

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора ІПФ НАН України

д.ф.-м.н., с.д. Лебедь О.А.

(М.П.)

« 26 » червня 2024 р.



ВИСНОВОК

**Інституту прикладної фізики Національної академії наук України
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації Положія Гліба Євгеновича
на тему «Формування пучків в установках протонно-променевої
літографії»**

Витяг із протоколу № 1 від 25 червня 2024 р. розширеного засідання відділу
фізики пучків заряджених частинок ІПФ НАН України

БУЛИ ПРИСУТНІ:

Головучий на засіданні в.о. директора, зав. лаб. № 31, д.ф.-м.н., с.д.,
Лебедь О.А.;

- з відділу фізики пучків заряджених частинок:
завідувач відділу, д.ф.-м.н., проф., Пономарьов О.Г. (науковий керівник аспіранта),
с.н.с. відділу, к.ф.-м.н., с.н.с., Возний В.І.,
н.с. відділу, к.ф.-м.н., Колінько С.В. (секретар семінару),
н.с. відділу, к.ф.-м.н., Магілін Д.В.,
- з відділу ядерно-фізичних досліджень:
заступник завідувача відділом, к.ф.-м.н., с.н.с., Батурін В.А.,
зав. сектору відділу, к.ф.-м.н. Бугай О.М.,
с.н.с. відділу, к.т.н., с.н.с., Літвінов П.О.,
с.н.с. відділу, к.т.н., с.н.с., Нагорний А.Г.,
н.с. відділу, к.ф.-м.н., Єрьомін С.О.,

- з інших відділів:

відділ моделювання радіаційних ефектів та мікроструктурних перетворень у конструкційних матеріалах,

завідувач відділу, д.ф.-м.н., проф., Харченко Д.О.;

відділ радіаційної біофізики:

с.н.с. відділу, к.ф.м.н. Калінкевич О.М.,

н.с. відділу Дуванов С.М.;

відділ квантової електродинаміки сильних полів:

с.н.с. відділу, к.ф.-м.н., Лебединський С.О.,

с.н.с. відділу, к.ф.-м.н., Новак О.П.;

запрошені з інших організацій:

Сумський державний університет МОН України:

завідувач кафедри електроніки і комп'ютерної техніки, д.ф.-м.н., проф. Опанасюк А.С.,

професор кафедри прикладної математики та моделювання складних систем, д.ф.-м.н., проф. Лисенко О.В.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта відділу фізики пучків заряджених частинок Положія Гліба Євгеновича за матеріалами дисертаційної роботи: “Формування пучків в установках протонно-променевої літографії”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань: 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. Освітньо-наукова програма: Фізика.

Тему дисертаційної роботи “Формування пучків в установках протонно-променевої літографії” затверджено на засіданні Вченої ради Інституту прикладної фізики Національної академії наук України (Протокол № 13 від 07 грудня 2020 р.).

Науковим керівником затверджений: д.ф.-м.н., проф. Пономарьов О.Г.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

д.ф.-м.н., с.д. Лебедь О.А. поставив питання щодо початкового струму пучка та його втрат

асп. Положий Г.Є. відповів, що струм залежить від яскравості джерела іонів та обмежується розміром об'єктного коліматора, і в реалізаціях мікро- та нанозондів у вигляді каналів прискорювачів понад 99% струму урізається коліматорами

к.ф.-м.н. Дуванов С.М. поставив питання чи розглянута в дисертації технологія літографії з фокусуванням пучка за допомогою капілярів

асп. Положій Г.Є. відповів, що технологія літографії з використанням капілярів для фокусування пучка в дисертації не досліджувалась

к.ф.-м.н. Бугай О.М. поставив питання щодо методів розрахунку живлення октуполів

асп. Положій Г.Є. відповів, що формалізм розрахунку живлення октуполів побудовано за допомогою методу матрицантів

к.ф.-м.н. Магілін Д.В. поставив питання щодо необхідної точності та можливої похибки юстування елементів зондоформуючої системи, а також вимог до стабільності струму в котушках магнітних лінз

асп. Положій Г.Є. відповів, що в роботі розглянуті ідеальні системи, а питання точності юстування та вимог до стабільності струму в котушках магнітних лінз не досліджувалось

к.ф.-м.н. Лебединський С.О. поставив питання чому досліджувалась корекція аберацій з максимум трьома октупольними коректорами і не більшою їхньою кількістю

асп. Положій Г.Є. відповів, що для повної корекції сферичних аберацій зондоформуючої системи на основі ортоморфного квадруплету достатньо трьох октупольних коректорів

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

д.ф.-м.н., с.д. Лебедь О.А. зазначив, що підтримує роботу, зауваживши, що доповідь з презентацією бажано поділити на розділи

к.ф.-м.н. Бугай О.М. висловив певність, що дисертація виконана на високому рівні, зауваживши переважаність слайдів презентації, представленої на доповіді

к.ф.-м.н. Лебединський С.О. зазначив, що підтримує роботу, зауваживши, що до зображень на представлений на доповіді презентації бажано посилання на джерела, з яких взяті рисунки, перенести на самі слайди з рисунками

д.ф.-м.н., проф., Пономарьов О.Г. зазначив, що, як науковий керівник, роботу підтримує, зазначивши необхідність врахувати перед захистом дисертації зауваження, висловлені під час семінару

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Наразі в провідній світовій електронній промисловості, як і взагалі у виробництві малорозмірних структур, використовується переважно технологія літографії жорстким ультрафіолетом (EUV-літографія). Виробництво обладнання для виготовлення таких структур методом EUV-літографії монополізоване однією фірмою (ASML, Нідерланди). Через це

виробництво наноструктур настільки складне та дороге, що лиш поодинокі компанії та країни мають такі потужності. Україна не зможе налагодити виробництво електроніки та інших малорозмірних структур на EUV-технологіях без мільярдів доларів інвестицій, які вкрай важко залучити у приватних інвесторів або виділити з держбюджету. Це актуалізує проблему розробки альтернативних технологій виготовлення малорозмірних структур на інших фізичних принципах.

Однією з перспективних технологій виготовлення малорозмірних структур в Україні є протонно-променева літографія, відома в англійській мові як Proton Beam Writing (PBW). Пучок протонів, розігнаних до енергій від сотень кеВ до одиниць МеВ, діє на матеріал мішені, змінюючи його властивості, що дає змогу надати йому певну форму або створити в об'ємі матеріалу ділянку з певними властивостями (наприклад, коефіцієнтом оптичного заломлення).

Протонно-променева літографія досліджується на експериментальних установках в різних країнах світу. Застосовуються різні типи прискорювачів, зокрема прискорювачі Ван дер Граафа (на рухомих діелектричних стрічках), Singletron (високовольтний помножувач напруги з високою стабільністю), Tandetron (тандемний прискорювач від'ємних іонів зі зміною знаку заряду іонів на середині прискорювача). Розробляються компактні установки для протонно-променевої літографії. Продемонстроване виготовлення структур з роздільною здатністю від одиниць мікрметрів до десятків нанометрів.

Суттєвою проблемою технології протонно-променевої літографії є падіння струму на високих роздільних здатностях. Ця проблема обумовлена малим початковим фазовим об'ємом пучка в зондоформуючих системах, які наразі використовуються в світовій практиці (розподілений оксфордський триплет та розподілений ортоморфний квадруплет). Це заважає реалізувати установки, які мали б можливість виготовлення малорозмірних структур з роздільною здатністю в одиниці нанометрів зі швидкістю, прийнятною для масового промислового застосування. Додавання октупольних лінз-коректорів до розподіленого ортоморфного квадруплету потенційно може компенсувати сферичні аберації і тим самим зробити можливим досягнення коефіцієнтів зменшення пучка в тисячі разів. Це потенційно надає можливість для створення нанозондів високої швидкості експонування, прийнятною для масового промислового застосування.

В Інституті прикладної фізики Національної академії наук України ведуться експериментальні дослідження протонно-променевої літографії. Наразі основою експериментальної бази є аналітичний прискорювальний комплекс "Сокіл" з прискорювачем Ван дер Граафа. На прискорювальному комплексі є канал ядерного скануючого мікрозонду з роздільною здатністю порядку одиниць мікрметрів. Це дає змогу відпрацьовувати технологію протонно-променевої літографії на базовому рівні та проводити пілотні експерименти з літографії по новим матеріалам. А за умови модернізації експериментальної бази Інституту відкриваються значно більше можливостей для виготовлення різних малорозмірних структур спеціального призначення. Зокрема, потенційно можливо буде виготовляти фотонні та

рідинні структури. Можливо буде виготовляти дифракційні ґратки, необхідні для реалізації томографії методом рентгенівського контрасту, корисної для діагностики раку м'яких тканин на ранніх стадіях.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Експериментальна частина дисертаційної роботи виконана на аналітичному прискорювальному комплексі “Сокіл” Інституту прикладної фізики Національної академії наук України. Результати роботи одержані під час виконання наукової роботи «Формування пучка в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності», державний реєстраційний номер роботи 0120U101035.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше проведено комп'ютерне моделювання динаміки іонного пучка в зондоформуєчих системах на основі ортоморфного квадруплету магнітних квадрупольних лінз з одним, двома та трьома октупольними лінзами-коректорами. Продемонстровано теоретичну можливість досягнення роздільної здатності в 10...100 нанометрів. Побудовано формалізм, який описує алгоритм визначення живлення октуполів для повної та часткової корекції сферичних аберацій третього порядку з використанням методу матрицантів.

2. Удосконалено опромінення зразків завдяки впровадженню векторного методу протонно-променевої літографії малорозмірних структур. Векторний метод випробуваний експериментально через створення малорозмірних структур на каналі ядерного скануючого мікрозонду аналітичного прискорювального комплексу “Сокіл” Інституту прикладної фізики Національної академії наук України.

3. Удосконалено керування пучком протонів мегаелектронвольтової енергії завдяки впровадженню та випробуванню в експериментальній роботі системи швидкого скидання пучка на каналі ядерного скануючого мікрозонду прискорювального комплексу “Сокіл” Інституту прикладної фізики Національної академії наук України.

4. Вперше проведено експерименти з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану, зокрема плівкам хітозану на полікоровій підкладці та товстим не прикріпленим до твердої підкладки плівкам хітозану, покритим тонкими плівками титану, нітриду титану та оксиду цинку. Отримано мікроструктури з заданих з комп'ютера векторних шаблонів, а також лінійні періодичні структури в плівці хітозану на полікоровій підкладці через фокусування протонного пучка в лінію.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

Результати комп'ютерного моделювання динаміки іонних пучків в зондоформуючих системах на основі ортоморфного квадруплету магнітних квадрупольних лінз з однією, двома та трьома октупольними лінзами-коректорами, проведеного в ході роботи над даною працею, вказує на можливість створення установок для протонної літографії з роздільною здатністю десятки-одиноці нанометрів, які можна застосовувати в виробництві наноелектроніки на рівні найкращих сучасних технологічних процесів, при цьому така технологія доступна для реалізації в Україні в найближчому майбутньому з потребою в значно менших інвестиціях ніж було б потрібно для реалізації літографії на жорсткому ультрафіолеті (EUV). Технологія протонно-променевої літографії добре підходить для виготовлення одиничних та дрібносерійних зразків, а застосування відносно простої в реалізації технології нанощампування дасть змогу масштабувати виробництво принаймні в сотні разів, що дасть змогу налагодити масове виробництво передової наноелектроніки. Експериментальні дослідження створення малорозмірних структур, проведені в ході роботи над даною працею, з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії та вдосконалення експериментального обладнання каналу ядерного скануючого мікрозонду Інституту прикладної фізики Національної академії наук України демонструють наявність вітчизняної наукової та інженерної бази в галузі виробництва малорозмірних структур та відкривають можливості для подальших досліджень практичних застосувань протонно-променевої літографії. Векторний метод літографії, впроваджений в ході роботи над даною працею, дає змогу створювати структури з плавними лініями без “піксельних” артефактів та значно спрощує масштабування і виготовлення структур певного розміру, яке відбувається автоматично за результатами визначеної на початку експерименту геометрії пучка та ціни поділки скануючої системи. Проведені в ході роботи над даною працею експерименти з протонно-променевої літографії по хітозану демонструють можливість протонно-променевої літографії по новим матеріалам, що може бути корисним в технологічних процесах виготовлення малорозмірних структур, зокрема для біомедицини. Технологія протонно-променевої літографії дає змогу виготовляти малорозмірні структури різного спеціального призначення.

5. Апробація результатів дисертації

Основні наукові результати роботи були представлені на вітчизняних конференціях: IEEE 10th International Conference on "Nanomaterials: Applications and Properties" (Суми, 2020), 7th International Conference "NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects" (Харків, 2021), Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, Physics and Technology of Surface» devoted to the 35th anniversary of the Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructures and Nanomaterials in Medicine : Challenges, Tasks and Perspectives» (Київ, 2021),

XXVII International conference on charged particle accelerators (Харків, 2021), Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики (VII, VIII та IX конференції, Суми, 2021, 2022 та 2023 відповідно), XXIX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2022), XXI конференція з фізики високих енергій та ядерної фізики (Харків, 2023) та на іноземній науковій конференції 18-th International conference on nuclear microprobe technology and applications (ICNMТА2022) (Любляна, Словенія, 2022).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Положія Г. Є. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

Статті у наукових фахових виданнях України

1. S.V. Kolinko, I.S. Kolinko, **Н.Е. Polozhii**, A.G. Ponomarev Beam scanning control system for proton beam writing // *East European Journal of Physics*, 2021, № 3, 14028, с. 134 — 140.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу.

2. **Polozhii Н.Е.**, Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Rebrov V.A. Vector proton beam writing system // *Problems of Atomic Science and Technology*, 2022, No. 3, p. 52 — 55.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

3. OV Kalinkevich, **Н Ye Polozhii**, SV Kolinko, Ye I Zinchenko, A Yu Karpenko, VA Baturin, AG Ponomarev, AN Kalinkevich, SN Danilchenko, A Daskalova, L Angelova, I Buchvarov Controllable structures on the surface of natural polymers made by proton beam writing and femtosecond laser treatment // *Low Temperature Physics*, 2022, V.48 (4), p.349-352.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану.

4. Ponomarev A.G., Kolinko S.V., **Polozhii Н.Е.**, Rebrov V.A. High Resolution Probe-forming System With Spherical Aberration correction for

nuclear microprobe // *Problems of Atomic Science and Technology*, Том 2023, Выпуск 3, Страницы 153 — 157.

Особистий внесок здобувача: участь в розробці програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання фізичних процесів при формуванні пучків в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності.

5. **Н. Ye. Polozhii**, A. G. Ponomarev, S. V. Kolinko, V. A. Rebrov, R. O. Shulipa, O. M. Kalinkevich, O. V. Kalinkevich Proton beam writing: World experience and prospectives in Ukraine // *Nuclear Physics and Atomic Energy* 2023, volume 24, issue 1, pages 72-80.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

Стаття у іноземному науковому фаховому виданні

Ponomarev A.G., Kolinko S.V., **Polozhii H.E.**, Rebrov V.A. High demagnification probe-forming systems with spherical aberration correction for a nuclear microprobe // *Nucl. Instr. and Meth. B.* – 2023. – V. 543. – P. 165102.

Особистий внесок здобувача: участь в розробці програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання фізичних процесів при формуванні пучків в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності.

Тези виступів на наукових конференціях

1. Oksana Kalinkevich, **Hlib Polozhii**, Sergey Kolinko, Yevgen Zinchenko, Aleksei Kalinkevich, Sergei N. Danilchenko, Aleksandr G. Ponomarev, Ivan Yu. Protsenko Proton beam writing on chitosan films for bionanomedicine and microfluidics: pilot experiments // *Proceedings of the 2020 IEEE 10th International Conference on "Nanomaterials: Applications and Properties"*, NAP 2020, Sumy State University, 9309570.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану.

2. Калінкевич О. В., **Положий Г.Є.**, Колінко С. В., Зінченко Є.І., Карпенко А.Ю. , Батурин В.А., Пономарьов О.Г., Калінкевич О. М., Данильченко С.М., Даскол Controllable structures on the surface of natural polymers made by proton beam writing and femtosecond laser treatment // *7th International Conference "NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects"*, October 4–8, 2021, B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. p.51

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану.

3. O.M. Kalinkevich, O.V. Kalinkevich, E.I. Zinchenko, O.Yu. Karpenko, **H.E. Polozhii**, S.N. Danilchenko, A.M. Sklyar, I.Buchvarov, L.Angelova, A.Daskalova Chitosan-based nanostructured materials medicine // *Proceedings of Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, Physics and Technology of Surface» devoted to the 35th anniversary of the Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructures and Nanomaterials in Medicine : Challenges, Tasks and Perspectives»*. – Kyiv, 2021.

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану.

4. **H.E. Polojij**, A.G. Ponomarev, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon Vector Proton-Beam Writing System // *XXVII International conference on charged particle accelerators, September 21-24, 2021 Ukraine, Kharkov, p. 91-92*

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

5. **Положій Г. Є.**, Ребров В. А., Колінько С. В., Саливон В. Ф., Пономарьов О. Г., Калінкевич О. М., Калінкевич О. В., Зінченко Є. І. Вдосконалення каналу протонно-променевої літографії на АПК “СОКОЛ” в Інституті прикладної фізики НАН України // *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю, присвяченої 30-річчю незалежності України. м. Суми, 12-14 квітня 2021 р. – Суми: СумДПУ, 2021. – с. 66.*

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

6. **Г. Є. Положій**, О. Г. Пономарьов, С. В. Колінько, В. А. Ребров, Р. О. Шуліпа Протонна літографія: Світовий досвід та перспективи в Україні // *XXIX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 26 - 30 вересня 2022 року), с.72-73.*

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

7. A.G. Ponomarev, **H.E. Polozhii**, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon Proton beam writing of X-ray diffraction gratings using a quadruplet of magnetic

quadrupole lenses with individual power supplies // *18-th International conference on nuclear microprobe technology and applications (ICNMTA2022), September 11-16, 2022, Ljubljana, Slovenia, p. 89.*

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів з виготовлення лінійних малорозмірних структур.

8. Пономарьов О.Г., Колінько С.В., **Положій Г.Є.** Формування пучка в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності // *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 24-26 жовтня 2022 р. – Суми: ІПФ НАН України, 2022. – с. 65.*

Особистий внесок здобувача: участь в розробці програмного забезпечення для комп’ютерного моделювання фізичних процесів при формуванні пучків в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності.

9. Пономарьов О.Г., Колінько С.В., Ребров В.А., **Положій Г.Є.**, Салівон В.Ф. Система скидання пучка зі зразка для каналу протонно-променевої літографії аналітичного прискорювального комплексу ІПФ НАН України // *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 24-26 жовтня 2022 р. – Суми: ІПФ НАН України, 2022. – с. 64-65.*

Особистий внесок здобувача: участь в розробці та виготовленні системи скидання пучка зі зразка.

10. **Положій Г. Є.**, Пономарьов О. Г., Ребров В. А., Колінько С. В., Салівон В. Ф., Калінкевич О. М., Калінкевич О. В., Шуліпа Р. О. Протонна літографія в Україні та світі // *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 71-72.*

Особистий внесок здобувача: управління обладнанням каналу ядерного скануючого мікрозонду АПК “Сокіл” ІПФ НАНУ в ході проведення експериментів, розробка та вдосконалення програмного забезпечення для управління обладнанням каналу з впровадженням векторного методу протонно-променевої літографії.

11. Ponomarev A.G., Kolinko S.V., **Polozhii H.E.**, Rebrov V.A. High demagnification probe-forming systems with spherical aberration correction for nuclear microprobe // *Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 13-15.*

Особистий внесок здобувача: участь в розробці програмного забезпечення для комп’ютерного моделювання фізичних процесів при формуванні пучків в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності.

12. О.Г. Пономарьов, С.В. Колінько, Г.Є. Положій, В.А. Ребров
Зондоформуючі системи високої роздільної здатності з корекцією сферичних
аберацій для ядерного скануючого мікрозонду // *XXI конференція з фізики
високих енергій та ядерної фізики (Харків, 21 - 24 березня 2023 року), с.13.*

Особистий внесок здобувача: участь в розробці програмного
забезпечення для комп'ютерного моделювання фізичних процесів при
формуванні пучків в установках протонно-променевої літографії високої
роздільної здатності.

За результатами досліджень опубліковано 18 наукових публікацій, у
тому числі:

- 5 статей у наукових фахових виданнях України;
- 1 стаття у іноземному науковому фаховому виданні;
- 12 тез виступів на наукових конференціях.

Якість та кількість публікацій відповідають “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 від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Положія Г.Є. “ Формування
пучків в установках протонно-променевої літографії ”, що подана на здобуття
ступеня доктора філософії з галузі знань: 10 Природничі науки, за
спеціальністю: 104 Фізика та астрономія

за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та
практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам,
що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та
відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми ІПФ
НАН України: Фізика зі спеціальності 104 Фізика та астрономія.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “ Формування пучків в установках протонно-
променевої літографії”,

подану Положієм Глібом Євгеновичем

на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій
спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді Інституту прикладної фізики утворити разову
спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.ф.-м.н, проф., радник, Інститут прикладної фізики Національної академії наук України, **Сторіжко Володимир Юхимович**

Члени:

Рецензенти:

к.ф.-м.н., с.н.с. відділу квантової електродинаміки сильних полів Інститут прикладної фізики Національної академії наук України, **Новак Олександр Петрович;**

к.ф.-м.н., с.н.с. відділу квантової електродинаміки сильних полів Інститут прикладної фізики Національної академії наук України, **Лебединський Сергій Олександрович;**

Офіційні опоненти:

д.ф.-м.н, проф., професор кафедри прикладної математики та моделювання складних систем Сумського державного університету, **Лисенко Олександр Володимирович;**

к.ф.-м.н, с.н.с. відділу фізики випромінювання та багатоканальних трекових детекторів, Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут", **Карпусь Степан Геннадійович**

Головуючий на засіданні
д.ф.-м.н., с.д.

Олександр Лебедь

Рецензенти:
к.ф.-м.н., с.н.с.

Олександр Новак

к.ф.-м.н., с.н.с.

Сергій Лебединський

Секретар засідання відділу фізики пучків
заряджених частинок
к.ф.-м.н., н.с.

Сергій Колінько