

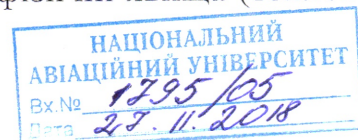
Голові спеціалізованої вченої ради  
К26.062.13 у Національному авіаційному  
університеті МОН України  
Железняку О.О.  
03058, м. Київ, просп. Космонавта  
Комарова, 1, НАУ.

### ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата фізико-математичних наук, завідувача науково-дослідної лабораторії радіоастрономії імені Б.Л. Кащеєва Харківського національного університету радіоелектроніки Коломієць Світлани Володимирівни на дисертаційну роботу Мозгової Альони Михайлівни "Речовинний склад вибраних метеорів за дистанційними спектральними спостереженнями", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження.

**Актуальність теми дисертації.** З часів відкриття космічної ери людства в 1957 році (у рамках глобальної програми Міжнародного геофізичного року) дослідженнями метеорів у світі керує спеціальна комісія Міжнародної астрономічної спілки (МАС) – "Метеори, метеорити та міжпланетний пил" (зараз ця комісія позначається, як F1). Для розвитку астрономії МАС розроблено стратегічний план на 2020–2030 роки. Згідно цього плану спектральні дослідження в астрономії є одними з пріоритетних. Метеорні міждисциплінарні дослідження завжди знаходились у полі зору міжнародного комітету з космічних досліджень КОСПАР (англ. COSPAR – Committee on Space Research) і сьогодні вони є не менш актуальними. Спектральні технології у метеорних дослідженнях зазнають стрімкого впровадження.

Згідно офіційної термінології, затвердженої у 2018 році на 30 ГА МАС: "Метеор – це світлове явище та пов'язані з ним інші фізичні явища (теплові,



ударні, іонізаційні), які є результатом високошвидкісного входження твердого об'єкта з космосу в газову атмосферу". Для Землі ці швидкості лежать в діапазоні 11–72 км/с. В атмосфері Землі спостережною метеорною зоною вважаються висоти 120–60 км над земною поверхнею (з найбільш активною частиною 100 – 80 км). Метеори в Земній атмосфері пов'язані з метеорними тілами (метеороїдами), які визначаються як космічні тіла в інтервалі розмірів від 30 мікрометрів до 1 метра. Метеороїди можуть мати своїми батьківськими тілами комети або астероїди, крім того вони можуть бути самостійним населенням твердої міжпланетної фракції, залишком протопланетного диску або мати міжзоряне походження. Дослідження метеорів мають міждисциплінарний характер та пов'язані з такими науковими царинами, як фізика космосу, астрономія, геофізика, радіотехніка, зв'язок тощо. Слід відмітити такі загальні особливості такого об'єкту спостережень, як метеори: їхню короткочасність (середній проміжок часу спостереження триває близько 0,1 с) та непередбачуваність місця прольоту на небі. Спостерігаючи метеори фотографічними (в інтегральному світлі), радіолокаційними, фотоелектричними або телевізійними методами, дослідники можуть отримати інформацію про кінематичні та динамічні характеристики метеорного тіла та характеристики його шляху, зокрема: тривалість та швидкість польоту, висоту початку і кінця явища, інтенсивність випромінювання та її зміну з висотою, наявність або відсутність спалахів, траєкторію в Земній атмосфері та орбіту в Сонячній системі. Вивчати фізико-хімічні властивості метеорів дозволяє метеорна спектроскопія. Дослідження метеорних спектрів можуть надати матеріал для відповіді на питання про природу випромінювання, що утворює світлове метеорне явище та про процеси, які при цьому там протікають. Кожен метеорний спектр являє собою велику наукову цінність. Оскільки метеор – непередбачуване і короткотривале явище, зафіксувати його не просто, а отримати якісний метеорний спектр ще складніше. Потрібні високочутливі камери, відповідної

якості дисперсійні елементи та тривалий час спостережень за якомога більшими ділянками неба. Підвищені науковий інтерес і цінність вивчення метеорної речовини через метеорні спектри, зумовлені можливістю оцінювати речовинний склад метеороїдів в атмосфері Землі дистанційно з земної поверхні.

У спектрах метеорів знаходиться інформація про умови збудження, світіння і іонізацію метеорної плазми, температуру, процеси абляції, фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час метеорних явищ в атмосфері Землі, маси метеороїдів, причини і характер протікання спалахів. Результати досліджень метеорних явищ взагалі є важливими у вивченні властивостей метеорних потоків та спорадичної складової метеорного комплексу, для вирішення деяких питань космогонії, для космонавтики, міжпланетних космічних апаратів, навігаційних та комунікаційних супутників, засобів дистанційних досліджень Сонячної системи. Метеорні вторгнення є важливим чинником космічної погоди та екологічного благополуччя Землі. Також метеори розглядаються як засіб вивчення верхніх шарів атмосфери Землі та процесів, що там відбуваються.

З вище наведеного випливає те, що дослідження метеорів та метеороїдів, особливо, метеорних спектрів, є актуальною науковою задачею сьогодення, що набуватиме ще більшого попиту у найближчому майбутньому.

**Метою роботи** було визначення речовинного складу вибраних метеорів за спектральними спостереженнями. Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

1. Визначити речовинний склад метеорних тіл шляхом ідентифікації спектральних ліній у фотографічних спектрах метеорів;
2. Оцінити ефективну температуру збудження атомів заліза FeI в метеорній комі та її зміну з висотою за даними спостережень;

3. Створити каталог ліній спектральних мультиплетів FeI і FeII та MgI і MgII, що спостерігались в метеорних спектрах, і побудувати на його основі діаграми Гротріана.

**В дисертаційній роботі отримано такі нові наукові результати:**

1. Досліджено фізичні характеристики трьох спорадичних метеорів (2 і 27 серпня 2011 року та 20 лютого 2012 року) і одного метеора потоку Персеїди (11 серпня 2012 року) на основі аналізу фотографічних спектрів.

2. Проведено визначення речовинного складу досліджуваних метеорних тіл за їхніми спектрами. Визначено, що найбільш інтенсивні лінії в досліджених спектрах метеорів належать атомам CrI, FeI, MgI, SiI, AlI, MnI, CaI, TiI, NaI, іонам FeII, CaII, MgII, TiII, SiII, що, як відомо, характерно для залізних та залізо-силікатних метеороїдів.

3. Створено каталог спостережених емісійних ліній в спектрі кожного дослідженого метеора, який містить спостережену і теоретичну довжини хвиль емісійних ліній, назву атома і номер мультиплету, інтенсивність ліній у відносних та абсолютних одиницях.

4. В наближенні стану термодинамічної рівноваги та больцманівського розподілу населеності енергетичних рівнів, визначено ефективну температуру збудження атомів FeI та кількість випромінюючих атомів FeI в метеорній комі за дослідженнями спектра метеора, спостереженого 2 серпня 2011 року. Отримано криву блиску спектральної лінії заліза FeI (2) ( $\lambda 4427 \text{ \AA}$ ).

5. Виявлено нелінійну зміну температури метеорного тіла, спостереженого 2 серпня 2011 року, з висотою та з часом. Відмічено підвищення температури збудження атомів FeI перед спалахами і одразу після спалахів та її зниження безпосередньо під час спалахів, що може бути ознакою руйнування метеороїда з подальшим викидом речовини.

**Також дисертанткою удосконалено:** Каталог, що включає 329 ліній спектральних мультиплетів атомів заліза FeI, 23 ліній іонів заліза FeII, 12 ліній атомів магнія MgI і 4 ліній іонів магнія MgII, що містить усі необхідні

дані для ідентифікації спектральних ліній і кількісного аналізу метеорних спектрів, на основі зведення даних існуючих каталогів спектральних ліній хімічних елементів. Каталог доповнено діаграмами Гротріана для ліній мультиплетів заліза FeI і магнія MgI, які відображають переходи між електронними станами цих хімічних елементів.

**Отримали подальший розвиток:** дослідження спектрів двох метеорів потоку Оріоніди (21 і 22 жовтня 1958 року) і одного метеора потоку Персеїди (10 серпня 1965 року) на основі сучасних методів обробки спектрів метеорних явищ.

**Практичне значення** полягає в накопиченні статистики, зокрема, дані, отримані в результаті обробки представлених в роботі метеорних спектрів є цінними та актуальними з точки зору фундаментальних наукових досліджень фізико-хімічних властивостей речовини метеороїдів. Представлений в роботі каталог ліній спектральних мультиплетів хімічних елементів та діаграми Гротріана можуть бути практично використані дослідниками при подальшому вивченні метеорів та їхніх спектрів. Дані про хімічний склад метеороїдів, що пов'язаний з конкретними спектрами, є важливими для розв'язання питань космогонії, хімічної еволюції Сонячної системи, у дослідженнях атмосфери Землі тощо.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається з переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки, з них 127 сторінок основного тексту, 37 рисунків, із яких 8 рисунків на окремих сторінках та 7 таблиць, список літературних джерел обсягом 138 найменувань, викладений на 16 сторінках, додатки викладені на 20 сторінках.

**Розділ 1. Спектри метеорів.** Містить огляд публікацій за тематикою досліджень. В розділі розглянуто основні хімічні елементи, які зазвичай ототожнюються в спектрах метеорів. Описано особливості спектрів метеорів

потоків Персеїди. Представлено класифікації метеорних спектрів. Здійснено порівняння спектрів метеорів зі спектрами комет.

**Розділ 2. Методи спостережень метеорів та їх обробки.** У розділі наведено характеристики астрономічних інструментів та фотоматеріалів, що використовуються для отримання спектрів метеорів. Розглянуто особливості застосування оптичних призм і дифракційних ґраток. Описано фотографічні методи отримання і дослідження метеорних спектрів, методи ідентифікації спектральних ліній, метод кривих росту, що застосовується для визначення температури збудження атомів та концентрації атомів і іонів хімічних елементів в метеорній плазмі.

**Розділ 3. Результати досліджень фотографічних спектрів вибраних метеорів.** У розділі представлено результати досліджень фотографічних спектрів метеорів, отриманих 21 і 22 жовтня 1958 року, 10 серпня 1965 року, 2 і 27 серпня 2011 року, 20 лютого і 11 серпня 2012 року за допомогою метеорних патрулів, розміщених в Ашхабадській астрофізичній лабораторії (Туркменістан), на спостережній станції Крижанівка Одеської астрономічної обсерваторії (Україна) та в Астрономічній обсерваторії Астрономічного інституту Академії наук Чеської Республіки в м. Ондржейов (Чехія). Три спектри було отримано за допомогою оптичної призми і зафіксовано на фотоплівці, а чотири – з використанням дифракційних ґраток та фотопластинок. Описано етапи фотометричної і спектральної обробки спектрів досліджених метеорів. Приведено спектрограми, за якими здійснювалося ототожнення спектральних ліній. Результати ідентифікації виявлених спектральних ліній в спектрах досліджених метеорів наведено в додатках до дисертації. Проаналізовано зміну метеорних спектрів з висотою і з часом. Також у розділі представлено результати визначення температури збудження атомів заліза FeI в метеорній комі за спектром 2 серпня 2011 року.

**Розділ 4. Каталог мультиплетів і діаграми Гротріана.** Тут описано мультиплетну структуру метеорних спектрів. Увага акцентується на

важливості створення каталогу спектральних ліній мультиплетів хімічних елементів, які спостерігаються в спектрах метеорів. У цьому розділі представлено частину створеного каталогу, де містяться дані про лінії мультиплетів магнія MgI і MgII, а список ліній мультиплетів заліза FeI і Fe II винесено в Додатки до дисертації. Каталог доповнено діаграмами Гротріана, які показують дозволені переходи електронів між рівнями енергій в атомах, що супроводжують випромінювання в тому чи іншому мультиплеті в метеорних спектрах. Діаграмами Гротріана використовують для графічного зображення електронної структури атомів хімічних елементів. В роботі побудовано повні, на скільки це було можливо за наявними даними, діаграми Гротріана для FeI і MgI. Ці діаграми представлено в Додатках до дисертації.

У висновку наведено основні результати роботи.

У списку використаних джерел наведено повний перелік публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи та перелік використаної літератури.

У додатках представлені таблиці ідентифікацій емісійних ліній в спектрах метеорів, таблиці мультиплетів та діаграми Гротріана.

**За матеріалами дослідження опубліковано 29 наукових праць, де повністю показані основні результати дисертації, з них 6 статей [16 – 17, 19, 21–23] у наукових фахових виданнях України, 1 стаття [18] у закордонному науковому виданні, яке включене до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття [20] в інших виданнях України, 21 тези доповідей в матеріалах наукових конференцій [24–44].**

Мною перевірена і підтверджується ідентичність в цілому змісту автореферату й основних положень дисертації, знайдені розходження є незначними.

#### **Зауваження до представленого тексту дисертації:**

1) у дисертації мають місце описки (зокрема, на с.2, 10 рядок згори, вжито "дифракційна решітка" замість "дифракційна ґратка", с.126, 10 рядок згори, вжито "явиці" замість "явищ,")

- 2) деінде невірний переклад на українську мову з англійської, пов'язаний з перекладом з чеською (зокрема, с.4, с. 126 та в інших місцях: "Ī. Боровичка" замість I. Боровичка, в оригіналі "Jiří Borovička"/ Jiří - Іржі; с.126 "Ондрежов" замість "Ондржейов", в оригіналі "Ondřejov");
- 3) с.9–13, у анотації англійською мовою у частині "список джерел", джерела, які написані не англійською мовою, було б доречно вказати у цьому списку у перекладі на англійську мову/подано здобувачем у оригінальній формі деінде українською, деінде російською без перекладу на англійську;
- 4) перелік умовних позначень і скорочень бажано було б розширити, додати більше скорочень саме за суттю роботи, зокрема, включити перелік скорочень із розшифровкою усіх перерахованих у висновках атомів (зокрема, CrI, FeI, MgI, SiI, AlI, MnI, CaI, TiI, NaI), іонів (зокрема, FeII, CaII, MgII, TiII, SiII) та молекул (зокрема, N<sub>2</sub>).
- 5) с.38, рядок 7, "іотримані", вірно "і отримані"
- 6) с.61, "випромінення", вірно: "випромінювання"
- 7) має місце декілька разів вживання терміну "метеор" замість "метеороїд" та навпаки (до ГА МАС серпня 2018 року згідно міжнародних правил в термінології дозволялося по контексту замість "метеороїд" вживати "метеор", тобто називати не тільки явище, але й тверде тіло "метеором", у терміна "метеор" було подвійне значення, з серпня 2018 року діють нові правила)
- 8) с.62, формула роздільної здатності призми (2.2.): довжина основи призми L в знаменнику чи чисельнику? Не зрозумілий запис;
- 9) у списку джерел було б доречно для деяких джерел, що позначені як "електронний ресурс" (наприклад, с.134, №55, №56) зробити більш розширений запис
- 10) с.28, рядок 12, вираз "частинок газу" є не зрозумілим.

**Висновок:** Вказані зауваження до представленого тексту дисертації не знижують значущості виконаної роботи. Загалом з наведеного вище я надаю позитивний відгук на рецензоване мною дисертаційне дослідження та,



відзначаючи, що дисертація з актуальної тематики є завершеною працею, науковий рівень якої є відповідним кандидатській дисертації, що вона є внеском в метеорні дослідження практичного та теоретичного значення, що вона містить нові науково обґрунтовані достовірні результати, які в сукупності є позитивним і продуктивним вирішенням поставленої конкретної наукової задачі, вважаю, що дисертація Мозгової А.М. "Речовинний склад вибраних метеорів за дистанційними спектральними спостереженнями» відповідає усім вимогам, які висуваються ДАК МОН України до кандидатських дисертацій, а автор дисертації Мозгова Альона Михайлівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження.

Кандидат фізико-математичних наук,  
завідувач науково-дослідної лабораторії  
радіоастрономії імені Б.Л. Кашеєва  
Харківського національного університету  
Радіоелектроніки (ХНУРЕ)



Коломієць С.В.

23.11.2018

Підпис Коломієць С.В. засвідчено

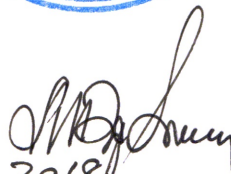
Проректор з наукової роботи ХНУРЕ



М.В. Неофітний

23.11.2018

Завідувач відділу кадрів науково-  
дослідної частини ХНУРЕ



М.П. Рудич

23.11.2018