

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор  
Головної астрономічної обсерваторії  
Національної академії наук України  
академік НАН України



ЯЦКІВ Я.С.

«10» грудня 2021 р.

### ВИТЯГ

з протоколу № 5 засідання загального астрофізичного семінару  
від 9 грудня 2021 р.

#### ПРИСУТНІ:

к.ф.-м.н. Кравчук С.Г. (головуючий), д.ф.-м.н. Берцик П.П., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Вавилова І.Б., к.ф.-м.н. Васильєва І.Е., к.ф.-м.н. Велесь О.А., д.ф.-м.н. Длугач Ж.М., к.ф.-м.н. Добричева Д.В., к.ф.-м.н. Елиїв А.А., д.ф.-м.н. Жданов В.І. (АО КНУ), Іванов Д.Д., д.ф.-м.н. Караченцева В.Ю., к.ф.-м.н. Ковальчук Г.У. (секретар), к.ф.-м.н. Кондрашова Н.М., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Костик Р.І., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Новосядлий Б.С. (АО ЛНУ), д.ф.-м.н. Павленко Я.В., Парусімов Г.В., к.ф.-м.н. Пасечник М.М., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Пілюгін Л.С., к.ф.-м.н. Пулатова Н.Г., д.ф.-м.н. Розенбуш В.К., Соболєнко М.О., д.ф.-м.н. Федоров Ю.І., к.ф.-м.н. Шубіна О.С., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Щукіна Н.Г.

**СЛУХАЛИ:** Елиїв Андрій Андрійович:

«КОСМІЧНІ ВОЙДИ:

СТРУКТУРА І ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В НИХ ТА НАВКОЛО»

(представлення докторської дисертації)

Робота виконана згідно з науковим планом Головної астрономічної обсерваторії (ГАО) НАН України. Тема затверджена на засіданні Вченої ради ГАО від 14.09.2017р., протокол № 12, назва дисертації уточнена на засіданні Вченої ради ГАО від 05.08.2021р., протокол № 10.

**Актуальність теми.** Космічні войди, або порожнини, займають гігантські простори Всесвіту з низькою концентрацією галактик. Вони були виявлені близько 40 років тому назад, але їхнє систематичне вивчення стало можливим лише в останнє десятиріччя з появою сучасних спектроскопічних оглядів галактик всього неба. Через свої гігантські об'єми, характерну форму, динаміку і низьку густину видимої матерії, вони є унікальними лабораторіями для позагалактичної астрофізики та космології. Складна ієрархія войдів, взаємні перетини, піно-

подібна структура на різних масштабах Всесвіту роблять їх цікавими об'єктами з точки зору застосування геометричних і топографічних методів та технологій нейромереж.

У дослідженнях з астрофізики високих енергій войди розглядають як “шосе” для поширення релятивістських частинок, де присутність ненульового магнітного поля та позагалактичного фонового інфрачервоного випромінювання є відкритим питанням. Войди є важливими для тестування еволюційних моделей, оскільки вони дозволяють вивчати ізольовані, здебільшого, карликові галактики пізніх типів і малонаселені групи без впливу оточення та порівнювати їх з галактиками, що знаходяться у галактичних скупченнях. Войди можуть бути використані для ефективного тестування космологічних моделей та оцінки космологічних параметрів. Зокрема, спостережуваний дефіцит карликових галактик у близьких войдах суперечить космологічному сценарію з холодною темною матерією. Їхні фізичні властивості залежать від природи темної енергії та зародкового поля густини, з якого вони розвинулися, зокрема, форма войдів дуже чутлива до рівняння стану темної енергії та вмісту темної матерії.

Точність космологічних тестів і еволюційних моделей Великомасштабної структури Всесвіту залежить від критеріїв виокремлення цих космічних порожнеч. Підтвердженням цьому є велика кількість розроблених алгоритмів для їхнього пошуку. Ключовим параметром для всіх типів шукачів войдів є положення галактик в просторі з добре вимірними відстанями, в ідеалі, не збуреними пекулярними і колективним рухами галактик. Тому важливими є розробка методів встановлення модулів відстаней до галактик, що окреслюють войди або знаходяться у них, з точністю кращою, ніж може забезпечити метод червоного зміщення.

Відомо, що оточення галактик впливає не тільки такі їхні властивості як колір, морфологічний тип, світність, темп зореутворення, а також і на наявність активного ядра у центрі галактики (АЯГ) та, власне, на спектральні особливості випромінювання АЯГ. На сьогодні відсутня остаточна відповідь на запитання, що грає домінуючу роль в еволюції галактик та активності ядра – внутрішня еволюція чи оточення галактик. Однак, очевидно, що універсальна схема АЯГ, згідно з якою всі типи АЯГ повинні знаходитися в однакових оточеннях, не враховує вікової еволюції і активно переглядається. З цієї точки зору впливає актуальність дослідження властивостей АЯГ у войдах, філаментах, скупченнях галактик та в інших структурах у контексті еволюції галактик, а також і зворотного ефекту впливу АЯГ, а особливо їхнього підтипу – блазарів, на процеси всередині космічних порожнеч.

Завдяки високій рентгенівській світності, АЯГ можуть бути виявлені в широкому діапазоні червоних зміщень, аж до  $z = 4$ , на відміну від нормальних галактик. Отже, ці об'єкти є відмінними мітками космічної структури: войдів, філаментів, стін, скупчень і зручним інструментом для вивчення еволюційних явищ у Всесвіті. В останні двадцять років проведено декілька десятків глибоких і широких оглядів неба у рентгенівському діапазоні з метою детектування скупчень галактик та АЯГ, а також проведення їх спостережень у широкому діапазоні довжин хвиль від радіо до гама. Такі огляди дозволяють не тільки всебічно вивчати властивості різних об'єктів, їхнє оточення і властивості, особливості кластеризації, але й вікову еволюцію (залежність властивостей від червоного зміщення), а також детектувати цікаві рідкісні об'єкти. Одним із прикладів таких об'єктів є гравітаційно-лінзові квазари, пошук яких був здійснений у рамках цієї роботи на базі рентгенівського і мультихвильового поля XXL у 50 кв. град.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконувалися під час роботи здобувача в Головній астрономічній обсерваторії НАН України за такими програмами і темами: відомчі теми НАН України «Великомасштабна структура



Всесвіту за даними багатохвильових оглядів окремих її складників» (№ держ. реєстрації 0119U000393, 2019–2023 рр.), «Чисельний аналіз фізичних характеристик і еволюції скупчень галактик, галактик і галактичних підсистем» (№ держ. реєстрації 0113U008323, 2014–2018 рр.), «Розвиток та застосування кластерних технологій для мультимасштабного динамічного моделювання та аналізу структури локального Всесвіту» (№ держ. реєстрації 0110U007860, 2011–2013 рр.); цільова комплексна програма НАН України «Астрофізичні і космологічні проблеми прихованої маси і темної енергії Всесвіту» (шифр «Космомікрофізика-2»), у межах науково-дослідних робіт «Властивості ізольованих галактик з активними ядрами і оцінка мас їх центральних чорних дір» (№ держ. реєстрації 0113U008053, 2013 р.), «Властивості баріонної і небаріонної матерії в галактиках і скупченнях галактик» (№ держ. реєстрації 0112U004455, 2012 р.) і «Астрофізичні прояви темної матерії» (№ держ. реєстрації 0110U003747, 2010–2011 рр.); цільова комплексна програма НАН України «Дослідження структури та складу Всесвіту, прихованої маси і темної енергії» (шифр «Космомікрофізика»), у межах науково-дослідної роботи «Спостережені прояви баріонної і небаріонної компонент матерії» (№ держ. реєстрації 0107U009720, 2007–2009 рр.); наукові проекти Державного фонду фундаментальних досліджень України «Популяція галактик в близьких космічних лакунах» (№ держ. реєстрації 0113U004477, 2013 р.), «Просторовий розподіл та фізичні властивості галактик в областях з екстремально низькою густиною матерії» (№ держ. реєстрації 0111U006527, 2011–2012 рр.); стипендія Президента України для молодих учених (2011–2012 рр.); наукові проекти «АЯГ та їхнє оточення» під час стажування в Університеті м. Льєж впродовж 2009–2013 рр., «Виявлення космічних порожнеч без вимірювань густини» в Університеті м. Болонья впродовж 2013–2015 рр., «Застосування методів машинного навчання для визначення відстаней до галактик» Мілан, INAF (2016-2021).

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Розроблено нові алгоритми для пошуку космічних voidів на основі динамічних властивостей великомасштабної структури Всесвіту. Застосована апроксимація Лагранжа-Зельдовича для відтворення поля густини матерії низької концентрації та для виокремлення космічних порожнин; створено та апробовано відповідне програмне забезпечення.

Запропоновано постановку та проведено дослідження високоенергетичних процесів в космічних voidах, а саме електромагнітних лавин від гамма-фотонів, випромінених особливим типом АЯГ – блазарами. Виконано аналітичний опис основних характеристик лавини. Створено чисельні моделі лавин, фотон фотонної анігіляції та релятивістських електрон-позитронних пучків.

Вперше за результатами проведених моделювань показано, що за спостереженнями гало навколо блазарів в гамма діапазоні можна оцінити величину магнітного поля в космічних voidах та характеристики самих блазарів. Доведена стійкість пучків електрон-позитронних пар в космічних порожнинах. Показано, що електромагнітні лавини від блазарів не впливають на термічну історію міжгалактичного простору voidів, крізь які вони поширюються.

Розроблено геометричний шукач порожнин та виділено в Місцевому Всесвіті voidи та гіперvoidи, створено алгоритми для виділення агломератів галактик. Із застосуванням цих методів досліджено населення космічних voidів Місцевого Всесвіту.

Вперше запропоновано використовувати метод редукції двоточкової кореляційної функції для відновлення орбіт галактик під час еволюції та формування космічних структур.

Вперше запропоновано метод мозаїки Вороного вищих порядків для виділення ізольованих галактик, пар та триплетів галактик.



Проведено обробку та аналіз даних позагалактичного рентгенівського огляду XXL/XMM-LSS, виконаного супутником XMM-Newton. Створено програмне забезпечення для аналізу кореляційних властивостей розподілу АЯГ, порівняно оточення АЯГ обох типів, а також радіо і не-радіо АЯГ, з високою і низькою світністю. Створено інструмент для пошуку надлишку густини навколо точкових рентгенівських джерел в оптичному діапазоні. Виявлено особливості просторового розподілу АЯГ щодо великомасштабних структур Всесвіту. Проведено оцінку кількості та пошук гравітаційно-лінзових систем в рентгенівському огляді XXL.

Вперше зроблено пошук гравітаційно-лінзових систем у рентгенівському полі XXL.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дослідження доповідалися на міжнародних наукових конференціях, семінарах ГАО НАН України та інших установ в Україні та за кордоном: 6th Gamow International Conference “New Trends in Astrophysics, Cosmology and Radioastronomy after Gamow”, Odesa, Ukraine, 2019 p.; European Week of Astronomy and Space Science. Symposium S14, Astrominformatics: From big data to understanding the Universe at large., Prague, Czech Republic, 2017 p.; Meeting of XXL collaboration, Florence, Italy, 2016 p.; 13th Gamow Conference-School. Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicphysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology., Odesa, Ukraine, 2015 p.; Advanced Workshop on Cosmological Structures from Reionization to Galaxies: Combining Efforts from Analytical and Numerical Methods, Trieste, Italy, 2015 p.; Euclid clustering meeting, London, UK, 2015 p.; Cosmic voids in the next generation of galaxy surveys workshop, Columbus, USA, 2015 p.; Meeting of XXL collaboration, Sesto, Italy, 2014 p.; International symposium “Multiwavelength-surveys: Galaxy Formation and Evolution from the early universe to today”, Dubrovnik, Croatia, 2014 p.; AGN meeting of XXL collaboration, Athens, Greece, 2014 p.; Meeting of XXL collaboration, Bonn, Germany, 2013 p.; Conference “Half a century of X-ray Astronomy, Mykonos, Greece, 2012 p.; Space and ground-based imaging in astrophysics, “Actions de recherche concertées” annual meeting, Liege, Belgium, 2012 p.; Meeting of XXL collaboration, Meudon, France, 2012 p.; Meeting of XXL collaboration, Bonifacio, France, 2011 p.; Meeting of XXL collaboration, Sacley, France, 2011 p.; 17th Young Scientists’ Conference on Astronomy and Space Physics, Kyiv, Ukraine, 2010 p.; X International Conference Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology, Kyiv, Ukraine, 2010 p.;

та семінарах: семінар департаменту астрофізики, геофізики і океанографії Льежського університету, Льеж, Бельгія, 2011, 2012 p.; семінар інституту теоретичної фізики Рурського університету, Бохум, Німеччина, 2012 p.; семінар відділу астроінформатики Головної астрономічної обсерваторії НАН України, Київ, Україна, 2009, 2010, 2011, 2013, 2015, 2018 p.; семінар астрономічної обсерваторії Ягеллонського університету, Краків, Польща, 2008 p.; семінар департаменту фізики та астрономії Болонського університету, Болонья, Італія, 2013, 2014, 2015 p.; семінар Національного Інституту Астрофізики INAF, Мілан, Італія 2019 p.; семінар ISDC відділення астрономічного департаменту Женевського університету, Версуа, Швейцарія, 2008 p..

**Публікації за темою дисертації.** Результати дисертаційної роботи викладено у 44 публікаціях, з яких 33 статті [1–33] опубліковано у виданнях, віднесених до першого, другого та третього кuartилів (Q1, Q2, Q3 та Q4), відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports: «Astronomy and Astrophysics» – 16 (Q1), «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» – 8 (Q1), «Astrophysical Journal» – 2 (Q1), «Physical Review D» – 1 (Q1), «Publications of the Astronomical Society of Australia» – 1 (Q1), «Astrophysical Journal Letters» – 1 (Q1), «Astronomische Nachrichten» – 1 (Q3), «Memorie della Societa Astronomica Italiana» – 1 (Q4), «Astrophysics» – 1 (Q4), «Space Science & Technologia»



(Scopus, WoS) – 1, а також 4 розділи у монографіях [34–37] та 7 публікацій [38–44] подано в тезах міжнародних та вітчизняних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури і додатку. Повний обсяг дисертації – 196 сторінки.

**Основні наукові праці (у реферованих журналах першого квартилю (Q1) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports), окрім статей з \* (Q3):**

1. **Elyiv, A.**, Marulli, F., Pollina, G., Baldi, M., Branchini, E., Cimatti, A., Moscardini, L., 2015. Cosmic voids detection without density measurements. *MNRAS*, 448, pp. 642-653.

2. **Elyiv, A. A.**, Melnyk, O. V., Vavilova, I. B., Dobrycheva, D. V., Karachentseva, V. E., 2020. Machine-learning computation of distance modulus for local galaxies. *A&A*, 635A, 124E (7 pp.).

3. **Elyiv, A.**, Clerc, N., Plionis, M., Surdej, J., Pierre, M., Basilakos, S., Chiappetti, L., Gandhi, P., Gosset, E., Melnyk, O., Pacaud, F., 2012. Angular correlation functions of X-ray point-like sources in the full exposure XMM-LSS field. *A&A*, 537, id. A131 (14 pp.).

4. Miniati, F., **Elyiv, A.**, 2012. Relaxation of Blazar-induced Pair Beams in Cosmic Voids. *ApJ*, 770, 1 (9 pp.).

5. Schlickeiser, R., **Elyiv, A.**, Ibscher, D., Miniati, F., 2012. The pair beam production spectrum from photon-photon annihilation in cosmic voids. *ApJ*, 758, 101 (18 pp.).

6. **Elyiv, A.**, Neronov, A., Semikoz, D. V., 2010. Gamma-ray induced cascades and magnetic fields in the intergalactic medium, *Phys. Rev. D.*, 80, 023010 (11 pp.).

7. Neronov, A., Semikoz, D., Kachelriess, M., Ostapchenko, S., **Elyiv, A.**, 2010. Degree-scale GeV "Jets" from Active and Dead TeV Blazars. *ApJ Journal Letters*, 719, pp. L130-L133.

8. Finet, F., **Elyiv, A.**, Melnyk, O., Wertz, O., Horellou, C., Surdej, J., 2015. Predicted multiply imaged X-ray AGNs in the XXL survey. *MNRAS*, 452, pp. 1480-1492.

9. Ricci, D., Poels, J., **Elyiv, A.**, Finet, F., Sprimont, P. G., Anguita, T., Bozza, V., Browne, P., Burgdorf, M., Calchi Novati, S., Dominik, M., Dreizler, S., Glittrup, M., Grundahl, F., Harpsøe, K., Hessman, F., Hinse, T. C., Hornstrup, A., Hundertmark, M., Jørgensen, U. G., Liebig, C., Maier, G., Mancini, L., Masi, G., Mathiasen, M., Rahvar, S., Scarpetta, G., Skottfelt, J., Snodgrass, C., Southworth, J., Teuber, J., Thöne, C. C., Wambsgans, J., Zimmer, F., Zub, M., Surdej, J., 2011. Flux and color variations of the quadruply imaged quasar HE 0435-1223. *A&A*, 528, id.A49, (16 pp.).

10. Ricci, D., **Elyiv, A.**, Finet, F., Wertz, O., Alsubai, K., Anguita, T., Bozza, V., Browne, P., Burgdorf, M., Calchi Novati, S., Dodds, P., Dominik, M., Dreizler, S., Gerner, T., Glittrup, M., Grundahl, F., Hardis, S., Harpsøe, K., Hinse, T. C., Hornstrup, A., Hundertmark, M., Jørgensen, U. G., Kains, N., Kerins, E., Liebig, C., Maier, G., Mancini, L., Masi, G., Mathiasen, M., Penny, M., Proft, S., Rahvar, S., Scarpetta, G., Sahu, K., Schäfer, S., Schönebeck, F., Schmidt, R., Skottfelt, J., Snodgrass, C., Southworth, J., Thöne, C. C., Wambsgans, J., Zimmer, F., Zub, M., Surdej, J., 2013. Flux and color variations of the doubly imaged quasar UM673. *A&A*, 551, id.A104 (7 pp.).

11. **Elyiv, A.**, Melnyk, O., Finet, F., Pospieszalska-Surdej, A., Chiappetti, L., Pierre, M., Sadibekova, T., Surdej, J., 2013. Search for gravitational lens candidates in the XMM-LSS/CFHTLS common field. *MNRAS*, 434, pp. 3305–3309.

12. **Elyiv, A.**, Melnyk, O., Vavilova, I., 2009. High-order 3D Voronoi tessellation for identifying isolated galaxy pairs and triplets. *MNRAS*, 394, pp. 1409 - 1418.

13. Melnyk, O., **Elyiv, A.**, Smolčić, V., Plionis, M., Koulouridis, E., Foto-poulou, S., Chiappetti, L., Adami, C., Baran, N., Butler, A., Delhaize, J., Delvecchio, I., Finet, F., Huynh, M., Lidman, C., Pierre, M., Pompei, E., Vignali, C., Surdej, J., 2018. The XXL Survey. XXI. The environment and clustering of X-ray AGN in the XXL-South field. *A&A*, 620, id.A6 (14 pp.).



**Наукові праці, які додатково висвітлюють тему дисертації:**

**а) Наукові праці у реферованих журналах першого квартилю (Q1) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, крім статті з \* (Q3) та \*\* (Q4):**

14. Nwaokoro, E., Phillipps, S., Young, A. J., Baldry, I., Bongiorno, A., Bremer, M. N., Brown, M. J. I., Chiappetti, L., De Propriis, R., Driver, S. P., **Elyiv, A.**, Fotopoulou, S., Giles, P. A., Hopkins, A. M., Maughan, B., McGee, S., Pacaud, F., Pierre, M., Plionis, M., Poggianti, B. M., Vignali, C., 2021. GAMA/XXL: X-ray point sources in low-luminosity galaxies in the GAMA G02/XXL-N field. *MNRAS*, 502, pp. 3101-3112.

15. Koulouridis, E., Ricci, M., Giles, P., Adami, C., Ramos-Ceja, M., Pierre, M., Plionis, M., Lidman, C., Georgantopoulos, I., Chiappetti, L., **Elyiv, A.**, Etori, S., Faccioli, L., Fotopoulou, S., Gastaldello, F., Pacaud, F., Paltani, S., Vignali, C., 2018. The XXL Survey. XXXV. The role of cluster mass in AGN activity. *A&A*, 620, id. A20 (10 pp.).

16. Chiappetti, L., Fotopoulou, S., Lidman, C., Faccioli, L., Pacaud, F., **Elyiv, A.**, Paltani, S., Pierre, M., Plionis, M., Adami, C., Alis, S., Altieri, B., Baldry, I., Bolzonella, M., Bongiorno, A., Brown, M., Driver, S., Elmer, E., Franzetti, P., Grootes, M., Guglielmo, V., Iovino, A., Koulouridis, E., Lefèvre, J. P., Liske, J., Maurogordato, S., Melnyk, O., Owers, M., Poggianti, B., Polletta, M., Pompei, E., Ponman, T., Robotham, A., Sadibekova, T., Tuffs, R., Valtchanov, I., Vignali, C., Wagner, G., 2018. The XXL Survey: XXVII. The 3XLSS point source catalogue, *A&A*, 620, A12 (18 pp.).

17. Guglielmo, V., Poggianti, B. M., Vulcani, B., Moretti, A., Fritz, J., Gastaldello, F., Adami, C., Caretta, C. A., Willis, J., Koulouridis, E., Ramos, Ceja, M. E., Giles, P., Baldry, I., Birkinshaw, M., Bongiorno, A., Brown, M., Chiappetti, L., Driver, S., **Elyiv, A.**, Evrard, A., Grootes, M., Guennou, L., Hopkins, A., Horellou, C., Iovino, A., Maurogordato, S., Owers, M., Pacaud, F., Paltani, S., Pierre, M., Plionis, M., Ponman, T., Robotham, A., Sadibekova, T., Smolčić, V., Tuffs, R., Vignali, C., 2018. The XXL Survey: XXX. Characterisation of the XLSSsC N01 supercluster and analysis of the galaxy stellar populations. *A&A*, 620, id. A15 (15 pp.).

18. Guglielmo, V., Poggianti, B. M., Vulcani, B., Adami, C., Gastaldello, F., Etori, S., Fotopoulou, S., Koulouridis, E., Ramos, Ceja, M. E., Giles, P., McGee, S., Altieri, B., Baldry, I., Birkinshaw, M., Bolzonella, M., Bongiorno, A., Brown, M., Chiappetti, L., Driver, S., **Elyiv A.**, Evrard, A., Garilli, B., Grootes, M., Guennou, L., Hopkins, A., Horellou, C., Iovino, A., Lidman, C., Liske, J., Maurogordato, S., Owers, M., Pacaud, F., Paltani, S., Pierre, M., Plionis, M., Ponman, T., Robotham, A., Sadibekova, T., Scodeggio, M., Sereno, M., Smolčić, V., Tuffs, R., Valtchanov, I., Vignali, C., Willis J., 2018. The XXL Survey: XXII. The XXL-North spectrophotometric sample and galaxy stellar mass function in X-ray detected groups and cluster. *A&A*, 620, id.A7 (20 pp.).

19. Pierre, M., Adami, C., Birkinshaw, M., Chiappetti, L., Etori, S., Evrard, A., Faccioli, L., Gastaldello, F., Giles, P., Horellou, C., Iovino, A., Koulouridis, E., Lidman, C., Le Brun, A., Maughan, B., Maurogordato, S., McCarthy, I., Miyazaki, S., Pacaud, F., Paltani, S., Plionis, M., Reiprich, T., Sadibekova, T., Smolcic, V., Snowden, S., Surdej, J., Tsiros, M., Vignali, C., Willis, J., Alis, S., Altieri, B., Baran, N., Benoist, C., Bongiorno, A., Bremer, M., Butler, A., Cappi, A., Caretta, C., Ciliegi, P., Clerc, N., Corasaniti, P. S., Coupon, J., Delhaize, J., Delvecchio, I., Democles, J., Desai, Sh., Devriendt, J., Dubois, Y., Eckert, D., **Elyiv, A.**, Farahi, A., Ferraril, C., Fotopoulou, S., Forman, W., Georgantopoulos, I., Guglielmo, V., Huynh, M., Jerlin, N., Jones, Ch., Lavoie, S., Le Fevre, J.-P., Lieu, M., Kilbinger, M., Marulli, F., Mantz, A., McGee, S., Melin, J.-B., Melnyk, O., Moscardini, L., Novak, M., Piconcelli, E., Poggianti, B., Pomarede, D., Pompei, E., Ponman, T., Ramos, Ceja, M. E., Rana, P., Rapetti, D., Raychaudhury, S., Ricci, M., Rottgering, H., Sahlen, M., Sauvageot, J.-L., Schimd, C., Sereno, M., Smith, G. P., Umetsu, K., Valageas, P., Valotti, A.,



Valtchanov, I., Veropalumbo, A., Ascaso, B., Barnes, D., De Petris, M., Durret, F., Donahue, M., Ithana, M., Jarvis, M., Johnston-Hollitt, M., Kalfountzou, E., Kay, S., La Franca, F., Okabe, N., Muzzin, A., Rettura, A., Ricci, F., Ridl, J., Risaliti, G., Takizawa, M., Thomas, P., Truong, N., 2017. The XXL survey: First results and future, *Astronomische Nachrichten*, 338, pp. 334-341\*.

20. Lavoie, S., Willis, J. P., Démoclès, J., Eckert, D., Gastaldello, F., Smith, G. P., Lidman, C., Adami, C., Pacaud, F., Pierre, M., Clerc, N., Giles, P., Lieu, M., Chiappetti, L., Altieri, B., Ardila, F., Baldry, I., Bongiorno, A., Desai, S., **Elyiv, A.**, Faccioli, L., Gardner, B., Garilli, B., Groote, M. W., Guennou, L., Guzzo, L., Hopkins, A. M., Liske, J., McGee, S., Melnyk, O., Owers, M. S., Poggianti, B., Ponman, T. J., Scodreggio, M., Spitler, L., Tuffs, R. J., 2016. The XXL survey XV: evidence for dry merger driven BCG growth in XXL-100-GC X-ray clusters. *MNRAS*, 2016, 462, pp. 4141-4156.

21. Koulouridis, E., Poggianti, B., Altieri, B., Valtchanov, I., Jaffé, Y., Adami, C., **Elyiv, A.**, Melnyk, O., Fotopoulou, S., Gastaldello, F., Horellou, C., Pierre, M., Pacaud, F., Plionis, M., Sadibekova, T., Surdej, J., 2016. The XXL Survey. XII. Optical spectroscopy of X-ray-selected clusters and the frequency of AGN in superclusters. *A&A*, 592, id. A11 (11 pp.).

22. Fotopoulou, S., Pacaud, F., Paltani, S., Ranalli, P., Ramos-Ceja, M. E., Faccioli, L., Plionis, M., Adami, C., Bongiorno, A., Brusa, M., Chiappetti, L., Desai, S., **Elyiv, A.**, Lidman, C., Melnyk, O., Pierre, M., Piconcelli, E., Vignali, C., Alis, S., Ardila, F., Arnouts, S., Baldry, I., Bremer, M., Eckert, D., Guennou, L., Horellou, C., Iovino, A., Koulouridis, E., Liske, J., Maurogordato, S., Menanteau, F., Mohr, J. J., Owers, M., Poggianti, B., Pompei, E., Sadibekova, T., Stanford, A., Tuffs, R., Willis, J., 2016. The XXL Survey. VI. The 1000 brightest X-ray point sources. *A&A*, id. A5 (30 pp.).

23. Pierre, M., Pacaud, F., Adami, C., Alis, S., Altieri, B., Baran, N., Benoist, C., Birkinshaw, M., Bongiorno, A., Bremer, M. N., Brusa, M., Butler, A., Ciliegi, P., Chiappetti, L., Clerc, N., Corasaniti, P. S., Coupon, J., De Breuck, C., Democles, J., Desai, S., Delhaize, J., Devriendt, J., Dubois, Y., Eckert, D., **Elyiv, A.**, Etori, S., Evrard, A., Faccioli, L., Farahi, A., Ferrari, C., Finet, F., Fotopoulou, S., Fourmanoit, N., Gandhi, P., Gastaldello, F., Gastaud, R., Georgantopoulos, I., Giles, P., Guennou, L., Guglielmo, V., Horellou, C., Husband, K., Huynh, M., Iovino, A., Kilbinger, M., Koulouridis, E., Lavoie, S., Le Brun, A. M. C., Le Fevre, J. P., Lidman, C., Lieu, M., Lin, C. A., Mantz, A., Maughan, B. J., Maurogordato, S., McCarthy, I. G., McGee, S., Melin, J. B., Melnyk, O., Menanteau, F., Novak, M., Paltani, S., Plionis, M., Poggianti, B. M., Pomarede, D., Pompei, E., Ponman, T. J., Ramos-Ceja, M. E., Ranalli, P., Rapetti, D., Raychaudury, S., Reiprich, T. H., Rottgering, H., Rozo, E., Rykoff, E., Sadibekova, T., Santos, J., Sauvageot, J. L., Schimd, C., Sereno, M., Smith, G. P., Smolčić, V., Snowden, S., Spergel, D., Stanford, S., Surdej, J., Valageas, P., Valotti, A., Valtchanov, I., Vignali, C., Willis, J., Ziparo, F., 2016. The XXL Survey. I. Scientific motivations - XMM-Newton observing plan - Follow-up observations and simulation program. *A&A*, 592, id. A1 (16 pp.).

24. Lidman, C., Ardila, F., Owers, M., Adami, C., Chiappetti, L., Civano, F., **Elyiv, A.**, Finet, F., Fotopoulou, S., Goulding, A., Koulouridis, E., Melnyk, O., Menanteau, F., Pacaud, F., Pierre, M., Plionis, M., Surdej, J., Sadibekova, T., 2016. The XXL Survey XIV. AA Omega Redshifts for the Southern XXL Field, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 33, e001 (7 pp.).

25. Koulouridis, E., Plionis, M., Melnyk, O., **Elyiv, A.**, Georgantopoulos, I., Clerc, N., Surdej, J., Chiappetti, L., Pierre, M., 2014. X-ray AGN in the XMM-LSS galaxy clusters: no evidence of AGN suppression. *A&A*, 567, id. A83 (15 pp.).

26. Chiappetti, L., Clerc, N., Pacaud, F., Pierre, M., Guéguen, A., Paioro, L., Polletta, M., Melnyk, O., **Elyiv, A.**, Surdej, J., Faccioli, L., 2013. The XMM-Large Scale Structure catalogue - II. X-ray sources and associated multiwavelength data. *MNRAS*, 429, pp. 1652–1673.

27. Finet, F., **Elyiv, A.**, & Surdej, J., 2012. Detection of bright imaged quasar with Gaia. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*. 83, pp. 944-988.\*\*



28. Akhunov, T. A., Wertz, O., **Elyiv, A.**, Gaisin, R., Artamonov, B. P., Dudi-nov, V. N., Nuritdinov, S. N., Delvaux, C., Sergeev, A. V., Gusev, A. S., Bruevich, V. V., Burkhonov, O., Zheleznyak, A. P., Ezhkova, O., Surdej, J., 2017. Adaptive PSF fitting - a highly performing photometric method and light curves of the GLS H1413+117: time delays and micro-lensing effects, *MNRAS*, 465, pp. 3607–3621.

29. Giannini, E., Schmidt, R. W., Wambsganss, J., Alsubai, K., Andersen, J. M., Anguita, T., Bozza, V., Bramich, D. M., Browne, P., Calchi, Novati, S., Damerджи, Y., Diehl, C., Dodds, P., Dominik, M., **Elyiv, A.**, Fang, X., Figuera, Jaimes, R., Finet, F., Gerner, T., Gu, S., Hardis, S., Harpsøe, K., Hinse, T. C., Hornstrup, A., Hundertmark, M., Jessen-Hansen, J., Jørgensen, U. G., Juncher, D., Kains, N., Kerins, E., Korhonen, H., Liebig, C., Lund, M. N., Lundkvist, M. S., Maier, G., Mancini, L., Masi, G., Mathiasen, M., Penny, M., Proft, S., Rabus, M., Rahvar, S., Ricci, D., Scarpetta, G., Sahu, K., Schäfer, S., Schönebeck, F., Skottfelt, J., Snodgrass, C., Southworth, J., Surdej, J., Tregloan-Reed, J., Vilela, C., Wertz, O., Zimmer, F., 2017. MiNDSTeP differential photometry of the gravitationally lensed quasars WFI 2033-4723 and HE 0047-1756: microlensing and a new time delay, *A&A*, 597, 16.

30. Vavilova I. B. , Dobrycheva D. V. , Vasylenko M. Yu., **Elyiv A. A.**, Melnyk O. V. , and Khramtsov V. Machine learning technique for morphological classification of galaxies from the SDSS I. Photometry-based approach, *A&A* – 2021, 648, A122

31. Vavilova I. B., Khramtsov V. , Dobrycheva D. V., Vasylenko M. Yu., **Elyiv A. A.**, Melnyk O. V. Machine learning technique for morphological classification of galaxies from SDSS. II. The image-based morphological catalogs of galaxies at  $0.02 < z < 0.1$ , *Space Science & Technology* – 2022, 28, pp. 03-22.

32. Dobrycheva, D. V., Melnyk, O. V., Vavilova, I. B., **Elyiv, A. A.**, 2015. Environmental Density vs. Colour Indices of the Low Redshifts Galaxies, *Astrophysics*, 58, pp. 168-180.\*\*

33. Melnyk, O., Plionis, M., **Elyiv, A.**, Salvato, M., Chiappetti, L., Clerc, N., Gandhi, P., Pierre, M., Sadibekova, T., Pospieszalska-Surdej, A., Surdej, J., 2013. Classification and environmental properties of X-ray selected point-like sources in the XMM-LSS field. *A&A*, 557, id.A81 (14 pp.)

#### **Розділи у монографіях**

34. **Elyiv A.A.**, Melnyk O.V., Vavilova I.B. Dark and baryonic matter distribution in the sparsely populated galaxy groups, p.129–158. In: Vavilova I.B., Bolotin Yu.L., Boyarsky A.M. et al. Dark matter: Observational manifestation and experimental searches. K.: Akademperiodyka, 2015, 375 p., Vol. 3 of the “Dark energy and dark matter in the Universe”, in three volumes, Ed. V. Shulga. ISBN 978-966-360-287-5

35. Vavilova I., **Elyiv A.**, Dobrycheva D., Melnyk O. (2021). The Voronoi Tessellation Method in Astronomy. In: Zelinka I., Brescia M., Baron D. (eds). *Intelligent Astrophysics. Emergence, Complexity and Computation*, vol 39. Springer, Cham. Chapter 3, p. 57-79. ISBN 978-3-030-65867-0

36. Vavilova I., Dobrycheva D., Vasylenko M., **Elyiv A.**, Melnyk O. Multi-wavelength Extragalactic Surveys: Examples of Data Mining Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation, 1st Edition. Edited by Petr Skoda and Fathalrahman Adam. ISBN: 978-0-128-19154-5. Elsevier, 2020, p.307-323.

37. Vavilova I., Pakuliak L., Babyk I., **Elyiv A.**, Dobrycheva D., Melnyk O. Surveys, Catalogues, Databases, and Archives of Astronomical Data Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation, 1st Edition. Edited by Petr Skoda and Fathalrahman Adam. ISBN: 978-0-128-19154-5. Elsevier, 2020, p.57-102.



### Тези конференцій

38. Vavilova I. B., Elyiv A. A., Dobrycheva D. V., Melnyk O. V. Voronoi tessellation in a spatial galaxy distribution. Institute of Mathematics Conferences, Sixth Intern. Conf. on Analytic Number Theory and Spatial Tessellations, p. 68, 2018
39. Dobrycheva D., Melnyk O., Elyiv A., Vavilova I. Environmental density of galaxies from SDSS via Voronoi tessellation The Zeldovich Universe: Genesis and Growth of the Cosmic Web, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 2016, Volume 308, pp. 248-249
40. Elyiv A. X-ray surveys - Correlation function analyses of X-ray point-like sources in the XMM-LSS and XXL fields Half a Century of X-ray Astronomy, Proceedings of the conference held 17-21 September, 2012 in Mykonos Island, Greece. Online at <http://www.astro.noa.gr/xcosmo/>, id.107
41. Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B., Elyiv A.A. Environmental properties of galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS via the Voronoi tessellation. OAP, – 2014, 27, no 1, 26
42. Melnyk O.V., Elyiv A.A., Vavilova I.B. 3-D Voronoi's Tessellation as a Tool for Identifying Galaxy Groups. In: Galaxy Evolution Across the Hubble Time, Edited by F.Combes and J. Palous, Proceedings of the International Astronomical Union, 2007, Vol. 235, p. 223.
43. Melnyk O., Elyiv A. Clustering and environmental studies of AGN in the XMM - LSS and XXL fields. Астрономія та фізика космосу в Київському університеті. Міжнародна конференція в рамках VIII Всеукраїнського фестивалю науки 27-30 травня 2014 року. Київ, с.29.
44. Dobrycheva D., Vavilova I., Elyiv A., Melnyk O. Scaling properties of new sample of galaxies with  $z < 0.1$  from SDSS DR9. Астрономія та фізика космосу в Київському університеті. Міжнародна конференція в рамках VIII Всеукраїнського фестивалю науки, 27-30 травня 2014 року. Київ, с.18.

### Особистий внесок здобувача.

Результати дисертаційної роботи опубліковано в основних статтях [1–13], додаткових статтях [14–33], що висвітлюють тему дисертації, розділах у монографіях [34–37], а також в [38–44] тезах конференцій. У всіх статтях, де автор є першим автором, здобувачу належить постановка задачі, обґрунтування, основні розв'язки та висновки. Інше по статтям подано далі. В статтях [1, 2, 3] здобувач виконував усі розрахунки і комп'ютерні програми, написав текст статей. У статті [4] здобувач приймав участь у постановці задачі, виконав 90% розрахунків і програмного забезпечення, написав текст статті. В статті [5] здобувач приймав участь у постановці задачі, виконав 50% розрахунків та усі комп'ютерні програми, приймав участь у написанні тексту статті. В статті [6] здобувач виконав усі розрахунки і комп'ютерні програми, написав текст статті, приймав участь в обговоренні результатів. В статтях [7, 8] здобувач виконав 50% розрахунків і комп'ютерних програм, приймав участь в обговоренні результатів. У статтях [9, 10] брав участь у розрахунках, написанні тексту статей і обговоренні результатів, а також написав програмні коди. В статті [11] здобувач створив комп'ютерну програму, написав текст статті, приймав участь в обговоренні та інтерпретації результатів. В статті [12] здобувач брав участь у постановці задачі, створив комп'ютерну програму для метода Вороного вищих порядків, брав участь в обговоренні та інтерпретації результатів і написанні тексту статті. В статті [13] здобувач брав участь у створенні комп'ютерних програм, зокрема ієрархічного методу для виділення агломератів, обговоренні та інтерпретації результатів. В статті [14–26] здобувач брав участь в обговоренні та інтерпретації результатів в рамках колаборацій проектів XXL та ГАМА як один з координаторів цих проектів. В статті [27, 28] здобувач брав участь в обчисленнях, обговоренні та інтерпретації результатів. В статті [29] здобувач брав участь в



спостереженнях, обговоренні та інтерпретації результатів у якості колаборатора проекту MiNDSTer. В статті [30, 31] здобувач брав участь в обчисленнях, обговоренні та інтерпретації результатів та написанні статей. В статті [32] здобувач брав участь в постановці задачі, обчисленнях, а також в обговоренні та інтерпретації результатів. В статті [33] здобувач брав участь у створенні комп'ютерних програм, обговоренні та інтерпретації результатів.

### **Основні результати роботи**

Робота присвячена дослідженню космічних войдів, або порожнин – областей у Всесвіті з низькою концентрацією галактик, а також об'єктів великомасштабної структури Всесвіту – галактик, АЯГ, блазарів, скупчень галактик, міжгалактичного магнітного поля, оцінкам ефектів гравітаційного линзування на квазарах, методам визначення відстаней до галактик та виділення груп галактик.

1. Застосовано геометричний метод вписаних сфер та складено каталоги близьких войдів та гіпервойдів, а також було застосовано перколяційний метод кластеризації для виділення агломератів галактик Місцевого Всесвіту - невіріалізованих диффузних структур, що оточують войди та скупчення. Войди Місцевого Всесвіту мають типовий діаметр 15 Мпк та охоплюють близько 35% об'єму. Їх переважно населяють карликові галактики пізніх типів, які уникають геометричних центрів войдів, концентруються ближче до їх поверхонь та мають надлишок нейтрального водню у порівнянні із аналогічними галактиками у більш тісному оточенні.

2. Вперше запропоновано два методи пошуку войдів, які базуються на динамічних критеріях виділення порожнеч в лагранжевих координатах: LZVF, що використовує наближення Лагранжа-Зельдовича для відстеження зворотних у часі орбіт галактик та UVF – використовує метод послаблення кореляційної функції галактика-галактика для доведення розподілу об'єктів до однорідного. В обох випадках порожнечі визначаються як області негативної дивергенції зміщень, які можна розглядати як стоки трейсерів маси. Значимість сигналу дивергенції в центральних частинах войдів отриманих з обидвох шукачів на 60% вища ніж для надлишку профіля густини, отриманим геометричним методом.

3. Показано, що запропоновані шукачі войдів є перспективними альтернативними методами до існуючих та ефективними для покращення точності космологічних тестів, що базуються на статистиці войдів та вимірюванні асиметричностей накладених войдів – наприклад, тесту Алькока-Пачинського для уточнення космічних параметрів, насамперед  $\Omega_m$ .

4. Вперше було застосовано п'ять моделей машинного навчання для визначення модуля відстані галактик за їхніми спостережуваними даними, такими як видимі зоряні величини у кількох смугах, кутовий діаметр, поверхнева яскравість, показники кольору та координати галактик, променева швидкість, а також відомий модуль відстані. Було показано, що модель регресії нейронної мережі з двома прихованими шарами дає точніший результат, ніж інші моделі. Показано, що запропонована модель є конкурентоспроможною у порівнянні з загально-вживаними вторинними методами вимірювань модуля відстані, такими як метод фундаментальної площини (FP) та відношення Таллі-Фішера.

5. Вперше було проведено аналіз двоточкової кореляційної функції вибірки точкових джерел поля ХММ-LSS (11 кв. град) зі 94 спостережуваних полів ХММ-Newton ( $d=30'$ ), що містять понад п'ять тисяч точкових джерел у м'якому (0.5– 2 keV) та жорсткому (2–10 keV) діапазонах. Було знайдено, що амплітуда двоточкової кореляційної функції значно більша у жорсткому діапазоні, ніж у м'якому. Показано, що АЯГ із жорстким рентгенівським спектром (здебільшого АЯГ 2 типу) більш кластеризовані, ніж ті, що мають м'який спектр (АЯГ 1 типу).



Це може означати, що два основних типи АЯГ перебувають в різних середовищах, а саме АЯГ з м'яким рентгенівським спектром тяжіють до більш розріджених областей Всесвіту, якими є межі космічних войдів.

6. Ґрунтовне дослідження властивостей близького ( $< 0.4 - 1 \text{ Mpc}$ ) та далекого ( $> 1 \text{ Mpc}$ ) оточення рентгенівських АЯГ поля XXL до  $z = 1$  показало, що АЯГ обох типів можуть знаходитися як у тісному, так у розрідженому оточенні. Було знайдено, що рентгенівські АЯГ, що мають також радіо ототожнення є більш затьмареними (жорсткими у ренгені), ніж джерела, що не випромінюють в радіо діапазоні. Ніякої значної різниці в великомасштабному оточенні різних типів АЯГ (1 та 2 типів, радіо і не радіо об'єктами, світними і тм'яними) знайдено не було. Вперше було підтверджено, що АЯГ здебільшого розташовані у локальних надлишках густини, порівняно з рентгенівськими галактиками. Такі результати підтверджують універсальну схему АЯГ, але не виключають, що оточення може мати вплив на еволюцію АЯГ.

7. Вперше було застосовано геометричний метод Вороного вищих порядків для виділення галактик, пар та триплетів з вибірки огляду SDSS. Було знайдено, що галактики в ізольованих парах та триплетах мають світність у два рази вищу, ніж ізольовані галактики. Також, групи галактик у більш тісному оточенні - наприклад, що знаходяться у скупченнях, мають більшу дисперсію швидкостей та відношення маси до світності.

8. Було розраховано очікувані статистичні властивості для виявлення оптичних ототожнень множинних зображень квазарів з рентгенівського огляду XXL, враховуючи параметри спостережень супутника. Серед 11 тисяч квазарів очікується знайти  $\sim 20$  гравітаційно-лінзових квазарів з більше ніж двома зображеннями. Вперше візуальний перегляд оптичних  $g$ ,  $r$  та  $i$  зображень 5500 рентгенівських АЯГ, розташованих на 11 кв. градусах огляду XMM-LSS та аналіз кольорів об'єктів дозволив знайти 3 кандидати у лінзовані АЯГ.

9. Вперше знайдено, що властивості електромагнітної лавини та зображення блазарів в гамма-променях сильно залежать від магнітного поля в космічних войдах через які поширюється лавина, та від частки об'єму Всесвіту, зайнятої войдами. Така залежність може бути використана для виявлення та оцінки екстремально малого магнітного поля в космічних порожнинах. Було вивчено морфологічні властивості гамма зображень блазарів методами чисельних моделювань. Досліджено характеристики протяжного зображення, а саме форму, розподіл поверхневої яскравості та їхню залежність від характеристик міжгалактичного магнітного поля. Показано, що гамма випромінювання від протяжної частини зображення затримується близько на 10 млн. років по відношенню до прямих фотонів від джерела. Така довга затримка означає, що протяжні гало навколо можуть спостерігатися навколо блазарів, які вже не активні. Доведено, що електрон-позитронні пучки в космічних порожнинах є стабільними на масштабах набагато більших, ніж час розвитку електромагнітного каскаду. З цього випливає, що електрон-позитронні пучки від блазарів не впливають на міжгалактичне середовище.

#### **Запитання на семінарі стосувалися:**

- особливостей форми виділених войдів, розробленими динамічними шукачами войдів; відсотку зайнятого войдами простору Місцевого Всесвіту, виділеними геометричним методом; домінуючої форми виділених войдів; чи моделювалися профілі густини в войдах та чи виділялися оболонки підвищеної густини у войдах (д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Новосядлий Б.С., АО ЛНУ);



- пошуку кандидатів в гравітаційні лінзи, порівняння результатів автора щодо магнітних полів у войдах з іншими роботами та як розраховувалася стабільність пучків у войдах; що означає термін «точкові активні ядра галактик» в огляді XLL (д.ф.-м.н. Жданов В.І., АО КНУ);
- точності визначення модулей відстані первинними методами (чому за даними вибірки NED точність визначення модуля відстані за цефеїдами гірша, ніж за верхньою гілкою червоних гігантів), еволюції населеності войдів, критеріїв ізольованості галактичних систем (д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Пілюгін Л.С.);
- розподілу войдів за розмірами та їх космологічної еволюції; чи існує надлишок густини у войдах та чи перетинаються войди (д.ф.-м.н. член-кор. Костик Р.І);
- динамічних шукачів войдів: впливу пуасонівського шуму на точність моделі, а саме чи пов'язаний пуасонівський шум з кількістю галактик у войдах та полем швидкостей галактик для методу Лагранжа-Зельдовича; чи є ізольованою наша Галактика; чому навіть карликові галактики уникають войдів; які критерії для похибки визначення модуля відстані до галактик; властивостей активних ядер галактик як трейсерів великомасштабної структури Всесвіту і розподілу войдів зокрема (д.ф.-м.н. Берцик П.П.);
- термін «голубіші» краще замінити на «блакитніші» (к.ф.-м.н. Велесь О.А.).

**У обговоренні брали участь:** д.ф.-м.н. Берцик П.П., д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Вавилова І.Б., д.ф.-м.н. Жданов В.І. (АО КНУ), д.ф.-м.н. член-кор. НАНУ Новосядлий Б.С. (АО ЛНУ), д.ф.-м.н. член-кор. Костик Р.І.

**УХВАЛИЛИ:**

рекомендувати Спеціалізованій Вченій Раді по захисту дисертацій при ГАО НАН України прийняти до захисту докторську дисертацію Еліїва А.А.

«Космічні войди: Структура і фізичні процеси в них та навколо» для захисту за спеціальністю 01.03.02 – Астрофізика, радіоастрономія.

Керівник семінару  
к.ф.-м.н. Кравчук С.Г.

Секретар семінару  
к.ф.-м.н. Ковальчук Г.У.

