


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Фізичний факультет  
Кафедра астрофізики

**Затверджено**

На засіданні кафедри астрофізики  
фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 30 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри  Богдан МЕЛЕХ

**Силабус з навчальної дисципліни**

«Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ  
(Diagnostics and modeling of the nebular environments)»,  
що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»  
другого (магістерського) рівня вищої освіти  
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія.

<b>Назва дисципліни</b>	Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ (Diagnostics and modeling of the nebular environments)
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра астрофізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань — 10 Природничі науки Спеціальності — 104 Фізика та астрономія
<b>Викладачі дисципліни</b>	Лекції та проведення лабораторних занять: Мелех Богдан Ярославович, завідувач кафедри астрофізики, докт. фіз.-мат. наук.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:bohdan.melekh@lnu.edu.ua">bohdan.melekh@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/melekh-bohdan-yaroslavovych</a>
<b>Консультації по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації з використанням засобів <i>Microsoft Teams</i> .
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://teams.microsoft.com/_#/school/conversations/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5?threadId=19:98e6a32ab67a4cc1abbc09f9dc6df763@thread.tacv2&amp;ctx=channel">https://teams.microsoft.com/_#/school/conversations/%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5?threadId=19:98e6a32ab67a4cc1abbc09f9dc6df763@thread.tacv2&amp;ctx=channel</a> (команда “Diagnostics and modeling of the nebular environments” у <i>Microsoft Teams</i> ) <a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/diahnostyka-ta-modelyuvannya-svitinnya-nebularynyh-seredovysch">https://physics.lnu.edu.ua/course/diahnostyka-ta-modelyuvannya-svitinnya-nebularynyh-seredovysch</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ (Diagnostics and modeling of the nebular environments)» є нормативною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, ОНП «Теоретична фізика та астрофізика», яка викладається в I семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Курс покликаний викласти студентам основи фізики світіння небулярних середовищ (газових туманностей). Дуже низька концентрація небулярної плазми спричиняє важливість процесів випромінювання при переходах навіть з метастабільних рівнів, а тому така плазма відноситься до не-ЛТР середовищ. З цієї точки зору астрофізичні об’єкти (планетарні туманності, зони НП, дифузний іонізований газ тощо) є унікальними природними лабораторіями (які важко реалізувати в земних лабораторіях) для атомної фізики. Також з задачами фізики небулярних середовищ пов’язані такі напрямки досліджень в астрофізиці як визначення вмісту первинного гелію, тестування алгоритмів хемодинамічних симуляцій еволюції галактик різних типів та визначення параметрів їх обертання тощо. Отже, вирішення актуальних проблем фізики небулярних середовищ приведе до вагомих впливів на вищезгадані напрямки досліджень в інших галузях астрофізики. Тому вивчення цього курсу на сучасному рівні є надзвичайно корисним у підготовці студентів-магістрів спеціальності 104 Фізика та астрономія, здатних ще на етапі навчання підключитися до роботи наукових груп, що працюють над розв’язками як актуальних проблем сучасної астрофізики, так і задач атомної фізики у дуже відмінних від земних умовах.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<b>Головна мета дисципліни:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>дати студентам огляд елементарних процесів у небулярній плазмі,</li> <li>дати студентам поглиблений огляд методів діагностики світіння небулярного газу та моделювання світіння газопилових туманностей,</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• показати застосування діагностичних та модельних методів світіння небулярних середовищ різних типів до визначення їх хімічного складу та до задач атомної спектроскопії,</li> <li>• показати взаємозв'язок між центральними об'єктами газових туманностей різних типів та їх оболонки,</li> <li>• підготувати майбутніх магістрів до роботи у наукових групах, що займаються розв'язком актуальних проблем небулярної астрофізики вже під час навчання.</li> </ul> <p><b>Основні завдання дисципліни:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Навчити студентів розуміти основні елементарні процеси у небулярній плазмі.</li> <li>2. Дати студентам детальний опис сучасних діагностичних методів дослідження небулярних середовищ з описом їх переваг та недоліків.</li> <li>3. Описати сучасні методики визначення поля іонізуючого випромінювання у газових туманностях залежних і незалежних від моделі іонізуючого джерела.</li> <li>4. Описати сучасні алгоритми розрахунку фотоіонізаційних моделей світіння газових туманностей у різних геометріях.</li> <li>5. Описати сіткові модельні методи і їх застосування для виводу виразів для іонізаційно-корекційних множників, що враховують неспостережувані стадії іонізації у газових туманностях.</li> <li>6. Описати методи пошуку оптимальних фотоіонізаційних моделей світіння небулярних середовищ.</li> <li>7. Описати методики врахування наявності пилу у іонізованих і нейтральних частинах газопилових туманностей.</li> <li>8. Описати ударно-хвильовий механізм збудження світіння небулярного газу та способи оцінки його ефективності у реальних небулярних середовищах.</li> <li>9. Описати алгоритми хемодинамічних симуляцій процесів зореутворення і їх тестування за допомогою мультикомпонентного фотоіонізаційного моделювання.</li> <li>10. Показати як сучасні методи досліджень небулярних середовищ використовуються для виведення фізичних характеристик та хімічного складу небулярних середовищ.</li> <li>11. Показати прикладне застосування результатів дослідження фізичних характеристик та хімічного складу різних типів небулярних об'єктів в інших розділах фізики та астрофізики: дослідження заборонених ліній, визначення вмісту первинного гелію, градієнту розподілу вмісту важких елементів за об'ємом галактик тощо.</li> </ol>
<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Головатий В. В., Мелех Б. Я., Гаврилова Н. В. <i>Фізика світіння газових туманностей</i> : навч. посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013.</li> <li>2. Головатий В. В., Мелех Б. Я., Гаврилова Н. В. <i>Фізика газових туманностей</i>: лаб. практикум. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2006.</li> <li>3. Osterbrock D. E., Ferland G. J. <i>Astrophysics of the Gaseous Nebulae and Active Galactic Nebulae</i>. 2nd edition. Sausalito, CA: University Science Books, 2005.</li> <li>4. Aller L. H. <i>Gaseous Nebulae</i>. 2<sup>nd</sup> edition. Dordrecht: Reidel, 1983.</li> <li>5. Ferland G. J. <i>Hazy 1. A brief introduction to Cloudy. Introduction and commands (version 05.07)</i>. Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, 2005. <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a></li> <li>6. Ferland G. J. <i>Hazy 2. A brief introduction to Cloudy 96. Computational methods</i>. Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, 2005. <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a></li> </ol>

	<p>7. Ferland G. J. <i>Hazy 3. A brief introduction to Cloudy 96. Results, environment.</i> Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, 2005. <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a></p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dopita M. A., Sutherland R. S. <i>Diffuse Matter in the Universe.</i> Springer, 2001.</li> <li>2. Melekh B., Recchi S., Hensler G., Buhajenko O. "Photoionization analysis of chemodynamical dwarf galaxies simulations." <i>Mon. Not. R. Astron. Soc.</i> 2015. Vol. 450. P. 111–127. <a href="https://doi.org/10.1093/mnras/stv569">https://doi.org/10.1093/mnras/stv569</a>.</li> <li>3. Мелех Б. Я., Кузьмак А. Р. "Фотойонізаційне моделювання оболонок планетарних туманностей з урахуванням пилу. I. Вплив пилу на емісійний спектр планетарних туманностей." <i>Журн. фіз. дослідж.</i> 2012. Т. 16, №1/2. Стаття 1902. <a href="https://doi.org/10.30970/jps.16.1902">https://doi.org/10.30970/jps.16.1902</a>.</li> <li>4. Кузьмак А.Р., Мелех Б.Я. "Фотойонізаційне моделювання оболонок планетарних туманностей з урахуванням пилу. II. Визначення мас небулярної оболонки та її зорі-попередниці за електронною температурою у випадку однорідного просторового розподілу небулярної речовини." <i>Журн. фіз. дослідж.</i> 2020. Т. 24, №1. Стаття 1905. <a href="https://doi.org/10.30970/jps.24.1905">https://doi.org/10.30970/jps.24.1905</a>.</li> <li>5. Koshmak I. O., Melekh B. Ya. "The primordial helium abundance determination using multicomponent photoionization modelling of low-metallicity H II regions." <i>Adv. Astron. Space Phys.</i> 2018. Vol. 8, Issue 1. P. 16–23. <a href="http://aasp.kiev.ua/volume8/016-023-Koshmak-electr.pdf">http://aasp.kiev.ua/volume8/016-023-Koshmak-electr.pdf</a>.</li> <li>6. Melekh B. Ya., Demchyna A. V., Holovatyı V. V. "Envelope masses and distances to planetary nebulae: IC 5117 and NGC 7293." <i>Kinem. Phys. Celest. Bodies.</i> 2015. Vol. 31, Issue 2. P. 73–81. <a href="https://doi.org/10.3103/S088459131502004X">https://doi.org/10.3103/S088459131502004X</a>.</li> <li>7. Buhajenko O., Melekh B. "Photoionization modelling of planetary nebulae with realistic density distribution using detailed method for diffuse radiation calculation and Outward Only approximation." <i>Adv. Astron. Space Phys.</i> 2018. Vol. 8, Issue 1–2. P. 3–8. <a href="http://aasp.kiev.ua/volume8/003-008-Buhajenko-electr.pdf">http://aasp.kiev.ua/volume8/003-008-Buhajenko-electr.pdf</a>.</li> </ol> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a></li> <li>2. <a href="https://ism.obspm.fr">https://ism.obspm.fr</a></li> <li>3. <a href="https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm">https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm</a></li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій та 16 години лабораторних занять, а також 58 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен мати такі ЗК та СК:</p> <p><b>ЗК01.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК02.</b> Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p><b>ЗК04.</b> Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p><b>ЗК05.</b> Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p><b>ЗК06.</b> Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p><b>ЗК07.</b> Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p><b>СК01.</b> Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p><b>СК02.</b> Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p>

**СК04.** Здатність комунікувати з колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

**СК05.** Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

**СК08.** Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

**СК10.** Здатність здійснювати наближену діагностику фізичних умов у різноманітних астрофізичних системах на основі результатів астрономічних спостережень.

**СК11.** Здатність розуміти сучасні моделі різноманітних астрофізичних систем та вміти критично їх аналізувати на основі даних астрономічних спостережень.

**СК13.** Здатність будувати спрощені моделі фізичних явищ та віднаходити аналогії для міждисциплінарних застосувань фізичних методів дослідження.

та отримати такі ПРН:

**РН01.** Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

**РН02.** Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

**РН04.** Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.

**РН05.** Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

**РН06.** Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.

**РН07.** Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у форму публікації чи усної доповіді.

**РН08.** Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.

**РН10.** Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані.

**РН11.** Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

**РН12.** Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване

	<p>програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.</p> <p><b>РН13.</b> Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.</p> <p><b>РН15.</b> Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження.</p> <p><b>РН16.</b> Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії.</p> <p><b>РН19.</b> Знати про походження хімічних елементів у Всесвіті і розуміти чинники зміни їх вмісту, а також їх роль у формуванні зоряних та небулярних спектрів, вміти розв'язувати найпростіші задачі з визначення йонного та хімічного вмісту зір і небулярних середовищ.</p> <p><b>РН20.</b> Володіти сучасними методами діагностики та моделювання світіння небулярних середовищ і зоряних атмосфер на основі даних астрономічних спостережень.</p>
<b>Ключові слова</b>	Небулярні середовища, планетарні туманності зони НП, міжзоряне середовище, діагностика, фотоіонізаційні моделі світіння.
<b>Формат дисципліни</b>	Очний
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	іспит в кінці семестру усний
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення дисципліни студенти повинні володіти основами знань з атомної фізики, квантової механіки, гідродинаміки, практичної та загальної астрофізики, а також мати навички роботи та програмування під ОС Linux.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, дискусія, лабораторні роботи, підготовка доповідей.
<b>Необхідне обладнання</b>	Персональний комп'ютер, операційна системи Linux, проєктор, відкриті спеціальні пакети комп'ютерних програм для моделювання: 1) Програма CLOUDY для моделювання світіння небулярних середовищ: <a href="https://gitlab.nublado.org/cloudy/cloudy/-/wikis/home">https://gitlab.nublado.org/cloudy/cloudy/-/wikis/home</a> ; <a href="http://www.nublado.org">http://www.nublado.org</a> 2) Програма Starburst99 для еволюційно-популяційного синтезу областей зореутворення: <a href="https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm">https://www.stsci.edu/science/starburst99/docs/default.htm</a> 3) Програма для моделювання світіння дифузних хмар, фото-дисоційованих середовищ та темних хмар: <a href="https://ism.obspm.fr/pdr.html">https://ism.obspm.fr/pdr.html</a>
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 лабораторних робіт (8 балів + 4 бали + 2 роботи×7 балів + 4 бали = 30 балів): 30% сумарної оцінки; максимальна кількість балів для різних лабораторних — різна, відповідно до об'єму роботи, яку необхідно виконати. Тому розподіл балів зручніше подавати у відсотках від максимальної кількості балів, які можна отримати за відповідну лабораторну роботу: 91–100% — робота виконана повністю правильно (90%) + макс. 10% за акуратність оформлення звіту; 51–90% — здійснення програмної реалізації алгоритму методу, або ж</li> </ul>

налаштування вхідного файлу для розрахунку за допомогою наявного програмного забезпечення (50%) + макс. 40% за здійснення розрахунків та аналіз отриманих результатів;

1–50% — здійснення програмної реалізації алгоритму методу, або ж налаштування вхідного файлу для розрахунку за допомогою наявного програмного забезпечення

0% — робота не виконана, або виконана повністю неправильно;

- контрольні роботи (модулі): 20% семестрової оцінки; загалом — дві роботи, оцінка кожної — максимум 10 балів; кожна контрольна містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється за 5-бальною шкалою, відповідно до таких критеріїв:

5 — питання викладено правильно і повністю;

3–4 — повнота викладення недостатня;

1–2 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або ж низький;

0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді.

- іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50: два розширені теоретичні завдання (макс. 10 балів кожне), одного розширеного практичного (макс. 20 балів) та 10 тестових запитань (макс. 10 балів); теоретичні питання оцінюються за такою шкалою:

10 — питання викладено правильно і повністю,

6–8 — повнота викладення недостатня,

3–5 — рівень володіння матеріалом частковий,

1–2 — рівень володіння матеріалом дуже низький, або низький,

0 — студент повністю неправильно виклав питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді;

розширене практичне завдання оцінюється за такою шкалою:

18–20 — робота виконана правильно та задовільно, добре, або гарно оформлена,

11–17 — робота виконувалася спочатку правильно, але на якомусь етапі аналізу отриманих результатів виникла помилка,

1–10 — програма для реалізації завдання, або ж формування потоку вхідних даних для наявного програмного забезпечення, містить помилки, якщо бал менший 10,

0 — завдання невиконане або виконане повністю неправильно.

Додаткові бали (до 10 включно) можна отримати: написання тез, статті, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.

Підсумкова максимальна кількість балів — 100.

**Академічна доброчесність** здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.

**Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

**Література.** Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її

	<p>передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях та контрольних роботах. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Питання до екзамену</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Планетарні туманності, зони III, оболонки Нових, залишки Наднових, оболонки симбіотичних зір та їх спектроскопія. / Planetary nebulae, H II regions, Nova shells, remnants of supernovae, shells of symbiotic stars, and their spectroscopy.</li> <li>2. Небулярна плазма. / Nebular plasmas.</li> <li>3. Елементарні процеси у небулярній плазмі. / Elementary processes in nebular plasma.</li> <li>4. Теорія Занстра. Визначення електронної температури за бальмерівським стрибком. / Zanstra's theory. Determination of electronic temperature through the Balmer jump.</li> <li>5. Визначення іонного вмісту за інтенсивностями рекомбінаційних ліній. / Determination of ionic abundances through the intensities of recombination lines.</li> <li>6. Механізм виникнення заборонених та інтеркомбінаційних ліній. / Mechanism of the occurrence of forbidden and intercombination lines.</li> <li>7. Розрахунок емісійного лінійчатого спектру. / Calculation of the emission line spectrum.</li> <li>8. Урахування ефектів переносу випромінювання в резонансних лініях. / Inclusion of radiation transfer effects in resonant lines.</li> <li>9. Флуоресцентні процеси. / Fluorescent processes.</li> <li>10. Двобонний Те-метод. / Two-zone Te-method.</li> <li>11. Методи калібрування хімічного вмісту за інтенсивностями сильних ліній. / Methods of calibrating chemical abundance from the intensities of strong lines.</li> <li>12. Метод перетину кривих Ne-Te та його реалізація в програмі DIAGN. / The Ne-Te curve-crossing method and its implementation in the DIAGN program.</li> <li>13. Іонізаційно-корекційні множники. / Ionization-correction factors.</li> <li>14. Іонізуюче випромінювання від областей зореутворення та його реалізація в програмі Starburst99. / Ionizing radiation from star-forming regions and its implementation in the Starburst99 code.</li> <li>15. Методи NLEHII та NLEPN. / NLEHII and NLEPN methods.</li> <li>16. Час встановлення іонізаційно-рекомбінаційної рівноваги у небулярній плазмі. / The relaxation time to ionization-recombination equilibrium in nebular plasmas.</li> <li>17. Врахування процесів іонізації та рекомбінації і визначення іонного вмісту. / Incorporating ionization and recombination processes and determining ionic abundances.</li> <li>18. Рівняння енергетичного балансу та визначення електронної температури у небулярному середовищі. / The energy balance equation and determination of the electron temperature in a nebular environment.</li> <li>19. Пряме та дифузне іонізуюче випромінювання. Наближені методи розрахунку дифузного іонізуючого випромінювання. / Direct and diffuse ionizing radiation. Approximate methods for calculating diffuse ionizing radiation.</li> </ol>

	<p>20. Детальний розрахунок дифузного іонізуючого випромінювання. / Detailed calculation of diffuse ionizing radiation.</p> <p>21. Застосування методу Монте Карло для розрахунку дифузного іонізуючого випромінювання. / Application of the Monte Carlo method for calculating diffuse ionizing radiation.</p> <p>22. Статичні моделі світіння небулярних середовищ. / Static photoionization modeling of a nebular environments.</p> <p>23. Стаціонарні моделі світіння небулярних середовищ. / Stationary photoionization modeling of a nebular environments.</p> <p>24. Нестационарні моделі світіння небулярних середовищ. / Non-stationary photoionization modeling of a nebular environments.</p> <p>25. Ударні хвилі та їх врахування під час моделювання світіння небулярних середовищ. / Shocks and their inclusion in modeling the nebular environments.</p> <p>26. Умови формування та існування пилинок. / Conditions for the formation and survival of dust particles.</p> <p>27. Врахування наявності пилинок під час моделювання світіння небулярних середовищ. / Incorporating the presence of dust particles in modeling of nebular environments.</p> <p>28. Вплив пилу на спостережуваний спектр. / Dust impact on the observed spectrum.</p> <p>29. Сіткове фотоіонізаційне моделювання та визначення хімічного вмісту небулярних середовищ. / Grid photoionization modeling and determination of the chemical abundances in nebular environments.</p> <p>30. Пошук оптимальних фотоіонізаційних моделей світіння небулярних середовищ та визначення мас і відстаней до планетарних туманностей, визначення іонізаційної структури та поля іонізуючого випромінювання у зонах НІІ, що оточують області зореутворення. / Search for optimal photoionization models of nebular environments and determination of masses and distances to planetary nebulae, determination of the ionization structure and the field of ionizing radiation in H II regions surrounding star-forming regions.</p> <p>31. Автомодельна структура бульбашки супервітру і її використання під час моделювання світіння зон НІІ навколо областей зореутворення. / Self-similar structure of a superbubble and its application in modeling of H II regions around star-forming knots.</p> <p>32. Визначення вмісту первинного (догалактичного) гелію та темпу його збагачення в процесі зоряної хімічної еволюції речовини. / Determination of the primordial helium abundance and the rate of its enrichment during the stellar chemical evolution of matter.</p> <p>33. Фотоіонізаційний аналіз результатів хемодинамічних симуляцій карликової галактики з активним зореутворенням. / Photoionization analysis of the chemodynamical simulations of dwarf galaxy with active star-forming processes.</p> <p>34. Визначення вмісту важких елементів за оптичними рекомбінаційними лініями. / Determination of heavy element abundances using optical recombination lines.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Діагностика та моделювання світіння небулярних середовищ  
(Diagnostics and modeling of the nebular environments)\*

Тиж- день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
<b>Змістовий модуль 1.</b>			
1–8	<p>General characteristics and types of nebular environments in the Universe, their spectroscopy and discovery history. Elementary processes in nebular plasmas. Recombination spectrum of nebular environments. Forbidden emission lines and calculation of level populations in nebular plasmas. Methods for the nebular gas diagnostics: classical, empirical, parametric and DIAGN. Determination of energy distribution in the spectrum of ionizing radiation of nuclei of nebular environments.</p> <p>[Загальні характеристики та види небулярних середовищ у Всесвіті їх спектроскопія та історія відкриття. Елементарні процеси у небулярній плазмі. Рекомбінаційний спектр небулярних середовищ. Заборонені лінії та розрахунок заселеностей рівнів у небулярній плазмі. Методи діагностики світіння небулярного газу: класичний, емпіричний, параметричний методи та DIAGN. Визначення розподілу енергії в спектрі іонізуючого випромінювання ядер небулярних середовищ. Актуальні проблеми фізики небулярних середовищ]</p> <p><b>Література:</b> Б1–Б4, Д1, Д5.</p>	<p>Лекції — 8 год, лаб. заняття — 7 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 29 год.</p>	8 тижнів
<b>Змістовий модуль 2.</b>			
9–16	<p>System of ionization-recombination equilibrium equations and energy balance one. The equation for radiative transfer of direct and diffuse ionizing radiation. Static, stationary and non-stationary photoionization models of nebular environments. Dust and molecules in nebular plasmas. Current problems in the physics of nebular environments.</p> <p>[Система рівнянь іонізаційно-рекомбінаційної рівноваги та рівняння енергетичного балансу. Рівняння переносу прямого та дифузного іонізуючого випромінювання. Статичні, стаціонарні та нестаціонарні моделі світіння небулярних середовищ. Пил та молекули у небулярній плазмі. Актуальні задачі фізики небулярних середовищ]</p> <p><b>Література:</b> Б1, Б3, Б5–Б7, Д1–Д7.</p>	<p>Лекції — 8 год, лаб. заняття — 7 год, контрольна робота — 1 год, самостійна робота — 29 год.</p>	8 тижнів

\* Поклики на літературу подано відповідно до переліку базової (Б) та допоміжної (Д) літератури.