонных бикватернионов дано описание света в бикватернионном представлении

Комплексные характеристики электро-гравимагнитного поля

Введем обозначения для известных и новых величин для описания ЭГМ поля, электрических и гравимагнитных зарядов: вектора E, H - напряженности электрического и гравимагнитного поля, скаляры ρ_E, ρ_H - плотности электрических и гравимагнитных зарядов (масс-зарядов), вектора j_E, j_H - плотности электрических и гравимагнитных токов.

Здесь мы объединили потенциальное гравитационное поле с вихревым магнитным полем, что позволяет наряду с электрическими зарядами и токами ввести гравимагнитный заряд и ток. Используя эти величины, вводим следующие комплексные характеристики ЭГМ поля:

напряжённость эфира -

$$A = A^E + iA^H = \sqrt{\varepsilon} E + i\sqrt{\mu} H,$$

плотность эфира -

$$\alpha = i\alpha^E / \sqrt{\varepsilon} + \alpha^H / \sqrt{\mu}$$

плотность ЭГМ заряда -

$$\rho = -\rho^E / \sqrt{\varepsilon} + i\rho^H / \sqrt{\mu}$$

плотность ЭГМ тока -

$$J = J^E + iJ^H = -\sqrt{\mu} j^E + i\sqrt{\varepsilon} j^H.$$

Здесь плотности электрического заряда и тока обозначены $\rho^E(x, t), j^E(x, t)$, плотности гравимагнитного заряда и тока

$\rho^H(x, t), j^H(x, t)$. Константы ε, μ – электрическая проводимость и магнитная проницаемость вакуума, скорость света

$$c = 1 / \sqrt{\varepsilon\mu}$$

Заметим, что подобные комплексные характеристики для ЭМ поля были введены еще Гамильтоном [6]. Это позволяет систему из 8 уравнений Максвелла (два векторных для роторов E и H и два скалярных для их дивергенций) свести к 4-м уравнениям (одного векторного и одного скалярного для ротора и дивергенции комплексного вектора напряженности ЭМ поля). Обобщенные и фундаментальные решения для такой гамильтоновой системы уравнений построены автором в [17].

Система уравнений Максвелла допускает дальнейшее бикватернионное обобщение, что приводит ее к одному бикватернионному уравнению.

Бикватернионы электро-гравимагнитного поля

Введем следующие бикватернионы электро-гравимагнитного поля, масс-зарядов и токов, на пространстве Минковского $M = \{(\tau, \mathbf{x}) : ct = \tau \in R^1, \mathbf{x} \in R^3\}$:

напряженность

$$\mathbf{A}(\tau, \mathbf{x}) = i\alpha(\tau, \mathbf{x}) + A(\tau, \mathbf{x}),$$

заряд-ток

$$\Theta(\tau, \mathbf{x}) = i\rho(\tau, \mathbf{x}) + J(\tau, \mathbf{x}),$$

энергия-импульс

$$\mathfrak{A}(\tau, \mathbf{x}) = 0,5\mathbf{A} \circ \mathbf{A}^* = W + iP,$$

энергия-импульс заряда-тока

$$\mathfrak{E}_\Theta = 0,5\Theta \circ \Theta^* = W_\Theta + iP_\Theta.$$

Здесь используем *сопряженный* бикватернион:

$$\mathbf{A}^* = \bar{\mathbf{A}}^-,$$

где $\mathbf{A}^- \triangleq a - A$ - *взаимный* бикватернион. Везде черта над символом означает комплексное сопряжение скалярной и векторной части бикватерниона.

При определении энергии-импульса используется операция кватернионного умножения по правилу:

$$\mathbf{F} \circ \mathbf{B} = (f + F) \circ (b + B) \triangleq \triangleq \{fb - (F, B)\} + \{fB + bF + [F, B]\} \quad (1)$$

Здесь и далее используем гамильтонову форму бикватернионов:

$$\mathbf{B} = b + B, \quad \mathbf{G} = g + G, \quad -$$

обозначая скалярную и векторные части одноименными строчными и прописными буквами курсивом (за исключением энергии и базисных элементов),

$$(F, B) = \sum_{j=1}^3 F_j B_j, \quad [F, B] = \sum_{k,l,m=1}^3 \varepsilon_{klm} F_k B_l e_m,$$

скалярное и векторное произведение указанных векторов, ε_{klm} - псевдо-тензор Леви-Чивита, e_m - базисные элементы алгебры бикватернионов ($m = 0, 1, 2, 3$). (Подробнее о дифференциальной алгебре бикватернионов в этих обозначениях см. [16]).

В случае нулевой плотности ЭГМ поля ($\alpha=0$) бикватернион энергии-импульса содержит известную плотность ЭМ поля, а в векторной части - вектор Пойнтинга:

$$W = 0,5 \|A\|^2 = 0,5 (\varepsilon \|E\|^2 + \mu \|H\|^2),$$

$$P = A \times A^* = c^{-1} E \times H$$

Бикватернион энергии-импульса ЭГМ зарядов-токов имеет вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_\Theta &= w_\Theta + iP_\Theta = 0,5 \Theta \circ \Theta^* = \\ &= 0,5 (\|\rho\|^2 + \|J\|^2) - i \{ \text{Re}(\rho \bar{J}) + 0,5 \text{Im}[J, \bar{J}] \} \end{aligned} \quad (2)$$

Связь между ЭГМ полем и ЭГМ зарядом-током. Уравнение эфира

Связь между напряженностью ЭГМ поля и плотностью ЭГМ зарядов-токов имеет вид обобщенного уравнения Максвелла в бикватернионной форме. Для этого введены дифференциальные операторы - взаимные биградиенты ∇^+ , ∇^- , действие которых определяется правилом кватернионного умножения:

$$\begin{aligned} \nabla^\pm \mathbf{B} &\triangleq (\partial_\tau \pm i\nabla) \circ (b(\tau, \mathbf{x}) + B(\tau, \mathbf{x})) = \\ &= (\partial_\tau b \mp i(\nabla, B) + \partial_\tau B \pm i(\nabla b + [\nabla, B])) = \\ &= (\partial_\tau b \mp i \text{div} B) + \partial_\tau B \pm i \text{grad} b \pm i \text{rot} B \end{aligned}$$

Связь между ЭГМ полем и веществом следует из уравнений Максвелла в виде следующего постулата [1-5].

Постулат 1. ЭГМ заряды-токи являются биградиентом напряженности ЭГМ поля:

$$\nabla^+ \mathbf{A} \triangleq (\partial_\tau + \nabla) \mathbf{A}(\tau, \mathbf{x}) = \Theta(\tau, \mathbf{x}) \quad (3)$$

Это биволновое уравнение эквивалентно системе из двух дифференциальных уравнений, скалярного и векторного :

$$\rho(\tau, \mathbf{x}) = -\partial_\tau \alpha - \text{div} A, \quad (4)$$

$$J(\tau, \mathbf{x}) = i \text{grad} \alpha + \partial_\tau A + i \text{rot} A$$

Отсюда, при $\alpha=0$, следует гамильтонова форма уравнений Максвелла [17]:

$$\text{div} A = -\rho(\tau, \mathbf{x}), \quad (5)$$

$$\partial_\tau A + i \text{rot} A = J(\tau, \mathbf{x})$$

из которой, выписывая действительную и мнимую части, получается классическая система уравнений Максвелла [18, с.54].

Поэтому уравнение (1) называем *обобщенным уравнением Максвелла (ОУМ)*. А постулат 1 следует назвать *законом Максвелла для эфира*. Он имеет глубокий физический смысл, а именно:

ЭГМ заряды-токи (вещество) являются производными ЭГМ поля (эфира)

Т.е. из двух состояний материи (*вещество и поле*), поле первично, а вещество вторично и является физическим проявлением неоднородности и движения эфира.

Фотоны и их бикватернионное представление

Построим и исследуем свойства монокроматических решений уравнения эфира, которые используем для описания фотонов, излучаемых ЭГМ зарядами-токами, которые стоят в правой части этого уравнения. В частности, рассмотрим случай гармонических колебаний с частотой ω , когда правая часть (3) имеет вид:

$$\Theta(\tau, \mathbf{x}) = \Theta(\mathbf{x}, \omega) \exp(-i\omega\tau). \quad (5)$$

Здесь комплексная *биамплитуда* $\Theta(\mathbf{x}, \omega)$ из класса обобщенных бикватернионов, компоненты которых являются обобщенными функциями медленного роста:

$\Theta(\mathbf{x}, \omega) \in \mathbb{B}'(R^3)$. Аналогично решение (1) представим в подобном виде:

$$\Phi(\tau, \mathbf{x}) = \Phi(\mathbf{x}, \omega) \exp(-i\omega\tau) \quad (6)$$

В этом случае из уравнения (3) следует

$$(-i\omega + i\nabla) \circ \Phi \triangleq -i\nabla_{\omega}^{-} \Phi = \Theta(\mathbf{x}, \omega)$$

откуда получим стационарное уравнение для биамплитуд :

фотонное уравнение:

$$\nabla_{\omega}^{-} \Phi(\mathbf{x}, \omega) = i\Theta(\mathbf{x}, \omega) \quad (7)$$

Здесь операторы $\nabla_{\omega}^{\pm} = \omega \pm \nabla$ называем ω -градиентами. Их композиция коммутативна и равна скалярному оператору Гельмгольца:

$$\begin{aligned} \nabla_{\omega}^{+} \circ \nabla_{\omega}^{-} &= \nabla_{\omega}^{-} \nabla_{\omega}^{+} = \\ &= (\omega + \nabla) \circ (\omega - \nabla) = \omega^2 + \Delta \end{aligned} \quad (8)$$

Это свойство используем для построения решений (7). Взяв от него взаимный ω -градиент, получим неоднородное уравнение Гельмгольца:

$$(\omega^2 + \Delta) \Phi = i\nabla_{\omega}^{+} \Theta(\mathbf{x}, \omega) \quad (9)$$

которому удовлетворяет каждая компонента бикватерниона. Решение этого уравнения легко построить, если использовать фундаментальное решение уравнения Гельмгольца, которое имеет вид [18, с.210]:

$$\psi_{\omega}(\mathbf{x}) = -\frac{1}{4\pi\|\mathbf{x}\|} e^{i\omega\|\mathbf{x}\|} \quad (10)$$

С учетом временного множителя, оно описывает расходящиеся гармонические сферические волны, удовлетворяющие условиям излучения Зоммерфельда [18, с.52, 449].

Из (9), используя свойства фундаментального решения [18, с.200] и свойства дифференцирования свертки [18, с. 135, 140], получим биамплитуду:

биамплитуда фотона

$$\begin{aligned} \Phi(\mathbf{x}, \omega) &= i\nabla_{\omega}^{+} \Theta * \psi_{\omega} = \\ &= -\frac{i}{4\pi} \nabla_{\omega}^{+} \left\{ \Theta * \frac{e^{i\omega\|\mathbf{x}\|}}{\|\mathbf{x}\|} \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

О п р е д е л е н и е. Назовем фотон элементарным, порожденным сосредоточенным ЭГМ зарядом вида:

$$i\Theta(\mathbf{x}, \omega) e^{-i\omega\tau} = \delta(\mathbf{x}) e^{-i\omega\tau}.$$

Вычислим его бикватернионное представление, используя (11):

$$\begin{aligned} \Phi^0(\mathbf{x}, \omega) &= -\frac{1}{4\pi} \nabla_{\omega}^{+} \left\{ \delta(\mathbf{x}) * \frac{e^{i\omega\|\mathbf{x}\|}}{\|\mathbf{x}\|} \right\} = \\ &= -\frac{1}{4\pi} \left\{ \omega \frac{e^{i\omega\|\mathbf{x}\|}}{\|\mathbf{x}\|} + \text{grad} \frac{e^{i\omega\|\mathbf{x}\|}}{\|\mathbf{x}\|} \right\}. \end{aligned}$$

В результате получим бикватернион элементарного фотона, биамплитуда которого равна

$$\begin{aligned} \Phi^0(\mathbf{x}, \omega) &= -\frac{e^{i\omega\|\mathbf{x}\|}}{4\pi\|\mathbf{x}\|} \left\{ \omega + \mathbf{e}_x \left(i\omega + \frac{1}{\|\mathbf{x}\|} \right) \right\}, \quad (12) \\ \mathbf{e}_x &= \mathbf{x}/r, \quad r = \|\mathbf{x}\|. \end{aligned}$$

Он описывает сферическую ЭГМ волну в эфире, излучаемую сосредоточенным ЭГМ зарядом, которая движется со скоростью 1 (в исходном пространстве-времени со скоростью света c) и затухает на бесконечности как $1/r$.

Плотность энергии-импульса элементарного фотона равна

$$\begin{aligned} \Xi_{\Phi}^0(\mathbf{x}, \omega) &= 0,5 \Phi_0 \circ \Phi_0^* = \\ &= \frac{1}{\pi\|\mathbf{x}\|^2} \left\{ \omega^2 + \frac{1}{2\|\mathbf{x}\|^2} + i\omega^2 \mathbf{e}_x \right\} \end{aligned}$$

Отсюда получим плотность энергии фотона и вектор Пойнтинга, который определяет направление движения энергии фотона в фиксированной точке пространства:

$$\begin{aligned} W_{\Phi_0}(\mathbf{x}, \omega) &= \frac{1}{\pi\|\mathbf{x}\|^2} \left(\omega^2 + \frac{1}{2\|\mathbf{x}\|^2} \right), \quad (13) \\ P_{\Phi_0}(\mathbf{x}, \omega) &= \frac{\omega^2}{\pi\|\mathbf{x}\|^2} \mathbf{e}_x \end{aligned}$$

5. Свободные фотоны. Плоские гармонические фотоны

Рассмотрим решения однородного фотонного уравнения (7):

$$\nabla_{\omega}^{-} \Phi = 0 \quad (14)$$

Как следует из (9), его решение удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца:

$$(\omega^2 + \Delta) \Phi = 0, \quad (15)$$

и может быть представлено в виде:

$$\Phi(\mathbf{x}, \omega) = \nabla_{\omega}^+ \left(a_0 \varphi_0(\mathbf{x}, \omega) + \sum_{j=0}^3 a_j \varphi_j(\mathbf{x}, \omega) \mathbf{e}_j \right), \quad (16)$$

где скалярный и векторные потенциалы φ_0 и $\varphi_j \mathbf{e}_j$ - произвольные решения однородного уравнения Гельмгольца, a_j - произвольные комплексные константы.

Простым решением этого уравнения являются плоские гармонические волны (с учетом временной экспоненты) :

$$\varphi_j(\mathbf{x}, \omega) = \exp(i(\mathbf{k}, \mathbf{x})), \quad \|\mathbf{k}\| = \omega \quad (17)$$

которые распространяются в направлении вектора \mathbf{k} со скоростью 1. Рассмотрим каждое из этих слагаемых в отдельности.

Биамплитуда свободного плоского гармонического фотона, порождаемого φ_0 (14), имеет вид

$$\Phi_0^k(\mathbf{x}, \omega) = \nabla_{\omega}^+ \varphi_0 = \omega \varphi_0 + \text{grad} \varphi_0 = e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})} (\omega + i\mathbf{k})$$

а плотность его энергии-импульса постоянна, не зависит от \mathbf{x} :

$$\begin{aligned} \Xi_0^k &= 0,5 \Phi_0^k \circ \Phi_0^{k*} = 0,5 (\omega + i\mathbf{k}) \circ (\omega + i\mathbf{k}) = \\ &= 0,5 (\omega^2 + \|\mathbf{k}\|^2 + 2i\omega\mathbf{k}) = \omega^2 (1 + i\mathbf{e}^k), \\ \mathbf{e}^k &= \mathbf{k} / \omega \end{aligned}$$

Биамплитуда свободного фотона, порождаемого j -ым векторным потенциалом, имеет вид (по индексу в квадратных скобках суммирование нет)

$$\begin{aligned} \Phi_j^k(\mathbf{x}, \omega) &= \nabla_{\omega}^+ (\varphi_j e_{[j]}) = \\ &= -ik_j e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})} + \omega e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})} \mathbf{e}_j + \text{rot} (e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})} \delta_j^n \mathbf{e}_n) = \\ &= e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{x})} \{-ik_j + \omega \mathbf{e}_j + i\varepsilon_{lmj} k_m \mathbf{e}_l\} \end{aligned}$$

а плотность его энергии-импульса равна

$$\begin{aligned} 2\Xi_j^k &= \Phi_j^k \circ \Phi_j^{k*} = \\ &= (-ik_j + \omega e_{[j]} + i\varepsilon_{lmj} e_l k_m) \circ (ik_j - \omega e_{[j]} + i\varepsilon_{lmj} e_l k_m) = \\ &= (\|\mathbf{k}\|^2 + \omega^2) + i\omega k_j e_{[j]} \end{aligned}$$

Используя эти свободные фотоны и формулу (14), получим бикватернионное представление плоских гармонических фотонов:

$$\Phi(\mathbf{x}, \omega) = \sum_{j=0}^4 a_j \Phi_j^k(\mathbf{x}, \omega) \quad (18)$$

которое представляет собой плоскую гармоническую волну, распространяющуюся в направлении волнового вектора со скоростью 1 (со скоростью света в исходном пространстве времени).

Свет как фотонное облако и его бикватернионное представление

Рассмотрим фотоны, излучаемые монохроматическими зарядами-токами. Используя свойство дифференцирования свертки, из формулы (11) получим следующее их бикватернионное представление через элементарные фотоны

$$\Phi(\mathbf{x}, \omega) = i \Theta(\mathbf{x}, \omega) * \Phi_{\omega}^0(\mathbf{x}, \omega) \quad (19)$$

Здесь бикватернионная свертка для регулярных бикватернионов имеет интегральное представление:

$$\Phi(\mathbf{x}, \omega) = i \int_{R^3} \Theta(\mathbf{x} - \mathbf{y}, \omega) \circ \Phi_{\omega}^0(\mathbf{y}, \omega) dy_1 dy_2 dy_3$$

Т.е. ЭГМ заряды и токи являются излучателями элементарных фотонов, интенсивность которых определяются их бикватернионными плотностями.

Плотность энергии-импульса таких фотонов равна:

$$\begin{aligned} \Xi_{\Phi}(\mathbf{x}, \omega) &= 0,5 \Phi \circ \Phi^* = \\ &= 0,5 (\Theta * \Phi_{\omega}^0) \circ (\Phi_{\omega}^{0*} * \Theta^*) \end{aligned} \quad (20)$$

Свет содержит целый спектр частот и его можно представить как облако элементарных фотонов в виде интеграла Фурье:

$$\begin{aligned} \Lambda(\mathbf{x}, \tau) &= \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\mathbf{x}, \omega) e^{-i\omega\tau} d\omega = \\ &= i \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Theta(\mathbf{x}, \omega) * \Phi_{\omega}^0(\mathbf{x}, \omega) e^{-i\omega\tau} d\omega \end{aligned} \quad (21)$$

где (ω_1, ω_2) спектральный интервал света (видимых фотонов). Соответственно также можно определить плотность его энергии-импульса:

$$\Xi^{\Lambda}(\mathbf{x}, t) = \Lambda(\mathbf{x}, t) \circ \Lambda^*(\mathbf{x}, t) \quad (22)$$

Подобным образом можно построить облако из свободных фотонов:

$$\begin{aligned} \mathbf{O}(\mathbf{x}, \tau) &= \\ &= \int_{\omega_1}^{\omega_2} \left\{ \sum_{j=0}^4 \Omega_j * \int_{\|\mathbf{k}\|=\omega} a_j(\omega, \mathbf{k}) \Phi_j^k dS(\mathbf{k}) \right\} e^{-i\omega\tau} d\omega, \quad (23) \\ \Xi^{\mathbf{O}}(\mathbf{x}, \tau) &= \mathbf{O}(\mathbf{x}, \tau) \circ \mathbf{O}^*(\mathbf{x}, \tau) \end{aligned}$$

где $a_j(\omega, \mathbf{x})$, $\Omega_j(\mathbf{x}, \omega)$ - произвольные регулярные функции и бикватернионы, допускающие такую свертку. По-видимому, такими бикватернионами описываются шаровые молнии.

Заметим, что формулы (18), (22) можно использовать и для сингулярных бикватернионов, типа простых и двойных слоев на поверхностях, на которых могут быть сосредоточены ЭГМ заряды-токи. Только в этом случае свертки надо брать согласно правилам свертки обобщенных функций [18, с.138].

Заключение

Предложенная бикватернионная теория эфира весьма конструктивна. Позволяет определить его характеристики в любой точке пространства-времени. Произвольность функций, входящих в определение решений фотонного уравнения позволяет строить по представленным формулам бесконечное множество самых разнообразных решений для фотонов, света, фотонных облаков, что может сделать заинтересованный читатель.

Было бы полезно такое построение давать студентам и магистрантам в качестве упражнений по программированию, что позволило бы им проявить свою изобретательность и умения при изучении самых разнообразных световых явлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК (Грант АРО 05132272)

Список литературы

1. Алексеева Л.А. Уравнения взаимодействия А-полей и законы Ньютона // Известия НАН РК. Серия физико-математическая.- 2004.- №3.- С.45-53.
2. Алексеева Л.А. Полевые аналоги законов Ньютона для одной модели электрогравимангнитного поля // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике.- 2009.- Т.6.- № 1. -С.122-134.
3. Alexeyeva L.A. Newton's laws for a biquaternionic model of electro-gravimagnetic fields, charges, currents, and their interactions // Journal of Physical Mathematics. -

2009. - issue 1. - Article ID S090604.-15 pages. doi:10.4303/jpm/S090604

4. Alexeyeva L. A. Biquaternionic Form of Laws of Electro-Gravimagnetic Charges and Currents Interactions //Journal of Modern Physics.-2006.- issue 7. - P. 1351–1358. <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2016.711121>.

5. Alexeyeva L.A. Biquaternionic model of electro-gravimagnetic fields an interactions// Advances in theoretical and computational physics.- 2019.-V. 2.- issue 6.- P. 1-8 (presented at 2nd Global Summit on Physics. Plenary forum.– Paris, 26-27 September 2019. – P. 19).

6. Hamilton W. R. On a new Species of Imaginary Quantities connected with a theory of Quaternions // Proceedings of the Royal Irish Academy.- Nov 13, 1843. - P.424–434.

7. Edmonds J.D. Eight Maxwell equations as one quaternionic// Amer. J. Phys.- 1978.- V.46.- No. 4.- P. 430.

8. Шпилькер Г.Л. Гиперкомплексные решения уравнений Максвелла//ДАН СССР.- 1983.-Т. 272.-№ 6.-С.1359-1363.

9. Rodrigues, W. A., Jr., Capelas de Oliveira E. Dirac and Maxwell equations in the Clifford and spinClifford bundles// Int. Journal of Theoretical Physics.- 1990.-V.29.-P. 397–412.

10. Finkelstein D., Jauch J. M., Schiminovich S.,Speiser D. Foundations of quaternion quantum mechanics//J. Math. Phys.-1992.- Т.3.-№ 2.-С. 207–220.

11. Adler S. L. Quaternionic quantum mechanics and quantum fields - New York: Oxford University Press, 1995.

12. De Leo S., Rodrigues Jr. W. A. Quaternionic quantum mechanics: from complex to complexities quaternions// Int. J. Theor. Phys. -1997.-V.36.-P. 2725–2757.

13. Ефремов А.П. Кватернионы: алгебра, геометрия и физические теории// Гиперкомплексные числа в геометрии физике.-2004.-№1.-С. 111-127.

14. Acevedo M., Lopez-Bonilla J. , Sanchez - Meraz M. Quaternions, Maxwell Equations and Lorentz Transformations// Apeiron-2005.-V.12.-No. 4 . -P. 371.

15. Марчук Н.Г. Уравнения теории поля и алгебры Клиффорда - Москва-Ижевск, 2009.

16. Alexeyeva L.A. Biquaternions algebra and its applications by solving of some theoretical physics equations// Clifford Analysis, Clifford Algebras and their Applications.- 2012.-V.7.-№ 1.-P. 19-39.

17. Алексеева Л.А. Гамильтонова форма уравнений Максвелла и ее обобщенные решения // Дифференциальные уравнения.- 2003.-Т.39. - №6. - С.769-776.

18. Владимиров В.С. Уравнения математической физики- М: «Наука», 1976.

Принято в печать 07.04..2020

Л.А. Алексеева

Институт математики и математического моделирования

Алматы, Казахстан

E-mail: alexeeva@math.kz

БИКВАТЕРНИОНЫ ФОТОНОВ. СВЕТ

Аннотация: Настоящая работа связана с построением периодических решений бикватернионного волнового уравнения электро-гравимангнитного (ЭГМ) поля, которое является бикватернионным обобщением уравнений Максвелла, и описывает связь между напряженностью эфира и порождаемыми им ЭГМ зарядами и ЭГМ-токами. В статье построены фундаментальные и обобщенные решения этого уравнения, которые описывают фотоны, как ЭГМ волны фиксированной частоты, излучаемыми ЭГМ зарядами и ЭГМ-токами. Определены плотность и движение фотонов, их энергия-импульс. Построены также решения однородного биволнового уравнения, которые описывают свободные фотоны как свободные ЭГМ волны фиксированной частоты. На их основе дано бикватернионное представление света и плотности его энергии-импульса.

Ключевые слова: Д-энтропия, энергия, инструментарий, баланс, измерения.

L.A. Alexeyeva

Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan

E-mail: alexeeva@math.kz

BIQUATERNIONS. PHOTONS. LIGHT.

Abstract. The present paper is related to the construction of periodic solutions of the biquaternion wave equation of the electro-gravimagnetic (EGM) field, which is a biquaternion generalization of Maxwell's equations, and describes the relationship between the ether intensity and the EGM charges generated by it and EGM currents. The article contains fundamental and generalized solutions of this equation, which describe photons as EGM waves of a fixed frequency, emitted by EGM charges and EGM currents. The density and motion of photons, their energy-momentum are determined.

Solutions of the homogeneous bivalve equation are also constructed that describe free photons as free EGM waves of a fixed frequency. Based on them, a biquaternion representation of light and its energy-momentum density are given.

Keywords: D-entropy, energy, tools, balance, measurements.

Алексеева Л.А.

Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы, Қазақстан

БИИКАТЕРИОНДАР ФОТОНДАР. ЖАРЫҚ

Аннотация. Бұл жұмыс Максвелл теңдеулерінің биатерниялық жалпылауы болып табылатын электро-гравимагниттік (EGM) өрісінің бикатерионды толқындық теңдеуінің периодты шешімдерінің құрылысына байланысты және эфирдің қарқындылығы мен ол тудырған EGM зарядтары мен EGM токтары арасындағы байланысты сипаттайды. Мақалада осы теңдеудің фундаменталды және жалпыланған шешімдері бар, олар фотондарды EGM зарядтары мен EGM токтары шығаратын тұрақты жиіліктегі EGM толқындары деп сипаттайды. Фотондардың тығыздығы мен қозғалысы, олардың энергия импульсі анықталады.

Біртекті бивальв теңдеуінің шешімдері сонымен бірге бос фотондарды белгіленген жиіліктегі бос EGM толқындары деп сипаттайды. Олардың негізінде жарықтың биатерниялық бейнесі және оның энергия-момент тығыздығы келтірілген.

Түйін сөздер: D-энтропия, энергия, құралдар, тепе-теңдік, өлшеулер.

IRSTI34.23.35:

L.Z. Musralina^{1,2,3*} , L.B. Djansugurova^{1,2} , J.J. Krause^{3,4,5} ¹*Al farabi Kazakh national university, Faculty of biology and biotechnology, Almaty, Kazakhstan*²*«Institute of general genetics and cytology» SC MES RK, Almaty, Kazakhstan*³*Max Planck Institute for the Science of Human History, Jena, Germany*⁴*Institute for Archaeological Sciences, University of Tübingen, Tübingen, Germany*⁵*Senckenberg Centre for Human Evolution and Palaeoenvironment (S-HEP), University of Tübingen, Tübingen, Germany*

FEATURES OF THE STUDY OF ANCIENT PATHOGENS

Abstract. Infectious disease have affected humans throughout their evolution, both during acute pandemic events and through persistent morbidity and mortality. Recent advancements in the field of ancient genomics have increased our understanding of the infectious disease history and pathogen evolution through time. For the article, we used more than 300 ancient teeth samples from Central Asia, spanning the time period between the 4th century BCE and the 4th century CE, to address questions related to pathogen presence in past populations and microbial evolution through time. It focused on non-targeted metagenomic approaches for the detection of ancient pathogens in ancient human remains. Additionally, the article describes a specific case study of paleo-DNA screening for the plague pathogen, *Yersinia pestis*, which is known to have afflicted human populations since the Neolithic period, has caused immense mortality during the Middle Ages in Europe and continues to be prevalent across Central Asia today.

Key words: ancient DNA, pathogens, plague, pla-assay.

Introduction

Humans have been exposed to a wide range of microorganisms throughout their history, and such interactions are likely to have influenced human evolution and health through time. To date, it is estimated that about a trillion species of microorganisms exist [1], the vast majority of which are unknown. Of these, about 1,400 are known to be pathogenic to humans [2,3]. According to the observed virulence and host adaptation and the natural history of these interactions remains unknown.

Using new high-performance methods, bioinformatical analysis and the expansion of publicly available data sources leads to new evidence of the evolution of numerous pathogens associated with humans [4]. For example, recent studies have shown the existence of plague bacteria (*Yersinia pestis*) in humans during the early Bronze Age, more than 3000 years prior to the disease being recorded in historical sources [5]. In addition, some scientists recognized seals as a probable source of human tuberculosis [6], while others noted a high level of genome conservation in leprosy for 1000 years of its evolution [7].

Given its high potential in deciphering pathogen evolution through time, research on ancient pathogens has received a lot of attention during the past decade, and techniques for optimized data retrieval and authentication are continuously being developed [8].

At the moment there are many theories about the occurrence of the plague, finding the most ancient, you can explore and give answers to many questions of interest [9, 10]. Starting during the 1990s, some of the pioneering research on the evolution of *Y. pestis* revealed its close genetic relationship to *Y. pseudotuberculosis*, which led to the conclusion of their recent divergence, however, without indicating the time and place exactly when and where it happened [11]. Such findings were followed by more published work regarding *Y. pseudotuberculosis* as a direct ancestor of the plague bacterium [12].

More recently, the study of infectious disease history and evolution has benefitted from the collaboration between different disciplines, including those of microbiology, history, anthropology, archaeology, as well as that of paleogenetics, which involves the use of ancient DNA to decipher the riddles of the past. Some of the main question this field has

dealt with involves the identification of the causes of ancient epidemic or pandemic events, and the evaluation of pathogen presence in human populations through time. As such, new and optimized techniques that enable the study of ancient DNA from archaeological material and computational tools used for evolutionary assessment enable us to reconstruct the history of ancient epidemics and look for precursors of modern infectious disease pathogens.

In this study, we present preliminary results *Y. pestis*-specific screening of 333 human dental samples from various archaeological contexts using a previously published qPCR assay [15].

2. Materials and methods

The most frequently used specimens for the analysis of pathogen DNA in archaeological remains is teeth. As it turned out, the causative agents of infectious diseases accompanied by bacteremia, such as, plague causative agents, typhus, etc., are transported via the blood flow to the teeth's (pulp) inner portion. After the death of the diseased, the DNA of these pathogens is maintained in the dental pulp. Dental sampling has therefore been effective in acquiring complete genomes from ancient bacteria such as *Y. pestis*, *Borrelia recurrentis* and *Salmonella enterica*, as well as ancient viruses such as the hepatitis B virus (HBV) and the human parvovirus B19 [8].

Sample collection. The sample collection was performed at three locations. First, 136 ancient teeth from Kazakhstan and 3 teeth from Bashkiria were collected from the Institute of Archeology, Almaty, Kazakhstan. In addition, 187 teeth from Central Asia were collected from the Scientific Institute and Museum of Anthropology, Lomonosov Moscow State University, in Moscow, spanning the time period between the 4th century BCE and the 4th century CE. Finally, 7 tooth samples were collected from the Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), St. Petersburg.

Tooth sampling. All manipulation of teeth sampling have done in the clean room and using sterile materials in the biosafety cabinet to Table 1 – Pla-assay Master Mix

avoid carry over contaminations, at the Max Planck Institute for the Science of Human History in Jena, Germany. The tooth were separated into two parts with a drill blade: tooth crown and tooth root, where kept the root to store for back-up DNA or radiocarbon and other. It was drilled out 40–150 mg of dental pulp [13].

Extraction of ancient DNA. All ancient DNA lab work was performed at the dedicated facilities of the Max Planck Institute for the Science of Human History (MPI-SHH) in Jena, Germany from 17th of February till 15th of May, 2019. 333 teeth were sampled and used for DNA extraction. For the DNA extraction we used a published protocol, optimized for the extraction of short DNA molecules, therefore, tailored for the extraction of aDNA [14].

Pla-assay. All DNA extracts were screened using a qPCR assay designed for the amplification of the *pla* gene in *Y. pestis*, present on the multi-copy and species-specific plasmid pPCP1. The assay was carried out using a previously published protocol [15].

3. Results and discussion

All samples were extracted and tested for *Y. pestis* by qPCR at the Max Planck Institute for the Science of Human History (MPI-SHH) in Jena, Germany. Using approximately 50 mg of powdered dental pulp from human teeth, the extracted DNA was screened for the presence of *Y. pestis* using a qPCR assay targeting the *plagene* of the *Y. pestis*-specific plasmid pPCP1. All reactions were carried out on LightCycler[®] 96 (Roche, Mannheim, Germany). Master-mix preparation is presented in Table 1.

Cycling conditions started with preincubation step at 95°C for 12 min. This was followed by 3 step of amplification, at 95°C for 30 sec, an assay specific annealing temperature for 30 sec, and 72°C for 30 sec, ending with an elongation step at 72°C for 30 sec. And then melting at 95°C for 21 sec, annealing temperature 60°C for 30 sec, and 90°C for 1 sec. Final step at 37°C (Table 2).

Components	stock concentration	Final concentration	units	1X volumes (ul)
10X PCR buffer 2	10	1	X	2
25mM MgCl ₂	25	2.5	mM	2
25mM dNTP mix	25000	250	uM	0.2
DMSO	100	5	%	1
10mg/ml BSA	10	0.75	mg/ml	1.5
EVA green	20	1	X	1
pla_Ef	10000	300	nM	0.6
pla_Er	10000	300	nM	0.6
Amplitaq gold	5	0.05	u/ul	0.2
ddH ₂ O				8.9

Table 2 – Cycling conditions for pla-assay.

	Temperature	Time
Preincubation	95C	12min
3 step Amplification	95C	30sec
	61C	30sec
	72C	30sec
Melting	95C	21sec
	60C	30sec
	90C	1sec
Cooling	37C	

QPCR assays were carried out on a LightCycler 96 platform (Roche, Mannheim, Germany). Quantification of *pla*-qPCR assays was possible by determination of the copy numbers per reaction by generating a standard

curve using synthetic oligonucleotide constructs. Standard curve presented in figure 1.

The concentration of standards that we used presented in table 3.

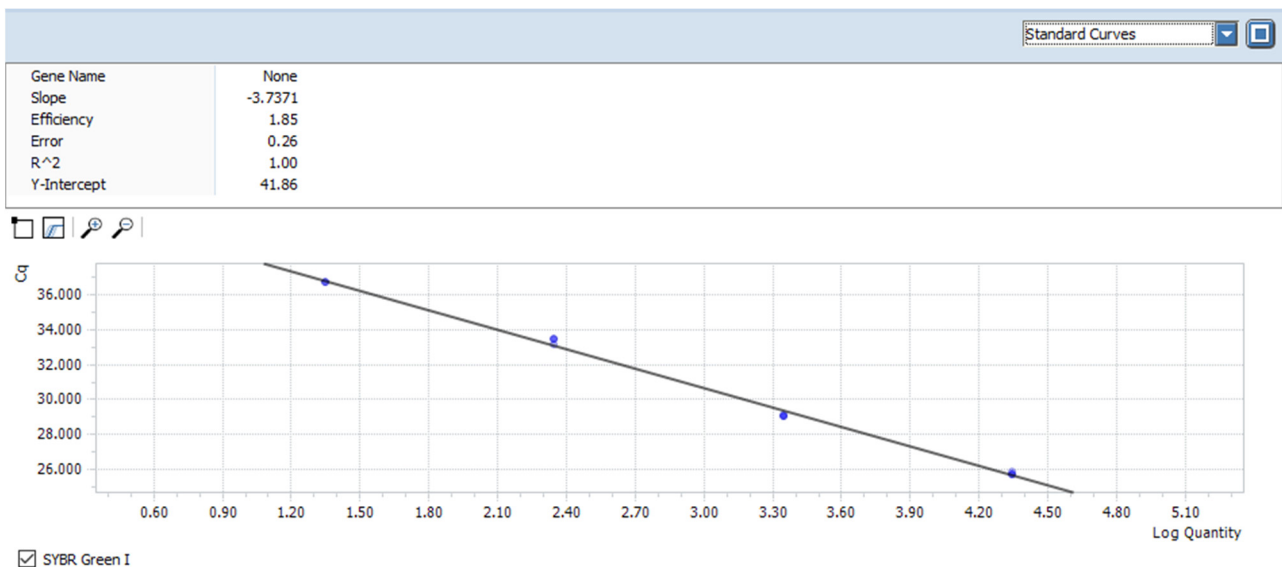


Figure 1 – Standard curve from qPCR

The positive sample was subjected to melting curve analysis together with standards. In summary, overlapping melt curves of the amplicon in each positions demonstrated temperature homogeneity and equal treatment of sample and standard. In figure 2 and figure 3 blue colores presented standards that we used and green is our sample which is potentially positive

Data analysis was performed using the LightCycler 96 (Roche, Mannheim, Germany). The green line showed our positive result for plague.

Table 3. Standards and blanks for pla-assay.

Position	1	2
A	2,23E+004	2,23E+004
B	2,23E+003	2,23E+003
C	2,23E+002	2,23E+002
D	2,23E+001	2,23E+001
E	2,23E+000	2,23E+000
F	2,23E-001	2,23E-001
G	blk	
H	blk	

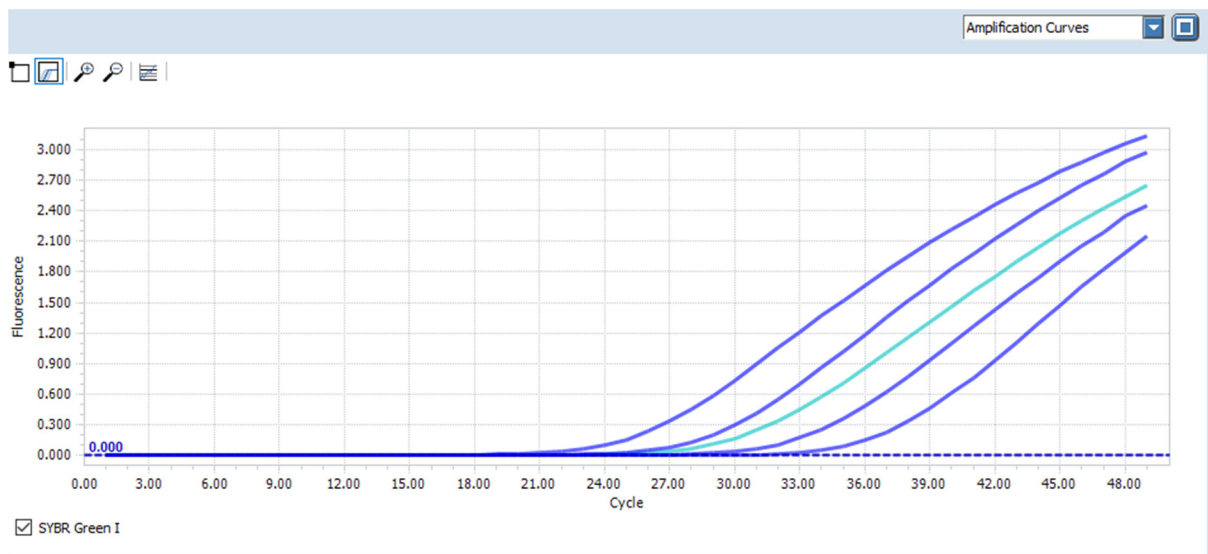


Figure 2 – Amplification curves from pla-assay.

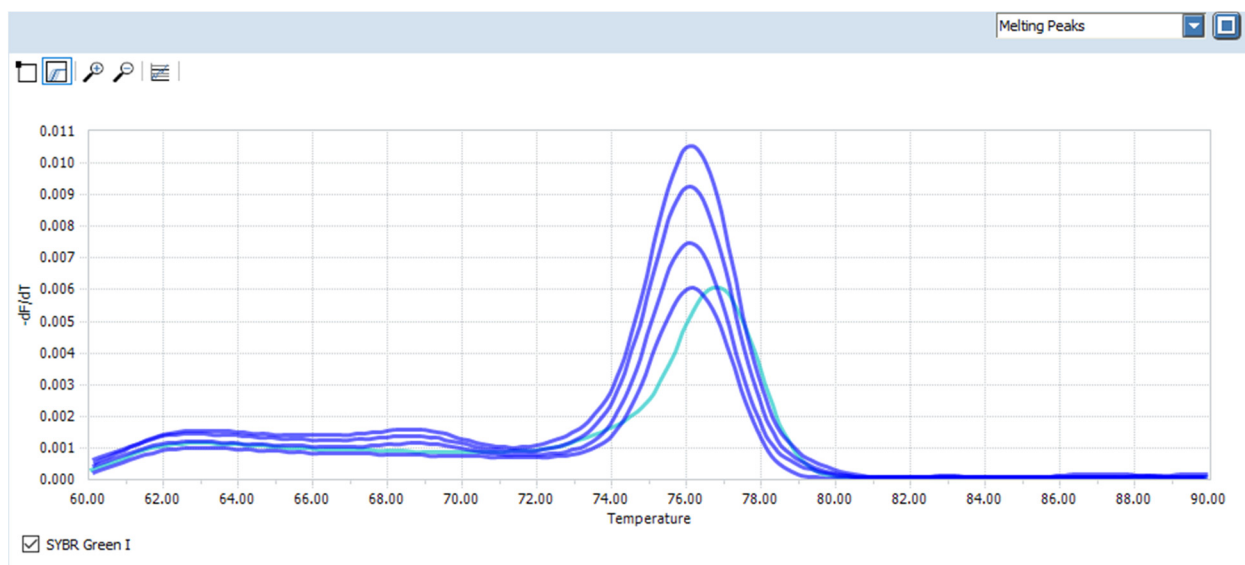


Figure 3 – Melting peaks from pla-assay.

Conclusion

For many ancient samples, the content of endogenous DNA is very low (<1%), therefore, recently attempts have been made to improve access to the DNA of interest through the development of new sampling, DNA isolation and library preparation protocols as well as through hybridization enrichment techniques.

Using qPCR we detected some potentially-positive results for plague, through such results can not be confirmed without further sequencing. Future analyses of the potentially-positive samples using next generation sequencing, will enable an assessment of the current results and potentially enable the in depth study of the evolution of *Y. pestis*.

Conflict of interest

All authors have read and are familiar with the contents of the article and have no conflict of interest.

References

1. Kenneth J. Locey and Jay T. Lennon Scaling laws predict global microbial diversity PNAS May 24, 2016 113 (21) 5970-5975; first published May 2, 2016 <https://doi.org/10.1073/pnas.1521291113>
2. Microbiology by numbers. *Nat Rev Microbiol* **9**, 628 (2011). <https://doi.org/10.1038/nrmicro2644>
3. Balloux F, van Dorp L. Q&A: What are pathogens, and what have they done to and for us?. *BMC Biol.* 2017;15(1):91. Published 2017 Oct 19. doi:10.1186/s12915-017-0433-z
4. Mboowa G, Sserwadda I, Amujal M, Namatovu N. Human Genomic Loci Important in Common Infectious Diseases: Role of High-Throughput Sequencing and Genome-Wide Association Studies. *Can J Infect Dis Med Microbiol.* 2018;2018:1875217. Published 2018 Mar 20. doi: 10.1155/2018/1875217
5. Rasmussen S, Allentoft ME, Nielsen K, et al. Early divergent strains of *Yersinia pestis* in Eurasia 5,000 years ago. *Cell.* 2015;163(3):571–582. doi:10.1016/j.cell.2015.10.009
6. Bos, K. I., Harkins, K. M., Herbig, A., Coscolla, M., Weber, N., Comas, I., ... Campbell, T. J. (2014). Pre-Columbian mycobacterial genomes reveal seals as a source of New World human tuberculosis. *Nature*, 514, 494–497. <https://doi.org/10.1038/nature13591>
7. Schuenemann, V. J., Singh, P., Mendum, T. A., Krause-Kyora, B., Jäger, G., Bos, K. I., ... Nebel, A. (2013). Genome-wide comparison of medieval and modern *Mycobacterium leprae*. *Science*, 341, 179–183. <https://doi.org/10.1126/science.1238286> [PubMed]
8. Spyrou, M.A., Bos, K.I., Herbig, A., Krause, J. Ancient pathogen genomics as an emerging tool for infectious disease research. *Nat Rev Genet* **20**, 323–340 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41576-019-0119-1>
9. Сунцов В. В. Происхождение возбудителя чумы — микроба *Yersinia pestis*: структура видообразовательного процесса // Изв. РАН. Сер. биол. 2012. № 1. С. 5–13.
10. Drancourt, M., Houhamdi, L., Raoult, D. *Yersinia pestis* as a telluric, human ectoparasite-borne organism // *The Lancet Infectious Diseases*. 6(4): 234-241 doi:10.1016/S1473-3099(06)70438-8. PMID 16554248
11. Bercovier H. et al. Intra- and interspecies relatedness of *Yersinia pestis* by DNA hybridization and its relationship to *Yersinia pseudotuberculosis* // *Curr. Microbiol.* 1980. V. 4. № 4. P. 225–229.
12. Achtman M. et al. *Yersinia pestis*, the cause of plague, is a recently emerged clone of *Yersinia pseudotuberculosis* // *Proc Natl Acad Sci (USA)*. 1999. V. 96. № 24. P. 14043–14048.
13. Spyrou, M.A., Tukhbatova, R.I., Wang, C. et al. Analysis of 3800-year-old *Yersinia pestis* genomes suggests Bronze Age origin for bubonic plague. *Nat Commun* **9**, 2234 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04550-9>
14. Jesse Dabney, Matthias Meyer, and Svante Pääbo Ancient DNA Damage Cold Spring Harb Perspect Biol. 2013 Jul; 5(7): a012567. doi: 10.1101/cshperspect.a012567

Schuenemann, V., Bos, K., DeWitte, S., et al Targeted enrichment of ancient pathogens yielding the pPCP1 plasmid of *Yersinia pestis* from victims of the Black Death // PNAS September 20, 2011 108 (38) E746-

Accepted to print at 04.05.2020

L.Z. Musralina^{1,2,3*}, L.B. Djansugurova^{1,2}, J.J. Krause^{3,4,5}

¹ Al farabi Kazakh national university, Faculty of biology and biotechnology, Almaty, Kazakhstan

² «Institute of general genetics and cytology» SC MES RK, Almaty, Kazakhstan

³ Max Planck Institute for the Science of Human History, Jena, Germany

⁴ Institute for Archaeological Sciences, University of Tübingen, Tübingen, Germany

⁵ Senckenberg Centre for Human Evolution and Palaeoenvironment (S-HEP), University of Tübingen, Tübingen, Germany

FEATURES OF THE STUDY OF ANCIENT PATHOGENS

Abstract. Infectious disease have affected humans throughout their evolution, both during acute pandemic events and through persistent morbidity and mortality. Recent advancements in the field of ancient genomics have increased our understanding of the infectious disease history and pathogen evolution through time. For the article, we used more than 300 ancient teeth samples from Central Asia, spanning the time period between the 4th century BCE and the 4th century CE, to address questions related to pathogen presence in past populations and microbial evolution through time. It focused on non-targeted metagenomic approaches for the detection of ancient pathogens in ancient human remains. Additionally, the article describes a specific case study of paleo-DNA screening for the plague pathogen, *Yersinia pestis*, which is known to have afflicted human populations since the Neolithic period, has caused immense mortality during the Middle Ages in Europe and continues to be prevalent across Central Asia today.

Key words: ancient DNA, pathogens, plague, pla-assay.

³ Л.З. Мусралина^{1,2,*}, Л.Б. Джансугурова^{1,2}, Й. Краузе^{3,4,5}

¹ Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Биология және биотехнология факультеті, Алматы, Қазақстан

² ҚР БҒМ ҒК «Жалпы генетика және цитология институты», Алматы, Қазақстан

³ Макс Планк атындағы адамзат тарихын зерттеудің ғылыми институты, Йена, Германия

⁴ Археологиялық ғылымдар институты, Тюбинген университеті, Тюбинген, Германия

⁵ Сенкенберг Адам эволюциясы және палеоэкология орталығы, Тюбинген университеті, Тюбинген, Германия

ЕЖЕЛГІ ПАТОГЕНДІ МИКРОАҒЗАЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Жұқпалы аурулар адам популяциясына бүкіл эволюция кезеңінде, әсіресе пандемия арқылы тұрақты сырқаттанушылық пен өлім арқылы әсерін тигізіп келеді. Археогенетика саласындағы соңғы жетістіктер уақыт өте келе жұқпалы аурулар тарихы және патогендік эволюция туралы түсінігімізді арттырды. Мақала үшін біз б.э.д. IV ғасырдан б.з. IV ғасырға дейінгі уақытты қарастыра, Орталық Азиядағы ежелгі тістердің 300-ден астам үлгілерін қолданып, бұрынғы популяциялардағы патогеннің болуы және уақыт өткен сайын микробтардың эволюциясы туралы сұрақтарға жауап береміз. Ол ежелгі адамның қалдықтарында ежелгі патогенді метагеномдытәсілдерімен анықтау арқылы жасалынды. Бұған қоса, мақалада неолит дәуірінен бері адам популяцияларымен ауырған, Еуропада орта ғасырларда өте көп өлімге әкеліп соқтырған және бүгінгі күнде Орталық Азияда кең таралған

аурудың бірі обаның қоздырғышы, *Yersinia pestis* палео-ДНК үлгілерін скрининг арқылы нақты жағдайын сипаттайды.

Түйін сөздер: ежелгі ДНК, патогендер, оба, *pla*-талдау.

³Л.З. Мусралина^{1,2,*}, Л.Б. Жансугурова^{1,2}, Й. Краузе^{3,4,5}

¹ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Факультет биологии и биотехнологии, Алматы, Казахстан*

² *«Институт общей генетики и цитологии» НК МОН РК, Алматы, Казахстан*

³ *Институт Макса Планка по науке истории человечества, Йена, Германия*

⁴ *Институт археологических наук, Университет Тюбингена, Тюбинген, Германия*

⁵ *Зенкенбергский центр эволюции человека и палеоэкологии, Университет Тюбингена, Тюбинген, Германия*

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВНИХ ПАГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Аннотация. Инфекционные заболевания поражали людей на протяжении всей их эволюции, как во время острых пандемических событий, так и в результате постоянной заболеваемости и смертности. Последние достижения в области археогенетики расширили наше понимание истории инфекционных заболеваний и эволюции патогенов. Для этой статьи мы использовали более 300 образцов древних зубов из Центральной Азии, охватывающих период времени между 4-м веком до нашей эры и 4-м веком нашей эры, для решения вопросов, связанных с наличием патогенных микроорганизмов в прошлых популяциях и эволюцией микробов. В статье описаны не целевых метагеномные подходы для обнаружения древних патогенов в древних останках человека. Кроме того, приведен конкретный пример скрининга палеоДНК образцов на возбудитель чумы *Yersinia pestis*, который, как известно, поражал человеческое население со времен неолита, и вызвал огромную смертность в средние века в Европе и продолжает преобладать в Центральной Азии сегодня.

Ключевые слова: древняя ДНК, патогены, чума, *pla*-анализ.

ДЛЯ АВТОРОВ

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

«Журнал ПЭОС» публикует статьи, посвященные:

1. развитию подходов к изучению любых открытых систем;
2. описанию законов динамики взаимодействующих элементов систем;
3. определению характера внешних ограничений, накладываемых на эволюционирующие системы законами их развития;
4. исследованию процессов структурообразования в больших системах, изучаемыми различными разделами науки (физикой, химией, биологией, космологией, геофизикой, медициной, экологией, экономикой, социологией и в целом философией);
5. исследованию механизмов взаимодействия в различных средах: космическом пространстве, окружающей среде, внутренних средах организма, в растворах и т.п.;
6. рассмотрению роли неравновесности и синергетических эффектов в формировании любых иерархических систем и в их эволюционном развитии;
7. любым аспектам прикладного использования теоретических результатов, получаемых при изучении фундаментальных основ открытых систем.

Журнал выходит два раза в год и рекомендован для представления к защите диссертаций в Республике Казахстан

ЖУРНАЛ ПРИНИМАЕТ РУКОПИСИ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ УСЛОВИЯХ!

- При наличии: рефератов на русском, английском и для жителей РК на казахском языках (объем рефератов не менее 150 слов); рецензии специалиста, работающего в соответствующей области, имеющего академическую степень
- В рецензии обязательно освещать вопросы актуальности, соответствия цели тематике журнала, новизны, значимость результатов для фундаментальной или прикладной науки.
- Работы, носящие фундаментальный или обзорный характер в объеме не более 45 страниц формата А4.
- Работы прикладного характера не более 25 страниц формата А4.
- Статьи могут быть написаны на казахском, русском или английском языках.

Статьи не соответствующие тематике журнала, оформленные не по правилам и не имеющие рецензии не принимаются к публикации и не возвращаются авторам. Редакция оставляет за собой право на отклонение статьи.

СТАТЬИ ВЫСЫЛАТЬ В ЭЛЕКТРОННОМ ВАРИАНТЕ ПО АДРЕСУ

представленному на титульной странице с припиской «статья для публикации в ПЭОС».

Телефоны для справок и переговоров:

Нұрғалиева Құралай (сот. 8 707 828 90 10),

Сомсиков Вячеслав Михайлович - 8 727-272-78-25 (сот. 8 7017605378)

ПРОСИМ ВАС НАПРАВЛЯТЬ НАМ РУКОПИСИ ВАШИХ СТАТЕЙ,
ОФОРМЛЕННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С НИЖЕ УКАЗАННЫМИ ПРАВИЛАМИ !

Статья должна быть набрана на компьютере в MS Word, предоставлена на дискете или выслана по электронной почте.

Поля: верхнее-2, нижнее-2, левое-2, правое 2

Нумерация страниц по центру снизу

ШАПКА через 1 интервал 12 кеглем:

1. МРНТИ расположено слева
2. **Инициалы и фамилия жирным шрифтом**, строчными полужирными буквами. Рядом с фамилией необходимо указать ссылку на ORCID автора. Инструкция приведена ниже.
3. *Название института, города, страны* курсивом, строчными буквами
4. Пробел
5. **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ** полужирными прописными буквами

один пробел

Аннотация. на языке статьи: 11 кегль, абзацный отступ 1 и через 1 интервал (объем не менее 150 слов); (Қазақша – **Аннотация**, inEnglish - **Abstract**)

Ключевые слова: на языке статьи : 11 кегль, абзацный отступ 1 и через 1 интервал один пробел (Қазақша – **Түйін сөздер**, inEnglish - **Keywords**).

ТЕКСТ СТАТЬИ в две колонки интервал между ними 0,6 см; 12 кегль, абзацный отступ стандартный и через 1 интервал

Номера цитируемой литературы в квадратных скобках []

Номера формул справа и прижаты к правому краю в круглых скобках (), ссылки на них в тексте также в круглых скобках ()

Ссылки на таблицы или рисунки полностью словом с номером (таблица 1, рисунок 1) или сокращенно только в круглых скобках (Табл. 1), (Рис. 1)

набор формул – в редакторе формул MathType.

Подзаголовки прижаты к левому краю, полужирным шрифтом, 12 кеглем, со стандартным абзацным отступом. Перед подзаголовком одна строка пропуска. После него текст раздела идет сразу. После подзаголовка точка не ставится

Рисунки все в Word с одним отступом после и до рисунка. Подпись снизу по центру через 1 интервал, прижата к рисунку и начинается словами Рисунок 1 – Рисунки представляются вставленными в текст и в виде отдельных файлов (см. пример). (Қазақша: 1 – сурет. Суреттің аты, in English: Figure 1 – The title of figure)


Таблицы через 1 интервал, 12 кеглем, столбики центрированы. Подпись таблицы сверху, прижата к левому полю и начинается словами Таблица 1 – (см. пример), (Қазақша: 1 – кесте. Кестенің аты, inEnglish: Table 1 – The title of table)

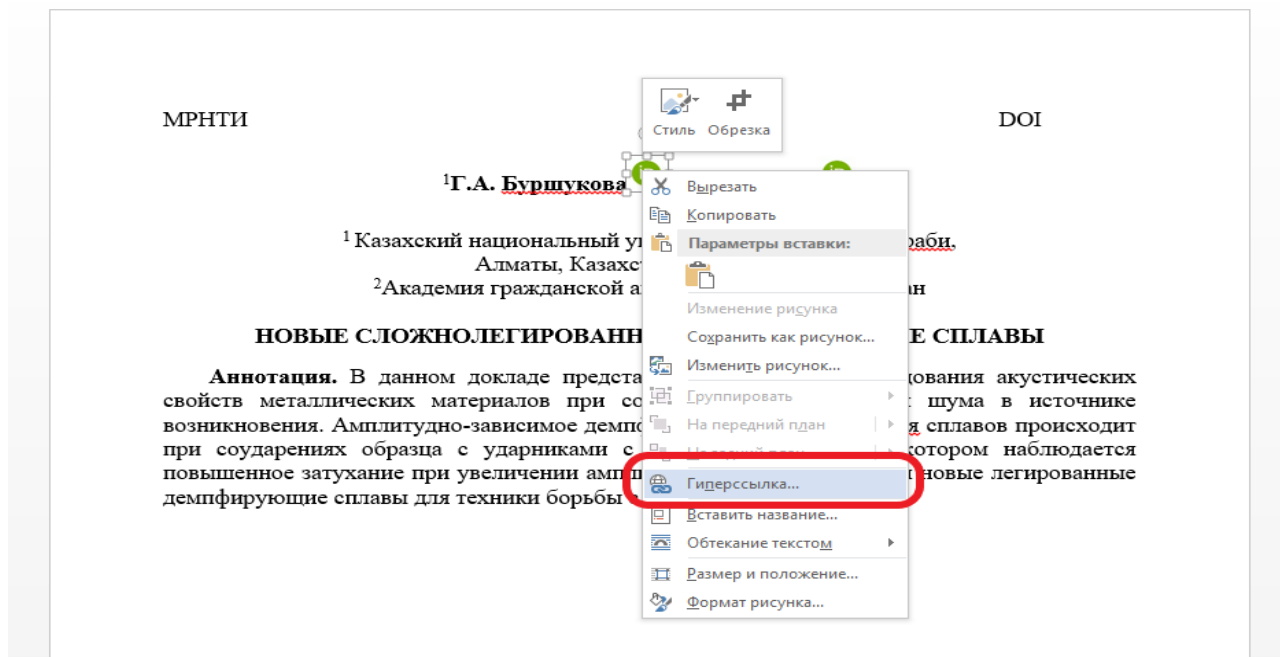
Рисунки и таблицы, если они не входят в размер одной колонки могут выноситься в **Приложение**, которое следует за списком литературы. Оформление их идет по выше описанным правилам, но они могут располагаться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении.

Литература 12 кегль через 1 интервал, нумерация списка без точек и номер идет со стандартным абзацным отступом (см. пример) и в конце абзаца ставится точка (см. пример)

Реферат на английском (для всех) и казахском (для жителей Республики Казахстан)
Оформление смотри пример.

Инструкция к указанию ORCID автора.




Картинку с иконкой ORCID  и вставьте рядом с фамилией. На сайте <https://orcid.org> выбираете свой ID. Возвращаетесь к своей рукописи и нажимаете на картинку, далее в выпадающем меню выбираете «ГИПЕРССЫЛКА» (см. Рисунок). В открывшемся окне в поле «Адрес» вводите ссылку на сайт с вашим ORCID



ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ И РЕФЕРАТОВ

Статьи

МРНТИ 550.36+577.31

З.Ж. Жанабаев , **С.А. Хохлов*** , **А. Т. Агишев** 
*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан*
**E-mail: serik-kz88@mail.ru*

НОРМИРОВАННАЯ ЭНТРОПИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

Аннотация. В представленной работе показана возможность классификации горячих звезд по спектрам, согласно их нелинейным (энтропийным и обобщенно-метрическим) характеристикам. Получены алгоритмы и методика определения информационной энтропии по наблюдаемым спектрам. В работе ставилась задача описать количественно спектры различных типов на основе информационно – энтропийного анализа. Для исследования были выбраны звезды главной последовательности и горячие звезды типа FSCMa (двойные системы). Ставился вопрос о количественном описании различия спектров выбранных звезд. Такой метод количественной оценки применялся в различных исследованиях по нормальным звездам. Однако существует ряд алгоритмических проблем, которые мы приведем применительно к решению данной задачи. В результате была построена зависимость нормированной информационной энтропии спектров от соответствующих значений метрической характеристики. Нормированная энтропия звезд типа FSCMa принадлежит области самоподобия и

самоаффинности, эти объекты самоорганизованы и имеют сложную, хаотическую структурированность. По физической сути двойные системы должны относиться к самоорганизованным системам, что соответствует предлагаемой теоретической классификации. Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что информационно-энтропийный анализ и расчет обобщенно – метрической характеристики для спектров дает возможность количественно классифицировать горячие звезды.

Ключевые слова: Информация, энтропия, горячие звезды, метрика – топологические характеристики.

Введение

На протяжении более ста лет, энтропия является ключевой величиной не только для неравновесной статистической физики и термодинамики, но для естествознания в целом. Оно имеет первостепенное значение при обсуждении вопросов порядка и хаоса в природе, происхождения и передачи информации, проблем необратимости и т.д. [1-5]. Однако в настоящее время практически не существует количественных расчетов энтропии для астрофизических объектов, и в редких только случаях для хорошо изученных объектов, как звезды [6-10] рассчитывается энтропия Больцмана. При этом, очевидно, что учет неравновесности системы чрезвычайно важно для понимания физики окружающего нас мира. И так как звезды являются наиболее распространенными объектами во Вселенной, которые составляют более 97% от массы всего видимого вещества, необходимо понять, как зависит энтропия от типа звезд. Однако на этот вопрос в современной литературе ответа нет. Таким образом, не было произведено количественного анализа энтропии для наиболее важных и распространенных объектов во Вселенной. Поэтому целью данной работы было описать количественно спектры горячих звезд различных типов на основе информационно – энтропийного анализа.

Информационно – энтропийные характеристики сигналов

Обычно определение сложного понятия формируется через перечень его основных свойств. Информация $I(x)$ статистической реализации некоторой физической величины x является положительной величиной и определена при наличии неравновесности $I(x) \neq I(x_0)$, если $x \neq x_0$. Если $P(x)$ является вероятностью появления величины x , то

выражение для количества информации

$$I(x) = - \ln P(x) \tag{1}$$

Информационная энтропия или энтропия Шеннона $S(x)$ может быть определена как среднее значение информации:

$$S(x) = \sum_i P_i(x) I_i(x) = - \sum_i P_i(x) \ln P_i(x) \tag{2}$$

где, i – номер ячеек разбиения множества значений x .

.....

Задавая условия для выбора параметров p, q можно использовать $K_{x_i, x_j}^{p, q}$ для описания фрактальных сигналов. Если D – фрактальная размерность кривой $x(t)$, то мы можем принять $p = D, q = D/(D - 1)$. Принимая $x_i = x(t), x_j = t$ перепишем (11) в следующем виде

$$K_{x, t}^{D, q} = \frac{(|x|^D)^{1/D} \cdot (|t|^q)^{1/q}}{|x \cdot t|}, \tag{12}$$

$$q = D/(D - 1)$$

.....

В таком случае, нетрудно убедиться в том, что элементы набора I можно вычислить по формуле:

$$I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1 \tag{9}$$

где n_1 - количество ячеек первой характеристики, в нашем примере оно равно 3. С помощью таблицы 1 хорошо демонстрируется логика работы выражения (9)

Таблица 1. – Логика работы алгоритма $I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1$

Последовательность	I_1	I_2	Номера ячеек в I
11	1	1	$1+(1-1)*3=1$
21	2	1	$2+(1-1)*3=2$
31	3	1	$3+(1-1)*3=3$

12	1	2	$1+(2-1)*3=4$
22	2	2	$2+(2-1)*3=5$
32	3	2	$3+(2-1)*3=6$

.....

Экспериментальные измерения показали, что при..... на рисунке 6 приведены временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа, полученные из эксперимента при $R=1$ кОм и $C=1$ нФ, которые показывают, что выводы теории в данном случае подтверждаются физическим экспериментом.

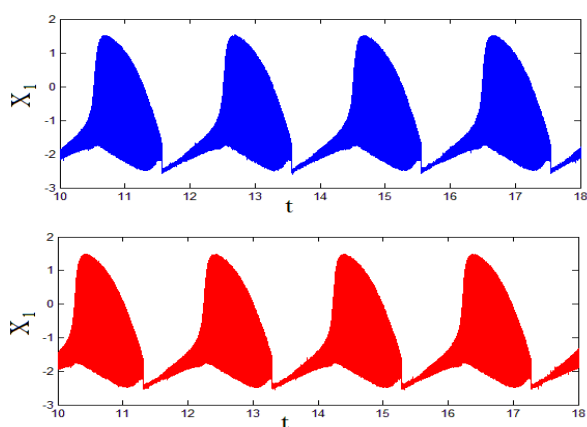


Рисунок 6 – Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при $R=200$ кОм и $C=100$ нФ, полученные из эксперимента.

Такое «странное» поведение системы в эксперименте объясняется тем, что большое значение RC параметра уменьшает амплитуду сигнала на выходе интегратора. Соответственно, амплитуда шума и соизмеримыми, что уменьшает точность полезного сигнала оказываются вычислений.

Действительно, дополнительные численные исследования показали, что режим

«birsting» также можно получить при численном интегрировании уравнений (1), если уменьшать точность вычислений. На рисунке 7 показан результат численного интегрирования при точности 0,001, а на рисунке 8 показан результат численного интегрирования при точности 0,00001.

.....

Заключение

Большие значения параметра RC аналогового интегратора, используемого в эксперименте, способствуют понижению точности измерений значений сигналов. Данный вывод подтверждается результатами численных решений системы уравнений (1), проведенных с различными точностями интегрирования. В итоге видим, что физический эксперимент полностью подтверждает выводы теории, т.е. экспериментально обнаружено рождение двухчастотной бифуркации Хопфа в кластере связанных автоколебательных систем.

Список литературы

- 1 Prigogine I. From the being to becoming // М.–1980.–343, 342 p.
- 4 Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику // М.– Наука.– 1990.– 272 с.
- 6 Somsikov V.M. The equilibration of an hard-disks system // November. V.14, №11. IJBC.– 2004.–Р. 4027 - 4033.
- 7 Сомсиков В.М. О принципах построения механики структурированных частиц на основе механики материальной точки // Журнал ПЭОС.–2010.–Вып.12, Т.2.–С.3-17.
- 9 Anderson P.W. More Is Different. Science // New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972), pp. 393-396

Приложение 1

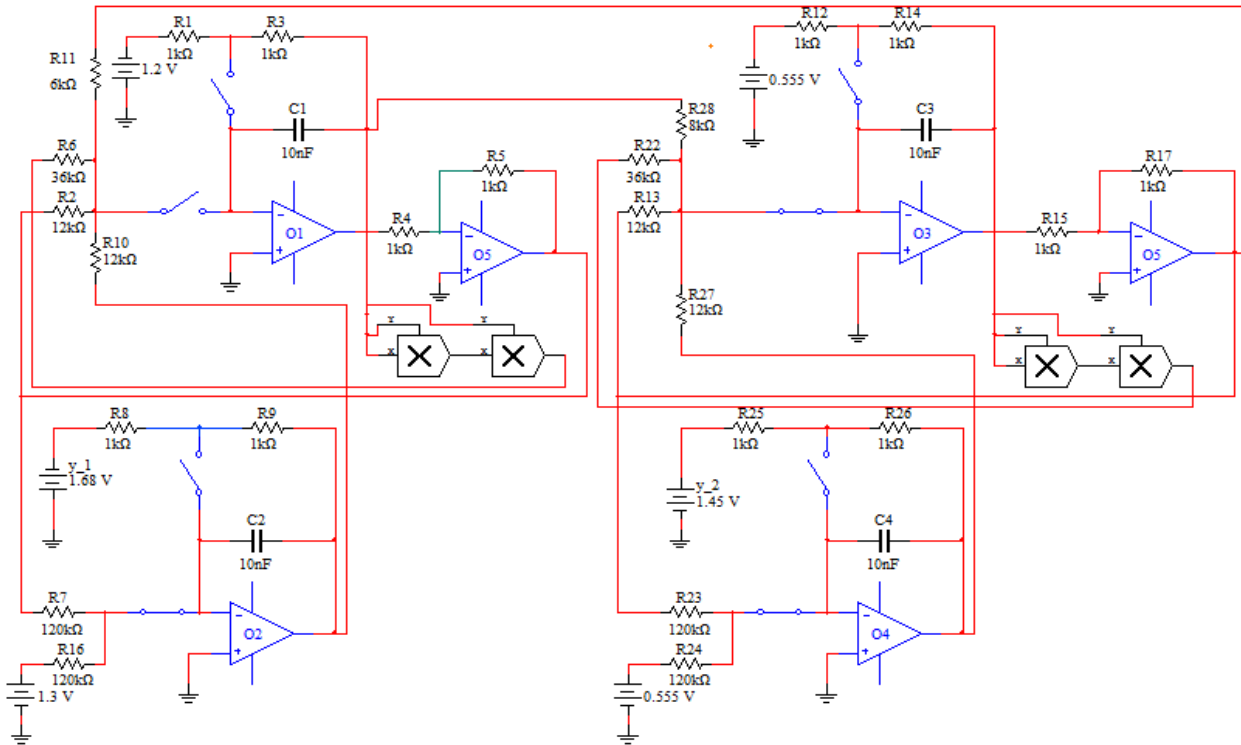


Рисунок 1– Модель схемы в «Multisim», решающая уравнения динамики кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем.

Таблица 6. Массы аэрозолей, химических веществ и энергия акустического излучения, инжес-тированных в атмосферу в ходе катастрофы под Мелитополем (площадь города около 30 км²), и их сравнение с фоновыми значениями

Вещество (излуче-ние)	Инжес-тируемая масса (мощ-ность)	Фоновое зна-чение в атмо-сфере над Ме-литополем	Фоновое зна-чение в атмо-сфере над Украиной	Фоновое зна-чение во всей атмосфере
Аэрозоли (пыль)	0,1 – 1 кт	3 – 15 т	60 – 300 кт	50 – 250 Мт
Аэрозоли (дым)	1 кт	330 кг	6 – 7 кт	5,5 Мт
Двуокись углерода	35 кт	180 кт	3,6 Гт	3 Тт

Рефератов

Г.К.Мусабек ^{1,2}, К.К. Диханбаев ^{1,2}, В. А. Сиваков³, Д. Ермухамед ^{1,2},
А.С.Курмаш ^{1,2}, Т.И.Таурбаев ¹, А.С. Джунусбеков ¹, Ш.Б.Байганатова ¹

¹Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Алматы, Казахстан,

³Лейбниц Институт фотонных технологий, Йена, Германия

Gauhar.Musabek@kaznu.kz

ВТОРИЧНАЯ ИОННАЯ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ФОСФОРОМ

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследований кремниевых нанонитей, легированных фосфором методом термодиффузии, с помощью вторичной ионной масс спектроскопии. Кремниевые нанонити были выращены на поверхности монокристаллических кремниевых пластин с полированной и шлифованной поверхностью методом металл стимулированного химического травления. Легирования нанонитей атомами фосфора

происходило при температурах 900 – 980⁰С в течение 15-40 минут. С помощью вторичной ионной масс спектроскопии исследовано распространение атомов фосфора по глубине нанонитей, рассчитаны динамические профили распределения примеси в образцах, полученных на полированной и шлифованной поверхности кремниевых пластин. В результате анализа динамических профилей вторичной ионной масс спектроскопии для распределения соединений Si-P в образцах легированных кремниевых нанонитей было выявлено, что максимальная концентрация атомов фосфора в таких образцах локализована преимущественно в наноструктурированном слое, а в слой объемного кремния диффундирует очень малое количество. Оценочная глубина залегания легирующей примеси в кремниевые нанонитей составляет около 1300 нм.

Ключевые слова: кремниевые нанонити, легирование фосфором, термодиффузия, вторичная ионная масс спектроскопия.

Г.К.Мұсабек Г.К.^{1,2}, К.К. Диханбаев^{1,2}, В. А. Сиваков³, Д.Ермұхамед^{1,2},
А.С.Кұрмаш^{1,2}, Т.И. Таурбаев¹, А.С. Джунусбеков¹, Ш.Б.Байғанатова¹

¹ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

²Ашық типтегі Ұлттық нанотехнологиялық лабораториясы, Алматы, Қазақстан,

³Лейбниц Фотондық технологиялар институты, Йена, Германия,

Gauhar.Musabek@kaznu.kz

ФОСФОРМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН КРЕМНИЙ НАНОТАЛШЫҚТАРЫНЫҢ ЕКІНШІ РЕТТІК ИОНДЫҚ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

Аннотация. Берілген жұмыста термодиффузия әдісін қолданып фосфор атомдарымен легирленген кремний наноталшықтарын екінші реттік иондық массспектроскопия әдісімен зерттеу нәтижелері келтірілген. Кремний наноталшықтары беті жылтыратылған және тегістелген монокристалды кремний пластиналарының бетінде металл енгізілген химиялық жеміру әдісімен қалыптастырылған. Кремний нанокұрылымдарын фосфор атомдарымен легирлеу 900 - 980 ⁰С температурада 15 - 40 минут бойы жүзеге асты. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының көмегімен фосфор атомдарының жылдырлатылған және тегістелген беттерде қалыптыққан наноталшықтардың қалыңдығы бойынша таралуы зерттелініп, үлестірілуінің динамикалық профильдері есептелінген. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының P-Si косылыстарының үлестірілуінің динамикалық профильдерін талдау нәтижесінде фосфор атомдарының максимальді концентрациясы негізінен нанокұрылымды қабатқа енетіні және көлемдік кремнийге аз таралатындығы анықталған. Зерттеулер нәтижесінде берілген кремний наноталшықтары үлгілері үшін легирлеуші компа атомдарының диффузиялық енуінің тереңдігі шамамен 1300 нм тең деп бағаланған.

Түйін сөздер: Кремний наноталшықтары, фосфордың диффузиясы, термодиффузия, екінші реттік иондық масс спектроскопиясы.

G.K.Mussabek^{1,2}, K.K. Dikhanbayev^{1,2}, V.A.Sivakov³, D. Yermukhamed^{1,2},
Kurmash A.S.^{1,2}, T.I.Taurbayev¹, A.S.Dzhunusbekov¹, Sh.B.Bainatova¹

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

²National nanotechnological laboratory of open type, Almaty, Kazakhstan,

³Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany,

Gauhar.Musabek@kaznu.kz

SECONDARY ION MASS SPECTROSCOPY OF PHOSPHORUS DOPED SILICON NANOWIRES

Abstract. We present the results of secondary ion mass spectroscopy studies of silicon nanowires doped with phosphorus by thermal diffusion. First, silicon nanowires were grown on the

surface of single-crystal silicon wafers with a polished and ground surface using method of metal-assisted chemical etching. Doping of nanowires with phosphorus atoms by thermo diffusion method occurred at temperatures of 900-980 ° C during 15-40 minutes. Secondary ion mass spectroscopy was used to study the distribution of phosphorus atoms over the depth of nanowires, impurity distribution dynamic profiles were calculated for the samples obtained on the polished and ground surfaces of silicon wafers. Analysis of the dynamic profiles of the secondary ion mass spectroscopy for the distribution of Si-P compounds in samples of doped silicon nanowires revealed that the maximum concentration of phosphorus atoms in such samples is localized predominantly in the nanostructured layer, and a very small amount diffuses into the bulk silicon layer. The estimated depth of occurrence of the dopant in silicon nanowires is about 1300 nm.

Keywords: silicon nanowires, phosphorus doping, thermal diffusion, secondary ionic mass spectroscopy.

Журнал проблем эволюции открытых систем
(Журнал ПЭОС)
ISBN 9965-01-766-2

ИБ №13726

Подписано в печать 04.06.2020. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Объем 11,8 п.л. Тираж 60 экз. Заказ №9955.

Издательский дом «Қазақ университеті»

Казахского национального университета им. аль-Фараби.

050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті».

Изготовлено по заказу

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (ДГП)
КазНУ им. аль-Фараби**