

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Інституту фізики НАН України

член-кор. НАН України

доктор фіз.-мат.наук



 Бондар М.В.  
"5" липня 2022р.

### ВИТЯГ

з протоколу № 2(1023) від 29 червня 2022р. засідання розширеного наукового семінару Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики НАН України

#### Присутні:

- Голова засідання - ст. наук. співроб. Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., Ковальчук О.В.;

з Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики НАН України:

- завідувач Відділу, кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., Вербицький А.Б.;
- Учений секретар Інституту фізики НАН України, кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., Манжара В.С.;
- ст. наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., Горішний М.П.;
- провідн. наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., Пирятинський Ю.П.;
- ст. наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, старший дослідник, Нич А.Б.;
- ст. наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, старший дослідник Бойко О.П.;
- ст. наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, Огниста У.М.;

- молодший наук. співроб., кандидат фіз.-мат. наук, Севрюкова М.М.;
- молодший наук. співроб., Вовк В.Е.;
- аспірант, Малиновський М.Б.;

#### **Запрошені:**

з Відділу фотоактивності Інституту фізики НАН України:

- Директор Інституту фізики НАН України, завідувач Відділу, чл.-кор. НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. Бондар М.В.;
- провідн. наук. співроб., доктор фіз.-мат. наук, проф., Остапенко Н.І.;

з інших відділів Інституту фізики НАН України:

- в.о. завідувача Відділу нелінійної оптики Інституту фізики НАН України, гол. наук. співроб., доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. Бондар М.В.;
- провідн. наук. співроб. Лабораторії прикладної сегнетоелектрики Інституту фізики НАН України, доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. Морозовський М.В.

З присутніх – 5 докторів фіз.-мат. наук та 8 кандидатів фіз.-мат. наук – фахівців за профілем поданої на розгляд дисертації.

#### **Порядок денний:**

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта Відділу молекулярної фотоелектроніки Костецького А.О. на тему: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі», поданого на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» щодо його рекомендації для попереднього розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді. Тема дисертаційного дослідження затверджена протоколом № 3 засідання Вченої ради Інституту фізики НАН України від 15 лютого 2018 року та уточнена протоколом № 13 засідання Вченої ради Інституту фізики НАН України від 14 листопада 2021 року.

Науковий керівник - кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук.  
співроб., Вербицький А.Б.

**Слухали:** Доповідь молодшого наук. співроб. Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики НАН України, Костецького Антона Олеговича за матеріалами дисертаційної роботи “Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Доповідач обґрунтував вибір теми дослідження, визначив мету та завдання, об’єкт та предмет дослідження, методи дослідження, вказав наукову новизну отриманих результатів, науково-практичну значущість роботи, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист.

Дисертант вказав на необхідність пошуку нових матеріалів серед молекулярних композитів і органічних напівпровідників для застосування в області органічної електроніки, зокрема в розробці електронних пристроїв, таких як OLED, OFET, органічних сонячних елементів, органічних лазерів, пристроїв пам'яті, хімічних сенсорів тощо.

Для досягнення цієї мети було запропоновано нанокластерний біополімер меланін завдяки його унікальним фізико-хімічним і оптичним властивостям. Фундаментальне розуміння функціонування меланіну і те, як його молекулярна структура впливає на макроскопічні властивості є важливим для його застосування. Тому було встановлено зв'язок між структурами та властивостями меланінів різного походження.

Дисертант доповів про комплексне експериментальне дослідження фотоелектронних властивостей, насамперед фотолюмінісценції, біополімеру меланіну природного і синтетичного походження та композитів на їх основі, встановлення природи електронних переходів та механізмів що їх зумовлюють, дослідження кінетичних властивостей окремих смуг ФЛ та часів життя збуджених станів, що визначають таке свічення.

Здобувачем було проведено дослідження розчинів природного меланіну рослинного походження, отриманих шляхом екстракції та синтетичного меланіну а також композитів меланіну з ПАР додецилбензолсульфонатом натрію (SDBS), поліметиновим барвником астрафлосином, акцепторами електронів TNF та PCBM при різних розчинниках, концентраціях і температурах. Результати досліджень розширюють наявні наукові знання щодо фундаментальних властивостей нанокластерного біополімеру меланіну. Зокрема, ідеться про присутність в нанокластерах меланіну колективної моделі збудження через екситони Френкеля (EF) та екситони з переносом заряду (CT екситони).

Особливу увагу дисертант приділив практичному використанню отриманих результатів, а саме: встановлення природи ФЛ, кінетики затухання окремих смуг ФЛ і часів життя структурованого біополімеру меланіну, що відкриває можливість використання цього матеріалу в молекулярній електроніці, зокрема для сенсibilізації надчутливих фотолюмінісцентних сенсорів. Було знайдено і досліджено компоненти, здатних взаємодіяти з меланінами, зокрема раніше не досліджені композити, вивчення яких має велике значення для кращого розуміння електронних властивостей різних типів меланінів, а також може посилити потенціал для їх практичного застосування і можливого напрямку досліджень в майбутньому.

По завершенню доповіді Костецького А.О. присутніми були поставлені такі запитання:

**Доктор фіз.-мат. наук, Морозовський М.В.:** Маю низку запитань. Слайд № 15. До яких саме молекулярних одиниць досліджуваного природного і синтетичного меланіну, що є сумішшю DHI і DHICA з різною структурою зв'язків в моно-, ди- та оліго- мерах, можна віднести наведені піко- та нано-секундні часи життя?

**Костецький А.О.:** При оптичному збудженні нанокластерів меланіну спочатку утворюються екситони Френкеля в межах молекулярних дисків. Деякі з цих екситонів переходять у випромінювальний стан. Інша частина молекулярних екситонів без випромінювання трансформується у вільні та

автолокалізовані екситони з переносом заряду (СТ екситони). Пікосекундний діапазон часів життя PL характерний для випромінювального часу життя вільних екситонів, тоді як наносекундний діапазон часів життя характерний для локалізованих СТ екситонів.

**Доктор фіз.-мат. наук, Морозовський М.В.:** Слайд № 17. Якого типу індуковані мікроструктурні трансформації DH1- і DH1CA- меланіну можна очікувати в околі молекул SDBS, астрафлосину, PCBM і TNF, що мають різну конфігурацію і донорно-акцепторні властивості?

**Костецький А.О.:** Ми побачили, що між макромолекулами меланіну і вказаними компонентами композитів утворюються донорно-акцепторні (ДА) комплекси з перенесенням заряду. При цьому відповідні домішки по-різному впливають на мікро- і макро- структурні особливості композитів. Якщо мова йде про композит меланін – SDBS, то утворюється ДА комплекс між макромолекулами меланіну і SDBS. Меланін і астрафлосин, з одного боку, утворюють ДА комплекси між катіонами барвника і аніонами меланіну, а з іншого боку, молекули поліметинового барвника адсорбуються на поверхні меланіну, утворюючи різні типи наноагрегатів. Композит меланін-TNF формують ДА комплекс з перенесенням заряду на полімерний хромофор меланіну з утворенням поліметинової структури в  $\pi$ -орбітальній системі.

Зрештою, додавання до розчину акцепторного матеріалу PCBM призводить до гасіння ексімерного випромінювання меланіну, утворення слабких комплексів з перенесенням заряду (СТ- комплексів) між моно- та олігомерними складовими меланіну з PCBM та подальшою агрегацією молекул PCBM на поверхні нанокластерів меланіну з утворенням осаду.

**Доктор фіз.-мат. наук, Морозовський М.В.:** Про що свідчить характерний для H-агрегатів «блакитний» зсув максимуму ФЛ (збільшення енергії кванта ФЛ) при зниженні температури на слайді № 21 і при додаванні TNF (слайд № 24)?

**Костецький А.О.:** Блакитний зсув на слайді № 21 свідчить про те, що може утворюватися стопкова структура подібна (за електронними

властивостями) до Н-агрегатів. Блакитний зсув при додаванні TNF до розчину меланіну зумовлений утворенням міжмолекулярних СТ- комплексів.

**Доктор фіз.-мат. наук, Остапенко Н.І.:** Дякую за доповідь. В чому полягає хімічна розупорядкованість молекулярних структур меланіну?

**Костецький А.О.:** Модель хімічного розупорядкування припускає різні хімічні форми в меланіні. Наприклад, існують різні мономерні одиниці, різні окисно-відновні форми, олігомери, що складаються з різної кількості мономерних одиниць, які полімеризується на різних ділянках, тощо.

**Доктор фіз.-мат. наук, Остапенко Н.І.:** Скажіть будь ласка, яка модель характерна для меланіну, полімерна чи нанокластерна і в чому, на Вашу думку, полягає їх різниця?

**Костецький А.О.:** Меланін не є традиційною гетерополімерною сполукою. Він має тенденцію утворювати олігомерні структури з 3-5 мономерних ланок у вигляді молекулярних дисків, які потім формують стек одні з одними через  $\pi$ - $\pi$  спряжену взаємодію, тобто можна сказати, що для нього характерна нанокластерна модель. Він є полімером у тому сенсі, що на мікроструктурному рівні меланіни різного походження формують спряжені ланки, з мономерних одиниць DHI та DHICA, при чому, наприклад, від співвідношення DHI/DHICA залежить ступінь полімеризації, для DHI-меланіну він вищий.

**Кандидат фіз.-мат. наук, Горішний М.П.:** Дякую за доповідь. На мій погляд, за отриманими результатами робота є завершеною науковою роботою і відповідає вимогам наукового рівня доктор філософії. У мене є наступне питання - чи спостерігали ви край оптичного поглинання в короткохвильовій частині спектру, чи крива спектру поглинання має континуальний характер?

**Костецький А.О.:** Дякую. Так, спектр поглинання меланіну має континуальний вигляд, завдяки якраз його хімічному і геометричному розупорядкуванню, тобто інтенсивність спектру плавно збільшується зі зменшенням довжини хвилі.

**Кандидат фіз.-мат. наук, Огниста У.М.:** Є зауваження по загальних висновках – логічніше було б перенести перший висновок в кінець, оскільки

там підбивається підсумок про перспективу до застосування меланіну і композитів на його основі, а також його фізико-хімічним властивостям. Також потрібно більш детально сформулювати висновок під номером 2 про оптичне поглинання меланіну, з описом оптичної ширини забороненої зони природного і синтетичного меланінів, тобто більше конкретизувати, що було зроблено для меланіну в плані оптичного поглинання.

**Костецький А.О.:** Так, я повністю з Вами погоджуюсь і врахую це в дисертації і в наступній доповіді.

**Кандидат фіз.-мат. наук, завідувач відділу МФЕ Вербицький А.Б.:** Є загальне зауваження стосовно доповіді. Потрібно скоротити вступну частину, щоб вкластися у регламент. Також потрібно скоротити і змінити доповідь, що стосується проміжних висновків. Окрім рисунків, їх необхідно показувати в основних положеннях доповіді, щоб уникнути повторів.

**Костецький А.О.:** Так, я з Вами повністю погоджуюсь і це виглядає досить логічним, обов'язково це виправлю.

**Кандидат фіз.-мат. наук, Пирятинський Ю.П.:** Дякую за доповідь. На мою думку, необхідно побудувати план доповіді, тобто виділити окремий слайд саме на схему доповіді, щоб було більш зрозуміло про що йде мова. Тобто результати дослідження водорозчинного меланіну, агрегованої форми меланіну, взаємодію з поліметиновим барвником, донорно-акцепторну взаємодію, фундаментальні властивості. Також необхідно додати пункт про особистий вклад в проведених дослідженнях.

**Костецький А.О.:** Дякую, врахую це в своїй доповіді.

**Кандидат фіз.-мат. наук, Нич А.Б.:** Скажіть, будь ласка, меланін у вказаних композитах виступає в ролі донора чи акцептора?

**Костецький А.О.:** В залежності від ступеня окиснення, меланін може діяти як донор або акцептор електронів. У даному випадку, меланін виступає донором електронів.

**В обговоренні дисертації також взяли участь:**

- чл.-кор. НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. Бондар М.В.;
- доктор фіз.-мат. наук, проф., Остапенко Н.І.;

які відзначили, що дисертація Костецького Антона Олеговича є завершеною науковою працею, зміст дисертації відповідає поставленій меті, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені повністю і відповідають положенням у висновках. Структура і обсяг роботи відповідають встановленим вимогам.

Основні положення дисертації, наукові та практичні результати розкриті повною мірою, характеризуються обґрунтованістю та логічною завершеністю, формують науковий доробок здобувача, що відображений в опублікованих працях за темою дисертації.

Також було озвучено **висновок наукового керівника** – старшого наукового співробітника, кандидата фізико-математичних наук, завідувача Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики НАН України **Вербицького Анатолія Борисовича**: Костецький А.О. приймав активну участь у виборі теми дисертаційних досліджень, виконав усі заплановані наукові дослідження у межах навчання в аспірантурі та провів комплекс досліджень з відповідною апробацією результатів.

Під час роботи над дисертацією Костецький А.О. оволодів сучасними методами і методиками досліджень фотоелектронних процесів у молекулярних кристалах. Зокрема, засвоїв методики вимірювань спектрів поглинання на спектрофотометрах Hitachi та Shimadzu, стаціонарних спектрів фотолюмінісценції на високочутливих спектрофотометрах Ocean Optics Maya2000 PRO і Ocean Optics 2000+ES, а також часорозділених спектрів ФЛ на новітньому вимірювальному комплексі Edinburg Instruments Lifespec II з відповідним ПЗ F900.

Він брав активну участь в проведенні досліджень фотоелектронних властивостей, насамперед, фотолюмінісценції, біополімеру меланіну природного і синтетичного походження та композитів на їх основі, встановлення природи електронних переходів, дослідження кінетичних властивостей ФЛ та часів життя збуджених станів.

Результати роботи доповідались на 4х міжнародних наукових конференціях та опубліковано у 4х статтях у міжнародних журналах, що

індексуються у Scopus, з них 3 роботи належать до квартилю Q3, одна – до квартилю Q4, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Під час навчання в аспірантурі Костецький А.О. зарекомендував себе кваліфікованим спеціалістом, ініціативним науковцем, здатним самостійно ставити та розв'язувати практичні задачі, аналізувати та узагальнювати отримані результати, порівнювати їх із наявними літературними даними.

Вважаю, що дисертаційна робота Костецького А.О. за темою: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі», що подається до захисту є завершеною науковою роботою, яка за своєю актуальністю наукової новизини і практичним значенням відповідає вимогам освітньо-науковій програмі PhD рівня, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» 10 «Природничі науки».

#### **Ухвалили:**

Прийняти висновок щодо дисертаційної роботи Костецького Антона Олеговича на тему: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі».

### **ВИСНОВОК**

**Інституту фізики НАН України**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Костецького Антона Олеговича на тему: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі», поданої на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»**

**Оґрунтування вибору теми дисертаційного дослідження.**

Молекулярні наноккомпозити в даний час широко досліджуються через свою перспективність у розвитку молекулярної електроніки.

Наприклад, актуальною була і залишається задача створення швидкодіючих портативних сенсорів небезпечних речовин. Одним із перспективних класів сенсорів є фотоелектронні, зокрема люмінесцентні сенсори. Під дією небезпечної речовини такий сенсор суттєво змінює свої фотоелектронні властивості, що дає можливість фіксувати навіть малі концентрації небезпечних домішок у навколишньому середовищі.

Використання в якості активного компонента у даному сенсорі молекулярних комплексів та нановимірних структур дозволяє досягати кращих параметрів сенсора за рахунок цілеспрямованого хімічного синтезу макромолекул та використання розмірного ефекту.

Пошук нових макромолекулярних комплексів (поліметинових барвників) для використання у молекулярній електроніці, зокрема детектування небезпечних речовин, потребує ґрунтовного дослідження електронних властивостей цих барвників, а також механізмів взаємодії молекул з нановимірною речовиною у композиті.

Зокрема, для цього необхідно дослідити фізичні параметри компонентів композиту, вплив нанорозмірного ефекту, цілеспрямованого впорядкування, самоорганізації під дією зовнішніх впливів тощо.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась у відділі молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики Національної академії наук України в рамках наукової теми: 1.4. В/186 "Розробка та дослідження нових багатофункціональних матеріалів на основі низьковимірних молекулярних кристалів" (2017-2021), номер державної реєстрації 0117U002610.

#### **Мета і завдання дослідження.**

*Метою* роботи було експериментальне дослідження фотоелектронних властивостей, насамперед фотолюмінісценції, біополімеру меланіну природного і синтетичного походження та композитів на їх основі, встановлення природи електронних переходів та механізмів що їх

зумовлюють, дослідження кінетичних властивостей окремих смуг PL та часів життя збуджених станів, що визначають таке свічення.

Для досягнення мети роботи були поставлені такі *завдання*:

- Експериментально дослідити кореляцію спектральних, зокрема PL властивостей природного та синтетичного меланіну.
- Експериментальне дослідження температурної еволюції спектрів стаціонарної PL, TRES, кінетики затухання і часів життя розчинів меланіну при різних температурах (296 та 4.2 K), встановлення динаміки екситонних процесів, що відбуваються в них.
- Експериментальне дослідження стаціонарних та розділених в часі спектрів PL природного та синтетичного меланіну, а також композитів меланіну з різними органічними молекулами з точки зору міжмолекулярної комплексації, наноагрегації та утворення міжмолекулярних CT комплексів.
- Встановлення та аналіз макромолекулярної структури та динаміки екситонних процесів наноструктурованого біополімеру меланіну.

#### **Об'єкт, предмет дисертаційного дослідження.**

*Об'єктом дослідження* є розчини біополімеру меланіну природного і синтетичного походження та композитів на їх основі та механізми формування їх оптичних спектральних властивостей при збудженні квантами світла UV-Vis діапазону.

*Предметом дослідження* є формування колективних збуджених станів різної природи в нанокластерах меланіну, їх динаміка та кінетика випромінювальної рекомбінації.

*Методи дослідження*. спектроскопія поглинання, стаціонарна PL, спектроскопія PL із розділенням в часі (TRES), дослідження кінетики затухання окремих смуг PL, часів життя збуджених станів, 3D карти збудження-випромінювання (PLE), 3D карти TRES, дослідження температурної залежності PL спектроскопії.

#### **Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Було показано, що спектри і динаміка затухання PL досліджуваних синтетичного та природного меланінів при кімнатній температурі подібні в багатьох аспектах
2. На основі представлених експериментальних даних щодо спектрів поглинання, розділеної в часі PL, кінетики затухання і часів життя розчинів меланіну при різних температурах (296 та 4.2 K), було запропоновано модель енергетичної структури основного та збудженого станів, відповідальних за оптичні властивості меланіну, досліджено природу оптичних переходів, пов'язаних з ними.
3. Було досліджено стаціонарні та TRES спектри PL природного та синтетичного меланіну, а також композитів меланіну з різними органічними молекулами - PAP SDBS, поліметиновим барвником астрафлосином та акцепторами електронів TNF та PCBM. Встановлено природу випромінювання цих комплексів, зроблено висновок, про можливість утворення між ними міжмолекулярних CT комплексів.
4. Експериментально підтверджено, що для наноструктурованого біополімеру меланіну характерна нанокластерна модель, в якій реалізується колективна модель збудження через EF та STE, що корелює з попередніми дослідженнями. Через утворення STE в нанокластерах меланіну зроблено висновок про належність біополімеру меланіну до класу CT кристалів.

#### **Теоретичне та практичне значення результатів роботи**

1. Встановлення природи PL, кінетики затухання окремих смуг PL і часів життя наноструктурованого біополімеру меланіну розширює наявні знання про його оптичні властивості, що відкриває можливість використання цього матеріалу в молекулярній електроніці, зокрема для сенсibiлізації надчутливих фотолюмінісцентних сенсорів.

2. Знайдено і досліджено компоненти, здатних взаємодіяти з меланінами, зокрема раніше не досліджені композити, вивчення яких має велике значення для кращого розуміння електронних властивостей різних типів меланінів, а також може посилити потенціал для їх практичного застосування і можливого напрямку досліджень в майбутньому.

**Особистий внесок здобувача** полягає в підготовці експериментальних зразків до вимірів, проведенні експериментальних досліджень, а саме: спектрів поглинання, стаціонарної та розділеної в часі PL при кімнатній та низьких температурах, кінетики затухання окремих смуг PL та встановленні часів життя відповідних рекомбінаційних процесів. Здобувач брав активну участь в постановці задачі, виборі об'єктів та методів дослідження; обговорення та інтерпретація результатів, а також формулювання висновків проведено спільно з науковим керівником. Автор брав безпосередню участь у підготовці матеріалів для подальшої публікації результатів досліджень у вигляді наукових статей і участі в міжнародних наукових конференціях.

**Перелік публікацій за темою дисертації, які відображають основні результати дисертації.**

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях, серед яких 4 статті у періодичних фахових виданнях та 4 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях:

*Стаття у науковому фаховому виданні України (категорія «А»),  
проіндексованого у базах WoS та/або Scopus:*

1. Kostetskyi A.O., Piryatynski Yu.P., Verbitsky A.B., Lutsyk P.M., Rozhin A. G. Photoluminescence of Melanine-based Nanocomposites with Fullerene Derivatives. *Semicond. Phys. Quantum Electron. Optoelectron.* **2022**, 25 (1), 049-057. <https://doi.org/10.15407/spqeo25.01.049>. *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, написання статті, огляд і редагування, публічна презентація.*

*Статті у періодичних фахових виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports:*

2. Kostetskyi, A. O.; Piryatinski, Y. P.; Verbitsky, A. B.; Lutsyk, P. M.; Rozhin, A. G. Effect of the Charge State on the Photoluminescence Spectra of Melanin. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Cryst.* **2018**, 671 (1), 41–54. <https://doi.org/10.1080/15421406.2018.1542084>. *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, написання статті, огляд і редагування, візуалізація, публічна презентація.*
3. Kostetskyi, A. O.; Piryatinski, Y. P.; Verbitsky, A. B.; Lutsyk, P. M.; Rozhin, A. Time-Resolved Photoluminescence Study of Excited States in Nanostructured Melanin. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Cryst.* **2020**, 697 (1), 31–48. <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1731076>. *Особистий внесок – отримання і формальний аналіз експериментальних даних, дослідження, написання статті, огляд і редагування, візуалізація, публічна презентація.*
4. Kostetskyi, A. O.; Piryatinski, Y. P.; Verbitsky, A. B.; Lutsyk, P. M.; Rozhin, A. G. Dynamics of Electron Transfer in Melanin-Trinitrofluorenone System. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Cryst.* **2021**, 718 (1), 50–61. <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1861522>. *Особистий внесок – отримання експериментальних даних (частково), їх аналіз, дослідження, написання статті, огляд і редагування, публічна презентація.*

*Опубліковані праці апробаційного характеру:*

1. Kostetskyi A.O., Piryatinski Yu.P., Verbitsky A.B., Lutsyk P.M., Rozhin A. G. Effect of the charge state on the photoluminescence spectra of melanin. XI International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-11) (21-25 May, 2018) Ivano-Frankivsk, Ukraine, p. 119.
2. Kostetskyi A.O., Piryatinski Yu.P., Verbitsky A.B., Lutsyk P.M., Rozhin A. G. The Influence of Defects and Temperature on Photoluminescence of Nanostructured Melanin. XXIV Galyna Puchkovska International School-Seminar

"Spectroscopy of Molecules and Crystals" (XXIV ISSSMC) (25-30 August, 2019) Odesa, Ukraine, p. 111.

3. Kostetskyi A.O., Piryatinski Yu.P., Verbitsky A.B., Lutsyk P.M., Rozhin A. G. Dynamics Of Electron Transfer In Melanin-Trinitrofluorenone System. XII International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-12) (1-5 June, 2020) Kamianets-Podilskyi, Ukraine, p. 120.

4. Kostetskyi A.O., Piryatinski Yu.P., Verbitsky A.B., Lutsyk P.M., Rozhin A. G. Photoluminescence of Melanine-based Nanocomposites with Polyvinylcarbazole and Fullerene Derivatives (PCBM). XXV Galyna Puchkovska International School Seminar "Spectroscopy of Molecules and Crystals" (XXV ISSSMC) (21-24 September, 2021) Kyiv, Ukraine, p.43.

### **Структура і зміст роботи.**

Дисертація складається із анотації (українською та англійською мовами), вступу, шістьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел (261 пунктів). Вона викладена на 178 сторінках та містить 66 рисунків, 11 таблиць.

### **Характеристика особистості здобувача.**

Костецький Антон Олегович народився 27 листопада 1993 року. У 2017 році закінчив Київський національний університет імені Тараса Шевченка та отримав диплом магістра за спеціальністю «Фізика конденсованого стану». У 2021 році закінчив навчання в аспірантурі на базі Відділу молекулярної фотоелектроніки Інституту фізики Національної академії наук України за освітньо-науковою програмою «Фізика конденсованого стану, оптика і лазерна фізика, нано- та біофізика».

### **Оцінка мови та стилю дисертації.**

Дисертація виконана українською фаховою мовою з правильним вживанням спеціальної термінології. Стиль викладення в дисертації матеріалів досліджень, наукових положень та висновків забезпечує доступність їх сприйняття. Оформлення дисертаційної роботи відповідає стилю науково-дослідної літератури.

За результатами попередньої експертизи дисертаційного дослідження, виконаного Костецьким А.О., а також вивчення повноти публікації основних результатів дослідження:

**УХВАЛЕНО:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації **Костецького Антона Олеговича на тему: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі».**
2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Костецького А.О. відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та Вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.
3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі”, подану Костецьким Антоном Олеговичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»
4. Рекомендувати Вченій раді Інституту фізики НАН України утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

- доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., в.о. завідувача Відділу нелінійної оптики Інституту фізики НАН України, Бондар Микола Володимирович;

Рецензенти:

- доктор фіз.-мат. наук, проф., провідн. наук. співроб., Остапенко Ніна Іванівна;
- доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб., провідн. наук. співроб. Морозовський М.В.

Опоненти:

- доктор фіз.-мат. наук, проф., завідувач лабораторії "Фотоніка органічних середовищ", Ящук Валерій Миколайович;
- доктор фіз.-мат. наук, проф., провідн. наук. співроб., Джаган Володимир Миколайович.

**Результати голосування** щодо рекомендації до захисту дисертації Костецького А.О. на тему: «Фотоелектронні властивості нанокластерного біополімеру меланіну та композитів на його основі» на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

«За» – 15

«Проти» – немає

«Утримались» – немає

Головуючий на засіданні

доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.,

Відділу молекулярної фотоелектроніки

Інституту фізики НАН України



Ковальчук О.В.