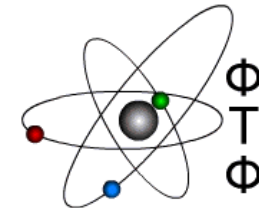


**Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
Фізико-технічний факультет**

**Студентська наукова конференція  
з прикладної фізики**

***„ Актуальні проблеми сучасної  
фізики ”***

**до 55-річчя Фізико-технічного факультету**



**Харків**

**2017**

УДК 53.(082)  
ББК 22.3я43  
С 88

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

*Голова комітету* – Гірка Ігор Олександрович, професор, декан ФТФ  
*Заступник голови* – Середя Ігор Миколайович, канд. фіз.-мат. наук, доцент,  
заст. декана ФТФ  
*Члени комітету ФТФ:*  
проф..Баранник Є.О., проф..Бізіюков О.А., проф.. Лісовський В.О., проф..  
Ходусов В.Д., проф..Береснев В.М., доц..Щусь А.П.,

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Фізико-технічного факультету  
(протокол № 10 від 24.11.2017 р.)*

С 88 **Студентська наукова конференція з прикладної фізики „Актуальні проблеми сучасної фізики” до 55-річчя Фізико-технічного факультету:**  
Тези. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2017. - 80с.

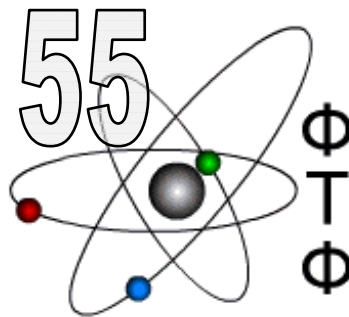
У збірнику приведені тези доповідей студентських наукових робіт з прикладної фізики у наступних напрямках: матеріалознавство та конструкційні матеріали; фізика плазми та плазмові технології; теоретична ядерна фізика; експериментальна ядерна фізика, медична та біологічна фізика. Роботи доповідалися на студентській науковій конференції фізико-технічного факультету.

Матеріали подаються в авторській редакції.

Відповідальність за достовірність інформації, коректність математичних викладок та точність наведених фактів несуть автори. Редакція може не поділяти точку зору авторів на викладену проблему. Тези доповідей опубліковано мовою оригіналу.

Посилання на матеріали збірника обов'язкові.

© Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна, 2017



# Фізтеху – п'ятдесят п'ять!

А ще зовсім нещодавно цілком патріотично налаштовані по відношенню до факультету люди казали, мовляв, сорок років – це період напіврозпаду. Аж ось дожили і до п'ятдесяти п'яти. Як писав класик української поезії П. Тичина: «Я стверджуюсь, я утверждаюсь, бо я живу!»



**Фізтеху - п'ятдесят п'ять!** Це –  
за найскромнішими підрахунками. Адже ми не на голому місці

виросли. Ми з вдячністю згадуємо своїх батьків-засновників. Ми ані на мить не відокремлюємо себе від ядерного відділення фізмату Харківського університету, всіх його випускників вважаємо своїми. А отже, можемо по праву накинути собі ще років п'ятнадцять. Ми з гордістю говоримо фізтеху ВЕЛИКОМУ слова глибокої вдячності від фізтеху малого, усвідомлюючи вирішальну роль у створенні факультету Українського фізико-технічного інституту.

### ***Фізтеху - п'ятдесят п'ять!*** На



Г.А. Мілютін

нашому рахунку беззаперечні перемоги та досягнення світового рівня. Кожен наш третій випускник – кандидат або доктор наук! Цим по праву пишався наш багаторічний декан Георгій Анатолійович Мілютін. І сьогодні цей показник слід розглядати як світовий рекорд. Серед 265 Героїв України є наш випускник Віктор Григорович Бар'яхтар.

До Академії наук України було обрано понад тридцять наших випускників... Сьогодні випускники фізтеху очолюють дев'ять інститутів Національної академії наук України.



Є.О. Бараннік

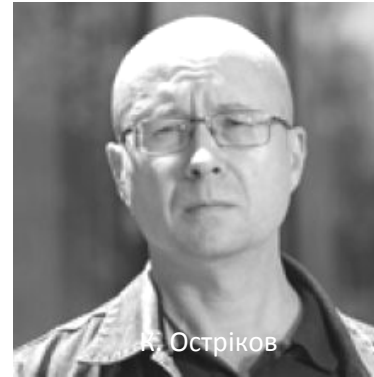


Г.П. Ковтун



Ю.А. Бережної

За останні п'ять років ще два випускники фізтеху (професори Є.О. Бараннік і Г.П. Ковтун) були удостоєні Державної премії України в галузі науки і техніки; професор Ю.А. Бережної був удостоєний премії НАН України імені Кирила Дмитровича Синельникова за цикл робіт «Теорія дифракційних ядерних процесів» у складі творчого колективу, до якого увійшли також його учні, випускники ФТФ Вадим Петрович Михайлюк (Інститут ядерних досліджень НАНУ) та Володимир Владиславович Пилипенко (ННЦ «ХФТ»).



К. Остриков

Восени 2015 Почесного доктора фізико-технічного факультету, випускника ФТФ 1989 року Костю Острикова обрали до Академії Європи (Academia Europaea), до складу якої входять також 58 нобелівських лауреатів!

9 серпня 2017 р. випускника ФТФ 1980 року, професора кафедри

матеріалів реакторобудування і фізичних технологій ФТФ Слюсаренко Юрія Вікторовича рішенням Уряду затверджено до складу Наукового комітету Національної ради України з питань розвитку науки і технологій.

Студенти фізтеху щороку перемагають на Всеукраїнських та міжнародних студентських турнірах фізиків, олімпіадах і конкурсах з фізики.



Ю.В. Слюсаренко

Серед досягнень студентів фізтеху останніх п'яти років зазначу такі.

Влітку 2015 р. студент кафедри ядерної та медичної фізики Віталій Лісовський виграв конкурс на участь у літній студентській програмі ЦЕРНу (CERN Summer Student Program). Доповідь Віталія про результати роботи в колаборації LHCb було визнано кращою серед кількох десятків студентів, які працювали на базі LHCb – за що йому було присуджено Moritz Karbach Prize.



І. Малійов

22 жовтня 2015 р. приз за кращу студентську дослідницьку роботу, виконану в лабораторії Ecole Polytechnique, Париж, отримав Іван Малійов, студент шостого курсу кафедри ядерної та медичної фізики ФТФ.

З дев'яти міжнародних студентських турнірів фізиків, які відбулися дотепер, чотири рази Україну представляла команда студентів фізтеху. 2011 року в м. Долгопрудний Московської області (МФТІ) наші студенти вибороли золото; 2014 в Лозанні (École polytechnique fédérale de Lausanne) – срібло; 2015 року у Варшаві (Варшавський університет) і 2017 року в Гетеборзі (Chalmers tekniska högskola) наші студенти були найкращими!.

**Фізтеху – п'ятдесят п'ять!** З ним пов'язані безпосередньо долі понад трьох тисяч вчених та інженерів, бізнесменів і політиків, успішних громадян України і Росії, Німеччини та Ізраїлю, США та Канади ... Вони вписали гідні сторінки не лише в історію радянської науки. Побудовані ними корівники досі стоять в Казахстані, прокладені дороги служать в Сибіру... Надим і Уренгой, Нумгі та Лабитнангі – звичні вуху фізтехівців назви селищ Ямало-Ненецького

автономного округу Тюменської області, де фізтехівці будували і дружили.

**Фізтеху – п'ятдесят п'ять!** Флагман елітарної фізичної освіти приріс факультетами-супутниками: факультетом комп'ютерних наук і фізико-енергетичним факультетом, на яких деканами та завідувачами кафедр сьогодні працюють наші випускники. Вони привнесли туди фізтехівської дух наукової чесності, вольниці, демократизму, дружби та взаємної виручки.

**Фізтеху – п'ятдесят п'ять!** Цього року п'ятдесятиріччя отримання фізтехівських дипломів святкує випуск 1967 року. Дуже показово, що ці хлопці: родом із великих і малих міст і сіл України та інших республік Радянського Союзу, з інтелігенції, робітників і селян, відразу після шкіл і з робочим стажем, – стали гордістю своїх родин і країни в цілому, елітою фізичної науки. Коли випускники факультету збираються разом, ніхто не рахує державні нагороди, зрозуміло без слів, кожен вніс свій гідний внесок до спільної справи, до слави фізтеху.

«Фізтех – чемпіон !!!»

Ігор Гірка,  
декан ФТФ

## Software Suit „Linear Accelerator“

### Програмний комплекс „Лінійний прискорювач“

*Ананьева В.А. (науковий керівник – доц. Малихіна Т.В.)*

It's really important for every young scientist to get both theoretical knowledges and practical experience during studying process in university. Unfortunately, getting last one is kind of a hard task for nuclear physicist since for recreation of nuclear processes in real life complicated and expensive machines are needed. But for real scientist there is always a solution. That's why in our field of studies making computer modulations become a common way to recreate some experimental data, to make predictions about results of experiments and to be a powerful educational tool too.

Our own department is quite progressive in this sense. So, we're not only using such great solutions as Geant4 for educational process, but also working on our own software suit, which supposed to be both a perfect match for our current study plan and a great functional product for experimental data modelling on its own. And this is what our work is all about.

Now we have already created a desktop application which appears to be, from the users' side, a bunch of laboratory classes based on a virtual linear accelerator and from the developer's side there is a cluster of math models and programming solutions.

As a good exemplar for our work we used above-mentioned Geant4 [1], but what is important, our application was made to match with Windows XP (and other later versions of Windows) and also has a simple user-friendly interface, thereby students can be focused mostly on physics and not on getting used to software itself. While developing this software we've used a C# language and Microsoft Visual Studio as IDE.

What is most important, that's the contents of our classes. They are based mostly on a book written by our department's professors [2] and are related to the most important partitions of our nuclear and electronics courses. We have also used some fundamental works in nuclear physics [3] and in theory of probability and mathematical statistics [4] to develop our virtual accelerator to be so, it would give a data so far similar to one got from the real accelerator as possible. This was really important because ones, it makes our classes valid and worth-while and twice, new people will be prepared to work with raw data and get used to how it looks.

As I said above, we have already delivered a bunch of ready-to-use laboratory classes, there are eight by the time. Now I keep working on some

refactoring and improvements. It was also planned to develop more classes and add new functionality. So, in the future we could not only use our solution by ourselves, but also share it with other departments and maybe even beyond our university.

#### References:

1. Allison J. et.al. Recent developments in GEANT4. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2016. – V. 835. – P. 186 – 225.
2. Афанасьев В.Д., Гірка І.О. Розсіяння релятивістських електронів ядрами. Навчальний посібник. – Х.:ХНУ імені Каразіна, 2011. – 240 с.
3. Афанасьев В. Д. Рассеяние электронов и структура ядра: Учебное пособие. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 224 с.
4. Худсон Д. Статистика для физиков. Издательство “Мир”. – Москва – 1970 – 292 с.

### Радіаційно акустичний вимірювальний датчик струму пучка

*Ашихмін С. Т. (науковий керівник – доцент Стервоєдов М. Г.)*

Метою даної роботи є моделювання, розробка та дослідження радіаційно-акустичного датчику параметрів імпульсного пучка іонізуючих частинок.

Актуальність роботи полягає в тому, що прискорювачі заряджених частинок є основним інструментом фізики високих енергій – науки про фундаментальні властивості матерії. До якості пучків в сучасних прискорювачах пред'являються дуже високі вимоги, тому ефективна експлуатація прискорювальних установок є практично неможливою без точних і надійних систем діагностики пучка, що забезпечують можливість регулярної налаштування параметрів прискорювача за результатами вимірювань. Саме через це було виконано цю роботу, я якій було змодельовано та розроблено радіаційно-акустичний датчик параметрів імпульсного пучка іонізуючих частинок на імпульсних прискорювачах.

Пристрій складається з алюмінієвої мішені, до якої жорстко прикріплені п'єзоелектричні акустичні датчики, що розташовані по центру кожного боку мішені (всього 4 датчика, по одному з кожного боку), сигнали від яких потрапляють на відповідні підсилювачі, де сигнал посилюється. Підсилений сигнал потім передавався на формувач сигналу. Пристрій для формування являє собою електронний компаратор напруги, який спрацьовує в момент приходу сигналу і на

виході формує часовий сигнал. Одночасно з формувачем спрацьовує піковий детектор, постійна напруга якого дорівнює амплітуді вхідного сигналу. Далі сигнал передається на багатоканальний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Мікроконтролер підсумовує коди, обчислюючи середнє значення і в готовому вигляді посилає дані через USB порт на комп'ютер.

Пучок частинок потрапляє на мішень в точці з координатами (x, y). Вимірювання часу почнеться з моменту, коли сигнал потрапляє до найближчого датчика. У запропонованому нами випадку це датчик з координатами (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>). За проміжок часу t<sub>3</sub> (від початкового часу t<sub>0</sub> сигнал пройде відстань r. Відповідно ми знаємо такі проміжки часу: Δt<sub>r</sub>=t<sub>0</sub>-t<sub>3</sub>; Δt<sub>a</sub>=t<sub>1</sub>-t<sub>3</sub>; Δt<sub>b</sub>=t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>; Δt<sub>c</sub>=t<sub>4</sub>-t<sub>3</sub>.

Відстань між двома точками з геометрії визначається так:

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = R$$

Використовуючи цю формулу складемо систему з двох рівнянь з двома невідомими

$$\begin{cases} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} - V\Delta t_a = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} - V\Delta t_b \\ \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} - V\Delta t_r = \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2} - V\Delta t_c \end{cases}$$

де V - швидкість звуку в середовищі (в алюмінії V = 5.24×10<sup>3</sup> м/с)

Розв'язок цієї системи і дає координати положення центру ваги пучка. Це рішення підходить для будь-яких координат положення центру ваги пучка.

За основу датчика відхилення пучка було взято принцип дії діафрагми фотоапарату. Якщо потрібно збільшити або зменшити діаметр пучка, то не треба замінювати датчик, а досить його повернути, тим самим збільшивши або зменшивши діаметр отвору. Перевагою такого датчика є універсальність, він підходить для будь-якого розміру діаметра пучка і є простим у використанні. Його недоліком є більш складна конструкція і, відповідно, більш складна конструкція.

Отже, при виконанні роботи були:

1. Вивчені принципи радіаційно-акустичних ефектів, які описують появу звукових хвиль в мішенях при попаданні в них пучка прискорювача.

2. Розроблені модель і конструкція радіаційно-акустичного датчика параметрів пучка на базі п'єзоелектричного сенсору і мікроконтролера сімейства PIC32MX.

3. Розроблено архітектуру радіаційно-акустичної системи вимірювання струму і знаходження центру ваги координат пучка.

4. Розроблені схема датчика відхилення пучка, а також складена схема імітатора пучка.

5. Обрані елементна база і розроблена принципова схема підсилювача.

### **Вплив газового середовища на процеси виникнення збуджених частинок при іонному бомбардуванні титану**

*Бабич В.М. (науковий керівник – доц. Бобков В.В.)*

Останнім часом досить активно робляться спроби вирішення проблеми переходу до нових відновлюваних джерел енергії. Одним з можливих рішень цього завдання є воднева енергетика. Серед ключових проблем, що стримують практичне використання водню в цій області, є ефективність його зберігання і транспортування. Для її підвищення, поряд з удосконаленням традиційних технологій, заснованих на компримуванні і зріджуванні водню, ведеться активний пошук нових матеріалів, здатних запасати водень в компактному зв'язаному стані [1]. Разом з тим, ряд важливих аспектів, що впливають на процеси поглинання водню, зокрема, роль поверхні матеріалів, вивчаються в значно меншому обсязі. Однак, поверхня відіграє визначальну роль в процесах взаємодії твердого тіла з газовою фазою і впливає на весь комплекс проблем, пов'язаних з характеристиками матеріалу-накопичувача водню. Важливим при вивченні сорбційно-десорбційних процесів водню є інформація щодо хімічного складу зовнішніх моношарів поверхні. Поверхня будь-якого металевих матеріалу, в залежності від експериментальних умов, покрита більшою або меншою кількістю хімічних сполук, які суттєво впливають на процеси поглинання водню. Оскільки тип і структура поверхневих з'єднань істотно залежать від газового оточення, в представленій роботі методом іонно-фотонної спектроскопії (ІФС) проведено дослідження впливу газового середовища на розпилення атомарних і іонних частинок в збудженому стані з поверхні металевих титану. Вибір матеріалу обумовлений тим що титан є основою сплавів-накопичувачів водню.

Збудження вибитих частинок здійснювалося в процесі бомбардування іонами  $Ag^+$  поверхні титану (енергія 20 кеВ, щільність струму  $10 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ , кут падіння іонного пучка  $45^\circ$ ). Випромінювання збуджених частинок, вибитих з поверхні, реєструвалося і аналізувалося за допомогою фотоелектричної системи, що працює в режимі рахунку окремих імпульсів. Контроль за газовим середовищем здійснювався за допомогою мас-спектрометра МХ-7304.

Виходячи з порівняння спектрів випромінювання збуджених частинок і спектрів газової фази, а також результатів роботи [2], зроблений висновок, що збільшення кількості частинок, розпилених у збудженому стані обумовлено наявністю кисню в газовому середовищі, навколо мішені. Виникнення вторинних збуджених іонів обумовлено, переважно, наявністю в газовій фазі парів води і вуглеводнів. Результати роботи розширюють уявлення про процеси взаємодії газового середовища з поверхнею твердого тіла, що призводять до вибивання іонів в збудженому стані.

#### Список літератури:

1. Sandrock G. Metal hydrides and carbon for Hydrogen Storage/ G. Sandrock, G. Thomas // IEA - 2001. -V.12.- P.36- 38.
2. Kerkdijk C. B. Oxygen-dependent photon emission from  $Ne^+$  bombarded Mg / С. В. Kerkdijk, Roger Kelly // Rad. Eff. -1978. -V. 38, № 1-2. - P. 73-81.

#### **Ion induced millimeter-size structures formation on tungsten surface**

#### **Іонно-стимульоване формування структур міліметрового розміру на поверхні вольфраму**

*Балькова Ю.Б., Мирошник М.О.(науковий керівник – ст.н.с. Гірка О.І.)*

The presence of impurities will influence the PWI processes by both physical and chemical interactions. Tungsten, beryllium, helium and divertor cooling species (argon, neon, or nitrogen) will be present as impurities in the ITER plasma [1]. Polished tungsten sample with purity 99.99% wt. has been exposed to Ar ion beam generated by FALCON ion source [2]. Typical parameters during steady-state expose were the following: Ar ion flux was  $2-3 \times 10^{22} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , heat flux was about 3 MW  $\text{m}^{-2}$ , average ion energy of 2 кеВ and the ion fluence reaches  $10^{27} \text{ m}^{-2}$ . Sample temperature was modelled and measured with thermocouple [3-4]. During the exposures, the temperature of

sample is more than 1000 K. Following the exposure, SEM study revealed that surface is populated with castle-like structures with density of 2-3 features per  $\text{mm}^2$ . Their shape is distinguished by high height-to-diameter aspect ratio and pronounced asymmetry. Typical height of the structures exceeds what has been reported in the literature (1-100  $\mu\text{m}$ ) and reaches 0.3-0.4 mm. Surface activated diffusion considered to be as primary mechanism of structures growth, which can be prevented by a presence of surface stresses [5].

#### References:

1. Ch. Linsmeier, B. Unterberg, J.W. Coenen, R.P. Doerner, H. Greuner, A. Kreter, J. Linke and H. Maier. Material testing facilities and programs for plasma-facing component testing. Nucl. Fusion 57 (2017) 092012 (34pp). <https://doi.org/10.1088/1741-4326/aa4feb>
2. O. Girka, I. Bizyukov, K. Sereda, A. Bizyukov, M. Gutkin, V. Sleptsov. Compact steady-state and high-flux FALCON ion source for tests of plasma-facing materials. Review of Scientific Instruments, 83 (2012), 083501
3. O. Girka, O. Bizyukov, S. Bogatyrenko, I. Bizyukov. Aluminium Surface Morphology Behaviour under High-Flux Helium Ion Bombardment. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 405 (2017), p. 31–35.
4. S.S. Herashchenko, V.A. Makhraj, O.I. Girka, N.N. Aksenov, I.A. Bizyukov, S.V. Malykhin, S.V. Surovitskiy, K.N. Sereda, A.A. Bizyukov. Erosion Features of Tungsten Surfaces under Combined Steady-State and Transient Plasma Loads. Problems of Atomic Science and Technology. 2016, № 6. Series: Plasma Physics (22), p. 69-72.
5. V.V. Bobkov, S.S. Alimov, V.I. Bobkov, Yu.V. Slyusarenko, R.I. Starovoitov. Growth of metal newborn formations on cathode surface under influence of plasma flow. Surface and Coatings Technology 174 –175 (2003) 1271–1275.

#### **Моделі опису мартенситних перетворень низьковуглецевих легованих сталей**

*Белих Д. Г. (науковий керівник – проф. Ткаченко В. І.)*

Теорія фазових переходів (ФП) в кристалічних середовищах вперше запропонована Ландау в роботі [1]. У цій теорії для кількісного опису зміни симетрії було введено поняття параметра порядку (ПП), в якості якого обрано величина, лінійно перетвориться під дією групи симетрії середовища. Цей феноменологічний підхід, що полягає в припущенні про можливість розкладання термодинамічних потенціалів в ряд за

ступенями ПП, дозволив описати зміна теплоємності поблизу температури фазового перетворення.

Пов'язані зі зміною симетрії кристалічних решіток металів і сплавів ФП спостерігаються також при термічній обробці сталей.

Так, наприклад, в процесі охолодження вуглецевої сталі, що знаходиться в  $\gamma$  - фазі і характеризується як аустеніт, відбувається її структурне перетворення, пов'язане зі зміною симетрії кристалічної решітки. ГЦК симетрія  $\gamma$  - фази переходить в нову, міцнішу  $\alpha$  - фазу з симетрією ОЦТ, іменовану мартенсит [2]. Таке ФП називається прямим мартенситним перетворенням (ПМП).

Для опису ПМП металів і сплавів на основі феноменологічної теорії Ландау в якості ПП використовується така термодинамічна величина, як деформація зсуву [3]. В цьому випадку розкладання вільної енергії Гіббса здійснюється за ступенями цієї величини. Однак, в деяких випадках, таке розкладання не описує експериментальні результати [4]. Отже проблема вибору виду ПП є досить складним завданням через досить широкий набір кандидатів на цю роль (амплітуда зміщення атомів, амплітуда хвиль зарядової щільності, амплітуда стрікції, тощо) [3].

Інший підхід в описі ПМП полягає в використанні рішення задачі кристалізації речовини, яке при деяких загальних припущеннях вперше отримано Колмогоровим [5], а в більш загальному вигляді трьохвимірного зародження і росту нової фази - Аврамі [6]. Зокрема, в роботі [6] вказано, що частка перетвореного об'єму  $f$  визначається виразом:  $f = 1 - \exp(-Kt^n)$ , де  $t$  - час кристалізації,  $n, K$  - кінетичні коефіцієнти. До речі, рівняння Аврамі має універсальний вигляд, оскільки при  $n = 4$  переходить в рівняння Колмогорова.

Однак розрахунки кінетики фазових перетворень, засновані на рівняннях Колмогорова-Аврамі, не завжди призводять до правильних результатів, тому що в ході ФП значення  $n$  дискретно змінюються, залежать від вмісту вуглецю і, можливо, температури аустенітизації [7].

Описані вище складності вибору виду ПП та розбіжності теоретичного опису ПМП і експериментальних даних вимагають подальшого пошуку теоретичних моделей, які б більш адекватно описували ФП в металах і сплавах.

В роботі запропоновано засновану на фізиці індукованих явищ модель опису ФП в кристалічних середовищах.

## Список літератури:

1. Ландау Л.Д. К теории фазовых переходов / Л.Д. Ландау // ЖЭТФ. – 1937. – Т. 7. – С. 19 – 32.
2. Гуляев А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986–544 с.
3. Коваль Ю.Н. Деформационные и релаксационные явления при превращениях мартенситного типа / Ю.Н. Коваль, В.А. Лободюк. – К.: Наукова Думка, 2010. – 288 с.
4. Эстрин Э.И. Устойчивость решетки и мартенситные превращения / Э.И. Эстрин // В кн. Мартенситные превращения. – К.: Наук. думка, 1980. – 29 с.
5. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов / А.Н. Колмогоров // Изв. АН СССР. Сер. матем. – 1937. – Т. 1. – Вып 3. – С. 355 –359.
6. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах / Дж. Кристиан. – Ч. 1. – М.: Мир, 1978. – 806 с.
7. Мирзаев Д.А. Превращение аустенита сталей в условиях непрерывного охлаждения. / Д.А. Мирзаев, К.Ю. Окишев, К.Д. Мирзаева // Известия Челябинского научного центра. Информатика и информационные системы. – 2002. – Вып. 4 (17). – С. 21 – 30.

### **Increase of amplitude of accelerating wakefield excited by sequence of short relativistic electron bunches in plasma at magnetic field use**

#### **Вплив зовнішнього магнітного поля на збільшення амплітуди прискорюючого кільватерного поля , збуджуваного послідовністю коротких релятивістських електронних згустків у плазмі**

*Бондар Д. С. (науковий керівник – професор, д. ф-м.н. Маслов В. І.)*

Earlier, the authors found a mechanism for the sequence of short relativistic electron bunches, which leads to resonant excitation of the wakefield, even if the repetition frequency of bunches differs from the plasma frequency. In this case, the synchronization of frequencies is restored due to defocusing of the bunches which get into the bad phases with respect to the plasma wave. However, in this case, the bunches are lost, which as a result of this do not participate in the excitation of the wakefield. In this paper, numerical simulation was used to study the dynamics of electron bunches and the excitation of the wakefield in a magnetized plasma by a long sequence of short bunches of relativistic electrons. Using the code lcode, numerical simulation of the growth of the wakefield amplitude was



performed. It is shown that when the resonance is maintained, the amplitude of the wakefield increases in comparison with the case of the initial resonant conditions. The simulation results of the mechanism of maintaining the resonance of electron bunches with a wakefield using a magnetic field are presented in this paper. When a magnetic field is used, the defocussed bunches return to the region of interaction with the field after a certain time. In this case, the electrons of the bunches, returning to the necessary phases of the field, participate in the excitation of the wakefield. Also, the use of a magnetic field leads to an increase of the frequency of the excited wave relative to the repetition frequency of bunches. The latter increases the time for maintaining the resonance and, consequently, leads to an increase of the amplitude of the excited wakefield.

### Spectra analysis of runaway electrons synchrotron radiation for the recent EAST runaway experiment

#### Аналіз спектрів синхротронного випромінювання втікаючих електронів для нещодавнього експерименту на токамаці EAST

*Бочко В. Ю. (науковий керівник – проф. Панкратов І. М.)*

Generation of runaway electrons during disruptions poses a potential threat to the safe operation of large tokamaks. The energy of these electrons can reach as high as tens of MeV, which could lead to serious damage of plasma-facing-component (PFC) surfaces in large devices like ITER [1]. Therefore, an effective monitoring of the runaway electrons is an important task. The most powerful diagnostic for runaway monitoring is diagnostic based on their synchrotron radiation. The theoretical background for such type of diagnostic was developed in [2-3].

Recently, investigation of runaway electrons generation was started in the EAST tokamak [4]. It was used synchrotron radiation diagnostic for runaway monitoring. In ref. [5] it was provided more detail analysis of synchrotron radiation spectra for the recent EAST experiment.

The theoretical analysis of the synchrotron radiation of runaway electrons with taking into account features of the relativistic electron motion in tokamak was carried out in [3], where it was derived the expression for instantaneous spectral density of the emitted power:

$$P_{full}(\lambda) = i \frac{2\pi c e^2}{\lambda^3 \Gamma^2} \int_c du \left\{ \left( \frac{1-2u^2}{u} I_0(au^3) - \frac{4\eta}{1+\eta^2} u I_1(au^3) \right) \exp \left[ -\frac{3}{2} \xi \left( u - \frac{u^3}{3} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

where

$$a = \frac{\xi \eta}{1+\eta^2}, \quad \xi = \frac{4\pi R}{3\lambda \Gamma^3 \sqrt{1+\eta^2}}, \quad \eta = \frac{v_{\perp}}{v_{dr}} \approx \frac{eBR\theta_p}{m_e c^2 \Gamma}, \quad \theta_p = \frac{v_{\perp}}{v_{\parallel}},$$

$c$  – speed of light,  $e$  and  $m_e$  are the charge and mass of electron,  $\lambda$  – wavelength,  $\Gamma \gg 1$  is the relativistic factor,  $R$  – major radius of runaway electrons position,  $B$  – local value of confinement magnetic field,  $v_{\parallel}$ ,  $v_{\perp}$  are longitudinal and transversal components of velocity with respect to confinement magnetic field ( $v_{\parallel} \gg v_{\perp}$ ),  $I_0, I_1(z)$  – modified Bessel function.

Spectra analysis can be simplified by using asymptotic approximation of integral (1). Integral (1) can be integrated by saddle point method when  $\xi \gg 1$ . When the saddle point is  $u_0 = (\sqrt{1+\eta^2}/(1+\eta), 0)$  the asymptotic expression becomes:

$$P_{as}(\lambda) \approx \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c e^2 \Gamma (1+\eta)^2}{\lambda^2 R \sqrt{\eta}} \exp \left( -\frac{4\pi}{3} \frac{R}{\lambda \Gamma^3} \frac{1}{1+\eta} \right). \quad (2)$$

This expression correctly describes spectra in the case of EAST. In [4], expression (2) was used for spectra analysis and on the base of synchrotron radiation spectra and synchrotron radiation spot shape joint analysis it was deduced that the energy of runaways was  $E=30\text{MeV}$  and pitch angle was  $\theta_p = 0.16$  (shot #28957). In [5], precise expression (1) was used in order to validate and detail results of [4]. It was confirmed the validity of using (2) for spectra analysis in the case of EAST.

#### Acknowledgments

Publication is based on the research provided by the grant support of the State Fund for Fundamental Research (F76/126 – 2017).

#### References:

1. Progress in the ITER physics basis. Chapter 3: MHD stability, operational limits and disruptions // Nuclear Fusion. — 2007. — V. 47, No. 6. — P. 128-202.

2. Pankratov I.M. Analysis of the Synchrotron Radiation Emitted by Runaway Electrons // Plasma Physics Reports. — 1996. — V. 22, No. 6. — P. 535-538.
3. Pankratov I.M. Analysis of the Synchrotron Radiation Spectra of Runaway Electrons // Plasma Physics Reports. — 1999. — V. 25, No. 2. — P. 145-148.
4. Zhou R.J., Hu L.Q., Li E.Z., Xu M., Zhong G.Q., Xu L.Q., Lin S.Y., Zhang J.Z. and the EAST Team. // Plasma Physics and Controlled Fusion. — 2013. — V. 55, No. 5. — 055006.
5. Pankratov I.M., Bochko V.Y. Spectra analysis of runaway electron synchrotron radiation for the recent east runaway experiment // East Eur. J. Phys. — 2017. — V. 4, No. 3. — P. 26-30.

### **Дослідження дисперсійних характеристик квазічастинок в ультрахолодних розріджених газах**

*Булахов М.С. (науковий керівник – проф. Слюсаренко Ю.В.)*

Теоретичне дослідження присвячене вивченню певного аспекту явища бозе-конденсації у слабонеідеальному газі бозе-атомів, а саме тонкощів, пов'язаних з описом системи на основі урахування в гамільтоніані квадратичних членів за операторами народження та знищення надконденсатних частинок. Проведено аналіз коректності основної парадигми – так званого боголюбівського наближення [1, 2]. Здобуто систему рівнянь, що враховує внесок квадратичних поправок до хімічного потенціалу та густини частинок у конденсованому стані [3]. Виявлено неспроможність дельтаподібного або точкового потенціалу взаємодії у випадку врахування квадратичних поправок. Для вирішення проблеми запропоновано інші, більш фізичні види потенціалів взаємодії частинок газу – модель напівпрозорих сфер та гаусівський, що мають декілька переваг, серед яких можливість врахування нелокальності взаємодії частинок газу. Через нетривіальні структури таких потенціалів та нелінійність системи рівнянь відповідний розв'язок проведено за допомоги сучасних чисельних методів.

Отримані результати вказують на очікувану фізичну поведінку густини конденсованих частинок в залежності від густини частинок газу. Поведінка ж хімічного потенціалу вказує на те, що поправки та нелокальний характер взаємодії можуть давати внесок того ж порядку, що й основний член. Останнє призводить до появи щілини у спектрі квазічастинок, яка відсутня у боголюбівському наближенні [1, 4].

Таким чином, представлені результати мають бути корисні не тільки для подальшого розвитку теоретичних підходів [5], але й у майбутніх більш детальних експериментальних дослідженнях властивостей систем с Бозе-Ейнштейнівським конденсатом, у яких через розвиток технік й методів наукового дослідження необхідна коректність і постійно зростаюча точність теоретичного опису проблеми.

### **Список літератури:**

1. Pitaevskii Lev. Bose-Einstein Condensation / L. Pitaevskii, S. Stringari. – Norfolk: Biddles Ltd, King's Lynn, 2004. – 400 p. – ISBN – 0198507194
2. Ахиезер Александр Ильич. Методы статистической физики/ А.И. Ахиезер, С.В. Пелетминский. – Москва: Наука, 1977. – 367 с.
3. Толмачев В. В. Теория бозе-газа / В. В. Толмачев.— М.: Изд. МГУ, 1969.— 411 с.
4. Daniel Miller. Studying Coherence in Ultra-Cold Atomic Gases: PhD / D. Miller. – MIT, 2006. – 141 p.
5. B. Capogrosso-Sansone, S. Giorgini, S. Pilati, L. Pollet, N. Prokof'ev, B. Svistunov and M. Troyer. Beliaev technique for a weakly interacting Bose gas / New J. Phys. 12, 2010, p. 043010.

### **Динаміка процесу електролітно-плазмової обробки міді**

*Буряк І. В. (науковий керівник – інж. Мігаль О. В.)*

Вироби з міді використовуються як елементи конструкції виробів для хімічної, фармацевтичної і харчової промисловості. Мідь є пластичною та легко обробляється, але існують випадки, коли потрібно полірована поверхня і тут пластичність міді є швидше перешкодою. При механічному поліруванні міді відбувається потрапляння частинок абразиву в поверхню, що обробляється [1], при цьому порушуються експлуатаційні характеристики виробу. Для міді використовуються різні методи не механічного полірування [2]. Одним з методів отримання якісної поверхні із заданою шорсткістю є метод електролітно-плазмового обробки [3, 4]. Існує актуальний і сучасний метод для фінішної обробки поверхні металів і сплавів [5]. Для цього методу обробки характерно використання не токсичних електролітів, що робить безпечно застосування їх у фармацевтичній і харчовій промисловості. Дослідження динаміки процесу електролітно-плазмового полірування проводилися на установці, що зроблена по відомій схемі [3]. Джерело живлення постійного струму є трансформаторним трифазним та

виконано за схемою Ларіонова з керованим мостом. Вихідний опір джерела живлення 0.18 Ом. Джерело живлення забезпечує напругу в 280 В і максимальний струм 120 А. Пристрій занурення забезпечує занурення об'єкта в електроліт на задану оператором глибину з постійну швидкість занурення 5 мм/с. Система збору та обробки даних вимірює струм навантаження, напругу джерела живлення, температуру електроліту. Вимірювання проводяться зі швидкістю 20 вимірювань в секунду. Відносна похибка вимірювань становить по струму і напрузі не більше 0.5%, по температурі - 1%. В якості електроліту в цих дослідженнях було використано розчин сульфату амонію з додаванням сірчаної кислоти. Вміст сульфату амонію становив 4% та сірчаної кислоти 1%. Концентрації компонентів вказані в масових відсотках. Об'єктами дослідження були зразки розміром 75x25x2 мм, виготовлені з листової електротехнічної міді марки М2.

Спираючись на результати, що були отримані при дослідженні динаміки електролітно-плазмової обробки міді були зроблені наступні висновки: мідні вироби можуть бути відполіровані в електроліті наступного складу:- сульфат амонію 4%, сірчана кислота 1%. Процес полірування можливий тільки за умови формування суцільної стійкої парогазової оболонки навколо виробу. Основними процесами при поліруванні є процеси, які протікають на поверхні виробу в плазмі газового розряду. Час обробки від моменту переходу процесів електролізу до стабільного газового розряду в парогазової оболонці може становити 10-90 с. При цьому основні параметри шорсткості поверхні Ra і Rz зменшуються в середньому в 3-5 разів в порівнянні з початковими значеннями.

Спираючись на отримані результати нами була проведена полірування мідних виробів, які є елементами ректифікаційної колони для виробництва ефірних олій. Метод електролітно-плазмової обробки цих виробів показав відмінний результат і дуже високу продуктивність, ефективність та низькі енерговитрати.

#### Список літератури:

1. М. И. Гарбер, Декоративное шлифование и полирование, 2-е, доп. и переработ. ed., Москва: Машиностроение, 1964, p. 192.
2. С. Я. Грилихер, Обезжиривание, травление и полирование металлов, 5-е, перераб. и доп ed., П. Вячеславова, Ed., Ленинград: "Машиностроение", Ленинградское отделение, 1983, p. 101.

3. A. L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews and S. J. Dowey, "Plasma electrolysis for surface engineering," Surface and Coatings Technology, no. 122, pp. 73-93, 1999.
4. А. Д. Погребняк, Ю. Н. Тюрин, А. Г. Бойко, М. Л. Жадкевич, М. К. Кальшканов and Ш. М. Рузимов, "Электролитно-плазменная обработка и нанесение покрытий на металлы и сплавы," Успехи физ. мет, vol. 6, pp. 273-344, 2005.
5. P. Gupta, G. Tenhundfeld, E. O. Daigle and D. Ryabkov, "Electrolytic plasma technology: Science and engineering—An overview," Surface & Coatings Technology, no. 201, pp. 8746-8760, 2007.

#### Магнітогідродинамічна нестійкість увігнутої поверхні рідкого дивертора токамака

*Веліжаніна Є. С. (науковий керівник – доц. Павленко І. В.)*

На сучасних токамаках компоненти, що контактують із плазмою, розробляються з урахуванням значних теплових навантажень, забруднення плазми через розпилення матеріалу, характеристик вторинної радіоактивності та можливості легкого зміщення компонентів.

З цієї причини ідея рідкого літєвого дивертора була вперше запропонована багато років тому і була реалізована на National Spherical Torus Experiment [1].

Втім, числені магнітогідродинамічні нестійкості можуть розвиватися у провідній рідині дивертора. Деякі з них - це нестійкості Кельвіна-Гельмгольца і Релея-Тейлора, які приводять до викиду матеріалу з поверхні дивертора [1].

Рідкий метал дивертора постійно рухається для того, щоб запровадити оновлення матеріалу, і поверхня дивертора викривлена для того, щоб повторити геометричну конфігурацію утримуючого плазму магнітного поля. Таким чином, виконуються необхідні умови розвинення іншого типу нестійкості - нестійкості Гертлера. Якщо точніше, то нестійкість Гертлера розвивається у приміжовому шарі увігнутої поверхні. Первісно ця нестійкість гідродинамічна (існує і за відсутності магнітного поля), але магнітне поле суттєво впливає на її властивості. Вихори Гертлера існують та можуть бути виявлені тоді, коли потік вже не ламінарний, але ще не досяг турбулентного режиму. Турбулентний режим може бути описаний лише чисельно. Але утворення та розвинення вихорів Гертлера можуть вивчатися в

аналітичному та чисельному наближеннях. Це є основною метою дослідження.

*Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом (Ф76/126 – 2017).*

### **Список літератури:**

1. M. Jaworski, T. Abrams, J. Allain, M. Bell, R. Bell, A. Diallo, T. Gray, S. Gerhardt, R. Kaita, H. Kugel, et. al., «Liquid lithium divertor characteristics and plasma-material interactions in nstx high-performance plasmas,» Nuclear Fusion, vol. 53, no. 8, p. 083032, 2013.

### **Вплив коефіцієнту заповнення і частоти на структуру уніполярного імпульсного розряду**

*Волков В.А. (науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Лісовський В.О.)*

Газорозрядна плазма широко застосовується на цей час в багатьох технологічних процесах - травління напівпровідникових матеріалів і осадження плівок при виробництві виробів мікроелектроніки, сонячних панелей, зміцнення металевих виробів і інструментів, накачування газорозрядних лазерів, плазмова стерилізація тощо. Зазвичай в таких технологічних камерах використовується тліючий розряд, а також високочастотні емнісний і індукційні розряди, які мають безліч як переваг, так і недоліків. В тліючому розряді може спостерігатися сильне нагрівання зразків, що оброблюються, і дугоутворення, що може призвести до їх термічного руйнування. Високочастотні розряди потребують громіздких генераторів і систем узгодження, що підвищує вартість цього обладнання. Тому останнім часом велика увага стала приділятися імпульсним середньо частотним (мікросекундним) розрядам і їх характеристикам. Імпульсні газорозрядні установки знаходять широке застосування в джерелах світла, мас-спектрометрії, приладах оптичної емісійної спектрометрії, в лазерах, плазмових дисплейних панелях, а також при плазмовому азотуванні і імплантації, реактивному магнетронному нанесенні тонких плівок і багатьох інших. Але на відміну від високочастотного і тліючого розрядів, середньочастотні імпульсні розряди вивчені значно менше.

Додатковою перевагою імпульсних розрядів є можливість зміни не тільки частоти прикладеної напруги, але і коефіцієнту заповнення (duty cycle). Тому предметом дослідження цієї роботи були вплив

частоти і коефіцієнту заповнення на структуру і властивості уніполярного імпульсного розряду низького тиску в азоті.

У цій роботі були виміряні осцилограми струму і напруги уніполярного імпульсного розряду в діапазоні тиску азоту від 0,1 до 1 Торр, при частотах від 20 до 300 кГц і коефіцієнтах заповнення від 3 до 90%. Відстань між плоскими електродами дорівнювала 100 мм, а внутрішній діаметр розрядної трубки – 56 мм.

Виявлено, що можливо змінювати осьову структуру уніполярного імпульсного розряду за допомогою коефіцієнту заповнення (duty cycle) і частоти. При невеликих значеннях коефіцієнту заповнення розряд складається не тільки з катодного шару і негативного світіння, але також з позитивного стовпа і анодного світіння. Підвищення коефіцієнту заповнення призводить до звуження і навіть зникнення позитивного стовпа, а негативне світіння може досягати поверхні анода. Показано, що при низькій частоті 20 кГц товщина катодного шару слабо змінюється з ростом коефіцієнту заповнення. Однак при високих частотах (200 кГц і вище) товщина катодного шару при невеликих коефіцієнтах заповнення D може бути майже 30 мм, але з підвищенням D вона швидко зменшується і досягає насичення приблизно 14 мм при тиску азоту 0,1 Торр. Вплив коефіцієнту заповнення і частоти на структуру розряду найбільш яскраво видно при великому тиску газу.

За допомогою оптичного спектрометра було досліджено випромінювання уніполярного імпульсного розряду в азоті при різних коефіцієнтах заповнення. Отримано осьові профілі ліній випромінювання першої і другої позитивних систем молекул азоту, а також першої негативної системи молекулярних іонів азоту. Показано, що в позитивному стовпі уніполярного імпульсного розряду, на відміну від тліючого розряду, спостерігається інтенсивне світіння молекулярних іонів азоту. Це пов'язано, мабуть, з більш високою напруженістю електричного поля в позитивному стовпі імпульсного розряду, ніж в тліючому розряді.

### **Розрахунок розподілу зовнішнього повздовжнього магнітного поля в установці КСПП-М**

*Волкова Ю.Є. (науковий керівник – д.ф.-м.н. Соляков Д.Г.)*

Метою цієї роботи є розрахунок зовнішнього повздовжнього магнітного поля для квазістаціонарного плазмового прискорювача нового покоління КСПП-М. Необхідність розробки КСПП-М зумовлена

створенням нового плазмового пристрою для вивчення поведінки матеріалів під впливом циклічних плазмових навантажень, під час розвитку перехідних явищ у ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), таких як зриви струму (disruptions) і граничні локалізовані моди (Edge Localized Modes - ELM), які залишаються однією з найбільш важливих проблем, що визначають роботу токамака. Нова установка є комбінацією звичайного КСПП та стаціонарного прискорювача, які можуть використовуватись одночасно для цілей дослідження взаємодії плазми з поверхнею (Plasma Surface Interaction – PSI) при розміщенні на протилежних кінцях вакуумної камери [1].

Перші експерименти у КСПП-М було проведено як за відсутності зовнішнього магнітного поля, так і з повздовжнім магнітним полем, величина якого становила 400 Гс у зоні прискорювального каналу і досягала максимального значення 3 кГс на відстані 2,7 м від прискорювача. У [1] було показано, що за присутності зовнішнього магнітного поля напруга розряду має найбільше значення, а розряд у прискорювачі стає більш стабільним. Також у [1] зазначено, що за присутності зовнішнього магнітного поля величина густини енергії у плазмовому потоці на значних відстанях від прискорювача має менше значення, ніж у випадку без поля, проте різниця між енергетичними характеристиками для обох випадків зростає зі збільшенням току розряду.

У даній роботі проаналізовано результати отримання першої плазми у КСПП-М та зроблено висновки стосовно подальших досліджень і необхідності корегування системи зовнішнього магнітного поля з метою оптимізації параметрів плазмового потоку при його транспортуванні у зовнішньому магнітному полі. У зв'язку із зазначеним вище було написано програму для розрахунку розподілу зовнішнього повздовжнього магнітного поля.

Магнітна система КСПП-М складається з 26 співвісних котушок магнітного поля: котушки корегування на камері прискорювача (3 шт.), котушки основного поля (21 шт.), котушки корегування на прямокутній камері (2 шт.). Кожна котушка магнітної системи моделювалася нескінченно тонким витком зі струмом [2]. Передбачається, що виток зі струмом знаходиться посередині фізичних розмірів котушки, розподіл поля якої необхідно розрахувати. Таким чином було отримано залежність напруженості повздовжнього магнітного поля від повздовжньої координати та від радіальної координати.

Наразі програма активно застосовується для вибору розподілу струмів, що протікають по окремим котушкам магнітної системи з метою формування плавного зростання магнітного поля уздовж осі установки і забезпечення замагнічування плазмового потоку. Отримані розрахунки буде використано у наступних експериментах з КСПП-М, що підтверджує актуальність та важливість даної роботи.

### Список літератури:

1. Novel test-bed facility for PSI issues in fusion reactor conditions on the base of next generation QSPA plasma accelerator/ I. E. Garkusha, V. V. Chebotarev, S. S. Heraschenko, et al./Nuclear fusion. 2017, v.57
2. Д. Монтгомери Получение мощных магнитных полей с помощью соленоидов. – М.:МИР, 1971 – 360 с.
3. W. Smythe Static and dynamic electricity. - McGraw-Hill book company Inc., 1950 – 635 p.
4. А.И. Морозов Введение в плазмодинамику: Учебник. - М.:ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 576 с.
5. Solyakov D.G. High-power plasma dynamic systems of quasi-stationary type in IPP NSK KIPT: results and prospects//Problems of atomic science and technology. 2015, v.1, p. 104-109

### Charmed quark and meson production in collisions of ultrarelativistic protons

#### Народження зачарованих кварків та мезонів у зіткненнях ультрарелятивістських протонів

*Горбатюк Т. М. (науковий керівник – Котляр В.В.)*

Production of  $c$  anti- $c$  quark pairs and D-mesons in proton-proton collisions is studied under conditions of the experiments at the Large Hadron Collider at CERN.

Computation of parton processes is carried out with programs obtained with the help of MadGraph5\_aMC@NLO in a model with massive  $c$ -quarks. Simulation of  $p + p \rightarrow c + \text{anti-}c + X$  is performed in the leading order (LO) of QCD perturbation theory; at the next-to-leading order (NLO), which includes the processes of real and virtual particle emission; and taking into account NLO and  $N^2$ LO contributions at the tree level. Parton processes are generated with the LO and NLO parton distribution functions NNPDF 2.3. Space-like and time-like showers are consistently included in the calculations with Pythia 8 event generator. The Lund string model implemented in Pythia

8 is used to describe parton fragmentation. Influence of multi-parton interactions on observables in the meson production is analyzed.

Integral and differential cross sections for the production of c-quarks,  $D^+$ ,  $D^0$ ,  $D^{*+}$ , and  $D_s^+$  mesons are calculated and compared with the ALICE and LHCb data.

It is shown that the integral cross section for c-quark production, computed at NLO accuracy, reduces by factor  $\sim 45$  relatively to the Born one. At the same time, the cross section at NLO and  $N^2$ LO at the tree level increases in 12% and 19%. Integral and differential cross sections for production of  $D^+$ ,  $D^0$ ,  $D^{*+}$ , and  $D_s^+$  mesons are calculated and compared with the ALICE and LHCb data.

### **Створення програмного забезпечення для обробки оптичних спектрів випромінювання плазми магнетронного розряду**

*Дроздов Д. Р. (науковий керівник – доц. В.В. Бобков)*

Останнім часом помітно збільшився інтерес до вивчення фізики магнетронного розряду (МР), адже одночасно з традиційним технологічним використанням [1], він застосовується при вирішенні ряду фізичних проблем [2]. Інтенсивне світіння плазми над поверхнею катоду магнетронної розпилувальної системи (МРС) вказує на можливість використання оптичної спектрометрії для експрес-аналізу елементного складу твердих тіл.

Кількісний контроль збуджених частинок одночасно зі всієї області потужного світіння МР дозволяє зберегти однакові умови реєстрації випромінювання для всіх частинок, емісії яких досліджуються, і дає можливість вивчати розподіл збуджених частинок уздовж осі магнетрону. Документальність отриманої інформації на фотоплівці чи ПЗЗ (пристрій з зарядовим зв'язком) і використання сучасних комп'ютерних технологій [3] дає можливість суттєво підвищити точність та експресність при визначенні параметрів спектру. Це дозволяє отримати оригінальні наукові результати та вирішити проблеми, які до цього не могли бути реалізовані при існуючих методах реєстрації та обробки експериментальних даних.

Наразі здійснюється проект цифрової зйомки інформації безпосередньо з МРС. Розробляється програмне забезпечення, що дозволяє отримати фізичну інформацію безпосередньо на

комп'ютері, без використання додаткових вимірювальних пристроїв. Для створення такого програмного забезпечення була використана мова програмування Python з наступним рядом додаткових модулів: PIL, SciPY, OpenCV і NumPy. У якості тестових зображень були використані переведені в цифрову форму фотокадри плівкових апаратів, що отримані при роботі на МРС. Сканування фотокадрів виконано з використанням слайд-сканерів фотоплівки високої роздільної здатності.

Головним завданням обробки зображення спектра є: локалізація лінії спектру, визначення її меж і отримання розподілу інтенсивності вздовж лінії, яка характеризує фізичні параметри збуджених частинок визначеного типу, що формуються в прикатодній області. У модулі PIL є спеціальні процедури, що дозволяють автоматично використовувати логіку фільтрації зображень перед їх подальшим використанням. Аналіз результатів роботи кількох алгоритмів дав змогу припустити, що в даному випадку найякісніший метод містить наступні етапи [4]: згладжування зображень фільтром Гауса, визначення меж ліній (оператор Собеля), знаходження екстремуму інтенсивності кожної строки виділеної зони та інтерполяцію ліній поліномом 2-го ступеня для визначення кривизни лінії Після визначення коефіцієнтів поліному можливо з заданим координатним кроком визначити розподіл інтенсивності уздовж лінії.

Таким чином, створено додаток, що дозволяє відкрити цифрове зображення спектру і, обравши лінію, в автоматичному режимі отримати розподіл інтенсивності уздовж цієї лінії та записати його в окремих файлах для подальшого фізичного аналізу.

### **Список літератури:**

1. Б.С. Даналин, В.К. Сырчин, Магнетронные распылительные системы, М: Радио и связь, 1982.
2. В.М. Градов, А.М. Зимин, С.Е. Кривицкий, А.М. Шумов, Автоматизированный спектрометрический комплекс для диагностики плазмы магнетронного разряда, ВАНТ. 1 (2009) с. 64-71.
3. Р. Гонсалес, Р. Вудс Цифровая обработка изображений — М: Техносфера, 2005 – 1007с
4. В.В. Стругайло, Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений, Наука и образование, 5 (2012) с. 270-281.

## Дислокаційна структура борідних сплавів нікелю

Дьячков Д. А. (науковий керівник – доц. Семененко В. Є.)

Борідні та карбідні сплави на основі перехідних металів знаходять широке застосування як жароміцні і зносостійкі матеріали в атомній і нетрадиційній енергетиці.

У даній роботі в якості об'єкта дослідження обрано легований бором нікель. Оскільки бор має великий атомний діаметр по відношенню до домішок впровадження (вуглець, азот), він знижує дифузійну рухливість легуючих елементів, необхідних для утворення карбідних і інтерметалідних фаз. Утворення комплексу атом бору-вакансія (енергія зв'язку  $\approx 0.4$  eВ) грає важливу роль в транспорті бору до структурних дефектів кристалічної решітки, а також до кордонів зерен і міжфазних кордонів [1].

Механізм впливу бору в сплавах з великим вмістом борідних фаз не цілком ясний: сама фаза може уповільнювати дифузію, тобто, її проникність менше, ніж у твердому розчині, а побічно вона може призводити до прискорення дифузії через утворення міжфазних кордонів [2]. Як відомо, на фізико-механічне властивості конструкційних матеріалів визначальну роль впливають дислокації, проте дані по еволюції дислокаційної структури фаз, що утворюється безпосередньо в процесі фазоутворення, практично відсутні [2,3]. Саме тому в даній роботі досліджувалася дислокаційна структура борідних сплавів.

Застосовуючи метало- та рентгеноструктурний аналізи, проведено дослідження впливу борідних покриттів на дислокаційну структуру нікелю. Безумовно, що при дифузії бору в нікелі під суцільним дифузійним шаром формуються великі скупчення дислокацій. Методом електронної мікроскопії на зразках, отриманих електрохімічним способом і методом спрямованої кристалізації, визначено, що центр кристалізації боріда  $Ni_3B$  має шестигранну форму. Методом термічного вакуумного травлення в борідами  $Ni_3B$ ,  $Ni_2B$ ,  $NiB$ ,  $Ni_4B_3$  виявлені місця виходу дислокаційних ліній у формі чотиригранника. У сплавах, отриманих як твердофазним електрохімічним способом, так і спрямованою кристалізацією на міжфазному полукогерентному кордоні борід нікелю ( $Ni_3B$ ) - нікелева матриця виявлені дислокації невідповідності, визначена відстань між епітаксійними дислокаціями.

При спрямованій кристалізації сплаву  $Ni$  - 3,8 мас.%  $B$  на міжфазному кордоні спостерігається мінімальна кристалографічна і

структурна невідповідність ( $\approx 2\%$ ) між фазами, при якому міжфазна межа має мінімальну питому поверхневу енергію. Останнє обумовлює структурну стабільність борідних сплавів нікелю аж до предплавильних температур, що розширює можливі сфери їх застосування в нових галузях науки та техніки .

### Список літератури:

1. Воеводин В. Н. Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов / В. Н. Воеводин, И. М. Неклюдов. – К.: Наукова думка, 2006. –С. 115-160.
2. Azarenkov N. Thermal and dimensional stability of refractory carbide microcomposite structure / N. Azarenkov, V. Semenenko, A. Leonovich // Reliability and Life of Machines and Structures. – 2013. – Issue 37. – P. 111-123.
3. Н. А. Азаренков, В. Е. Семененко, В. И. Ткаченко / Перспективные конструкционные материалы нетрадиционной атомной энергетики // - Х.: ХНУ, 2016. –С. 86-88.

### Великий адронний колайдер та світ навколо нас

Загоскін Т.В. (науковий керівник – ст.н.сп. Корчин О.Ю.)

Великий адронний колайдер (ВАК) – це прискорювач зустрічних пучків протонів та важких іонів, в якому ці пучки зіштовхуються, а народжені при цьому частинки аналізуються. ВАК є [1] найбільшим у світі прискорювачем. Роботу з цією установкою здійснюють [2] понад 10 000 науковців з більш ніж 100-а країн. Для молодих фізиків співробітництво з колабораціями ВАК може стати важливим етапом у кар'єрі.

У нашій доповіді ми надаємо деякі відомості про структуру ВАК та про роботу українських вчених над створенням ВАК і аналізом експериментальних даних, отриманих на цьому прискорювачі. Також ми розповідаємо про те, як працює з громадськістю ЦЕРН – організація, яка керує ВАК. Популяризація фізики, яку здійснює ЦЕРН, може стати прикладом для будь-якого науковця. Безкоштовні екскурсії для усіх бажаючих, конкурси для дітей, залучення дітей та студентів до реальної роботи на колайдері – все це робить фізику цікавою навіть для людей, далеких від неї, і дає можливість громадськості побачити практичну користь від вивчення фізики.

### Список літератури:

1. <http://home.cern/topics/large-hadron-collider>.
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Large\\_Hadron\\_Collider](https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider).

### Переріз пружного процесу електрон-протонного розсіяння з урахуванням випромінювання м'яких фотонів

*Зацаринна К.С. (науковий керівник – проф. Меренков М.П.)*

В нещодавно проведених експериментах з дослідження енергетичних рівнів мюона в мюонному водні виявилось, що радіус протона приблизно на 5% менше, ніж його радіус, отриманий в більш ранніх експериментах із вивчення енергетичних рівнів електрона у водні й експериментах з розсіяння електронів на протонах [1]. У моїй роботі проводиться розрахунок перерізу електрон-протонного розсіяння з урахуванням випромінювання м'яких фотонів.

У першій частині роботи проводиться розрахунок перерізу розсіяння в нижньому наближенні теорії збуджень без урахування радіаційних поправок [2]. Матричний елемент розсіяння, а саме його адронна частина включає електричний і магнітний форм-фактори протона, які можуть бути отримані при вимірюванні диференційного перерізу розсіяння при різних переданих енергіях та кутах розсіяння. З отриманих форм-факторів й вираховується радіус протона [3-4].

У другій частині розраховується поправка до перерізу за рахунок випромінювання м'яких фотонів. М'які фотони - це фотони, енергія яких менша ніж мінімальна енергія, яку може зареєструвати вимірювальний пристрій. У процесі інтегрування для того, щоб позбутися інфрачервоної розбіжності м'якому фотону надається фіктивна маса. У кінцевому ж виразі для поправки фіктивна маса фотона повинна бути відсутня, але для її повного виключення необхідно також обчислити поправку до перерізу за рахунок випромінювання жорстких фотонів. Для обчислення інтерференційних доданків, які виникають при випромінюванні фотона двома частинками, був використаний метод інтегрування 'т Гофта та Вельтмана.

Неврахування радіаційних поправок до перерізу електрон-протонного розсіяння – це лише одна із гіпотез, чому виникає розходження між радіусами, отриманими в експериментах з електрон-протонним розсіянням та з мюонним воднем. При цьому зробити свій внесок до вирівнювання результатів, окрім м'якої поправки, можуть ще поправки за рахунок випромінювання жорстких фотонів, двох або

багато фотонний обмін [5]. Питання про узгодження протонних радіусів залишається відкритим.

### Список літератури:

1. Carl E. Carlson The Proton Radius Puzzle - 18.02.2015. Greiner Reinhardt Quantum Electrodynamics third edition/ <https://arxiv.org/pdf/1502.05314.pdf>
2. W.Greiner J.Reinhardt - ISBN 3-540- 44029-1 3rd Edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
3. А.И.Ахиезер М.П.Рекало Электродинамика Адронов /А.И.Ахиезер М.П.Рекало - Киев, "Наукова думка", 1977
4. C. F. Perdrisat, V. Punjabi, M. Vanderhaeghen - Nucleon Electromagnetic Form Factors, Prog.Part.Nucl.Phys.59:694-764, 2007 <https://arxiv.org/pdf/hep-ph/0612014.pdf>
5. J. Arrington, P. G. Blunden, W. Melnitchouk - Review of two-photon exchange in electron scattering. - 23.07.2011. - <https://arxiv.org/pdf/1105.0951.pdf>

### Пружна динаміка мембрани для створення мем'ємності

*Івахненко О.В. (науковий керівник – проф. Шевченко С.М.)*

Останнім часом почали набирати популярність мемристивні елементи схем. Мемристивні елементи схем мають пам'ять і їх поточні параметри залежать від того що з ними сталося раніше.

На даний момент активно розробляються три види мемристивних елементів, а саме: мемристор, мем'ємність та меміндуктивність. Їх планується використовувати для створення різного роду запам'ятовуючих, та обробляючих пристроїв.

В даній роботі ми обговорюємо одну із можливих реалізацій мем'ємності [1-8] на основі мембран, зокрема мембрани із графену. Для створення мем'ємності був обраний графен із-за його унікальних механічних властивостей. Ми чисельно розв'язали рівняння пружності [9-11] для мембрани в безрозмірному вигляді, а потім домноживши на розмірні множники, які містять характеристики графену, отримуємо результати для графенових мембран. Та з подивом відзначили, що для опису переключення мембрани достатньо двох гармонік ряду Фур'є [12].

Для створення мем'ємності в якості однієї з обкладок використовується стиснута мембрана, яка може знаходитись в одному із двох бістабільних станів. А друга обкладка звичайна. В залежності від того мембрана в верхньому положенні або в нижньому у мем'ємності



буде різна ємність, за рахунок різної відстані до другої обкладки конденсатора.

### Список літератури:

1. Y. V. Pershin and M. Di Ventra, *Advances in Physics* 60, 145 (2011)
2. J. Martinez-Rincon and Y. V. Pershin, *IEEE Trans. El. Dev.* 58, 1809 (2011).
3. M. Abdi, P. Degenfeld-Schonburg, M. Sameti, C. Navarrete-Benlloch, and M. J. Hartmann, *Phys. Rev. Lett.* 116, 233604 (2016).
4. M. M. Benameur, F. Gargiulo, S. Manzeli, G. Autes, M. Tosun, O. V. Yazyev, and A. Kis, *Nat. Comm.* 6, 8582 (2015).
5. M. H. Bitarafan, H. Ramp, T.W. Allen, C. Potts, X. Rojas, A. J. R. MacDonald, J. P. Davis, and R. G. DeCorby, *J. Opt. Soc. Am. B* 32, 1214 (2015).
6. D. Davidovikj, J. J. Slim, S. J. Cartamil-Bueno, H. S. J. van der Zant, P. G. Steeneken, and W. J. Venstra, *Nano Lett.* 16, 2768 (2016).
7. M. Tomi, A. Isacson, M. Oksanen, D. Lyashenko, J.-P. Kaikkonen, S. Tervakangas, J. Kolehmainen, and P. J. Hakonen, *Nanoscale* 7, 14747 (2015).
8. E. S. Syrkin, S. B. Feodos'ev, K. V. Kravchenko, and A. V. Eremenko et al., *Low Temperature Physics* 35, 158 (2009)
9. С.П. Тимошенко Дж. Гере «Механика материалов» Издательство «Мир» 1976г.
10. Л.Д. Ландау Е.М. Лифшиц «Теория упругости» Издательство «Наука» 1987г.
11. А. В. Погорелов «Геометрические методы в нелинейной теории упругости» Издательство «Наука» 1967г.
12. R. D. Yamaletdinov, O. V. Ivakhnenko, O. V. Sedelnikova, S. N. Shevchenko, Y. V. Pershin, arXiv:1707.07639

### Дослідження можливості формування градієнтних структур у сплавах цирконію

*Кобильнік В.А. (науковий керівник - доцент Кіріченко В.Г.)*

Останнім часом велика увага приділяється вивченню і розробці градієнтних матеріалів з високими технологічними властивостями. Оптимізація фізичних і механічних властивостей градієнтних металевих матеріалів є можливою, коли нанорозмірні частинки додають до поверхневих шарів.

Цирконієві сплави та процеси їхнього утворення широко вивчаються з використанням різних методів аналізу структурно-фазового стану твердих тіл. Цирконієві сплави з унікальним малим перерізом захоплення теплових нейтронів (0,18 барн) мають високу радіаційну і

корозійну стійкість, через що активно використовуються в ядерній техніці, зокрема як конструкційні матеріали ядерної енергетики. Використовувані цирконієві сплави (E-110, E-125, E-635, Zry-2, Zry-4, M5, ZIRLO) відрізняються радіаційними властивостями, повзучістю під випромінюванням, корозійною стійкістю при високих температурах.

Експлуатаційні властивості і характеристики матеріалів, ядерних і радіаційних технологій таких, як сплави цирконію визначаються фазовими перетвореннями і сегрегаційними процесами одного з компонентів сплаву на поверхні в областях концентрації напружень при опроміненні.

Низка теорій і гіпотез процесів, що описують явища при опроміненні цирконієвих сплавів, не враховують зміни стану атомів заліза, і тому не можуть достовірно пояснити роль заліза в підвищенні радіаційної стійкості. Через низькі концентрації атомів заліза в цирконієвих сплавах (0,22 - 1,21 мас.%) застосування поширених відомих методів досліджень є малоефективним. Чи не єдиною дослідницькою методикою для визначення структурно-фазового стану таких сплавів є мессбауерівська спектроскопія (МС). У даному дослідженні використані всі можливості МС, а саме – застосовано як методику в режимі пропускання з метою отримання інтегральних відомостей по всій товщині оксидних плівок, так і режим реєстрації розсіяного випромінювання (конверсійних електронів і 6,3 кеВ характеристичного рентгенівського випромінювання) з метою дослідження розподілу атомів заліза.

Метою роботи є дослідження сплавів цирконію для створення градієнтних структур шляхом цілеспрямованого вибору типу термічної обробки та іонного опромінення деформованих і відпалених сплавів.

В результаті було встановлено, що в сплаві Zr – 1,03 ат.% Fe створюється поверхневий шар, який збагачено залізовмісними інтерметалідами в результаті вихідного відпалу деформованого сплаву за рахунок сегрегації фаз. При іонному опроміненні і подальшому термічному відпалі можна утворити градієнтні поверхневі структури з регулюванням глибини шару. При досить низьких температурах відпалу концентрація залізовмісних інтерметалевих фаз, які присутні в шарі 0,3 мкм зростає майже в два рази. Подальше підвищення температури відпалу опромінених поверхневих шарів призводить до зменшення концентрації таких фаз в поверхневому шарі за рахунок розпаду фаз і прискореної дифузії внаслідок утворення дефектів після опромінення.

Після опромінення імпульсом лазера на поверхні сплавів з'являються сходчасті структури хвильового типу, інтенсивність розвитку яких

залежить від складу сплаву. Таким чином, лазерна імпульсна обробка цирконієвих сплавів дозволяє регулювати концентрацію інтерметалідів в поверхневому шарі сплавів. Формування поверхневого шару сплавів відбувається в результаті плавлення шару і перерозподілу компонентів при наступному охолодженні з рідкофазного стану зі швидкістю приблизно  $10^6$  К/с в поверхневому шарі товщиною до 7000 Å.

### **Thioflavin T binding to the model fibrils of lysozyme: the effects of fibril twisting**

#### **Зв'язування Тіофлавіну Т з модельними фібрилами лізоциму: ефект закручування фібрил**

*Кокорев А.Е. (науковий керівник - проф. Трусова В.М.)*

One-dimensional crystallization of polypeptide chains followed by the formation of highly ordered protein aggregates, so called amyloid fibrils, is currently regarded as a major hallmark of more than 40 severe disorders, including Alzheimer's, Parkinson's and prion's diseases, some types of systemic amyloidosis, etc [1]. One of the most effective approaches to detecting the amyloid fibrils is based on the use of specific fluorescent dye Thioflavin T. The main advantages of this dye include dramatic increase of fluorescence intensity and shift of the excitation maximum upon fibril binding. These properties are explained by restriction of the rotation of the benzylamine and benzathiole rings about their common C-C bond in the dye-fibril complex [1].

An interesting feature of amyloid fibrils is their polymorphism, i.e. the ability to form various spatial structures (helical ribbon, twisted ribbon, nanotubes). The particular fibril's conformation is defined by the parameters such as chirality, electrostatic repulsion, elastic properties and entropy penalty arising from the solvation of the side groups and backbone of polypeptide chain [2]. Obviously, different polymorphic states may differ in their ability to associate with amyloid markers. Moreover, the ThT complexation pattern may depend on the topological characteristics(geometry) of a particular polymorph, such as, for instance, the twisting angle of the twisted ribbon. The present study was aimed at elucidating the effect of twisting on the binding of ThT to the model fibrils constructed from the K-peptide (GILQINSRW) that is supposed to represent the core region of lysozyme amyloid fibrils [3].

The model of K-peptide dimer, consisting of two antiparallel beta-strands, was designed using ABALONE and PatchDock. Then, CreateFibril script

was used to expand this dimer to fibrils 20 beta-strands long with twisting angles 0, 10, 20, 30, 40 degrees. In order to explore K-peptide-ThT binding, the molecular docking web servers PatchDock and FireDock were used.

It was found that within the construct with zero twisting angle ThT possesses the two preferential binding sites - the grooves lined with GIL and QIN with the binding energies  $\sim -25$  kcal/mol and  $\sim -21$  kcal/mol respectively. Within the twisted polymorphs, with the twisting angles 10, 20, 30 and 40 degrees, ThT molecule prefers the groove QIN, located at the center of beta-sheet where twisted ribbon curvature is minimal. The binding energies range from  $\sim -22$  kcal/mol (twisting angle  $10^\circ$ ) to  $\sim -10$  kcal/mol (twisting angle  $40^\circ$ ). These findings led us to suppose that the curvature effects play significant role in the determining the mode of ThT interaction with the twisted ribbon structures. To verify this assumption we examined the ThT association with several mutants of K peptide (I6K, I6E, I6L, I6F) where nonpolar isoleucine was substituted with the charged lysine and glutamic acid, another nonpolar residue leucine or aromatic residue phenylalanine. It was found that these mutations do not markedly affect the ThT binding specificity (in the twisted fibrils appeared to accommodate within the central groove with minimal curvature).

Cumulatively, the results obtained strongly suggest that the specificity of the classical amyloid marker Thioflavin T for the twisted fibril polymorphs is primarily determined by the curvature effects rather than amino acid sequence.

#### **References:**

1. Biancalana M., Koide S. Molecular mechanism of Thioflavin-T binding to amyloid fibrils // *Biochim. Biophys. Acta* – 2010 – Vol. 1804. – P. 1405-1412.
2. Aggeli A., Nyrkova I.A., Bell M., Harding R., Carrick L., McLeish T. C. B., Semenov A. N., Boden N. Hierarchical self-assembly of chiral rod-like molecules as a model for peptide  $\beta$ -sheet tapes, ribbons, fibrils, and fibers // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2001. – Vol. 98. – P. 11857–11862.
3. Tokunaga Y., Sakakibara Y., Kamada Y., Watanabe K., Sugimoto Y. Analysis of Core Region from Egg White Lysozyme Forming Amyloid Fibrils // *Int J Biol Sci.* – 2013. - Vol. 9(2). – P. 219–227.

#### **Гранулювання високочистого цинку**

*Колчін В.С. (науковий керівник - доктор ф.-м.н., проф. Ковтун Г. П.)*

В останні роки все більш інтенсивного розвитку набувають наукові дослідження і практичні розробки, пов'язані з отриманням і

використанням металів високої чистоти. Продукцію однакового складу використовують у різних сферах: медицині, харчовій промисловості, хімічній, машинобудівній промисловості та ін. Майже всі метали високої чистоти на світовому ринку пропонуються в різноманітному вигляді: порошки, гранули, зливки, стрижні, фольга та ін. Причому, випуск високочистих металів у вигляді порошків і різних гранул є характерним для всіх високочистих металів. Це пов'язано з тим, що в багатьох випадках виникає необхідність використовувати метали в дозованому вигляді. У випадку цинку подібна необхідність виникає, наприклад, при отриманні напівпровідникових матеріалів типу CdZnTe, низькофонових сцинтиляторів ZnWO<sub>4</sub>, ZnMoO<sub>4</sub>, ZnSe та інших сполук.

Отримані дистиляцією високочисті матеріали у вигляді злиwkів за своїми розмірами не завжди є зручними при подальшого використання без додаткового механічного переділу. Зручними для подальшого використання високочистих дистилятів є «сипучі» гранульовані вихідні метали, якими зручно оперувати без небезпеки внесення забруднення.

Робота присвячена дослідженню технології отримання високочистих гранул цинку з попередньо отриманого зливку цього матеріалу. За технологією гранулювання злиwk цинку вміщували в контейнер, розігрівали до плавлення, рідину просочували через спеціальні отвори у дні контейнера та кристалізували у охолоджуваній ємності з водою. При виконанні роботи зроблено розрахунок аналітичної залежності  $d_k/d_{отв}$  (відношення діаметру краплі до діаметра отвору), ця залежність є необхідною для отримання гранул заданого розміру [1]. Отримані розрахункові дані були використані при виготовленні пристрою з гранулювання цинку. З використанням розробленого пристрою були отримані гранули з технічного цинку й високочистого дистильованого цинку.

Контейнер з отворами виконаний з високочистого ущільненого графіту марки МПГ7, який перед використанням для видалення поверхневих забруднень прогрівався в вакуумі при температурі ~ 1000 °C протягом однієї години. Внутрішній діаметр контейнера виконаний з урахуванням циліндричних злиwkів дистилятів діаметром 40 мм і висотою 150 мм для розміщення двох злиwkів висотою по 60 мм. Таким чином пристрій дає можливість отримувати в одному процесі гранули загальною вагою 700 г Zn [2].

Контейнером для охолодження була ємність з високочистого кварцу. Охолоджувальною рідиною була бідистильована вода (H<sub>2</sub>O). Після розплавлення злиwkів рідкий метал поступово краплями просочується в контейнер з охолоджуючою рідиною, де кристалізується. Після

завершення гранулювання воду зливали, гранули металу висушували на поглинаючих вологу незолених фільтрах.

Крім отримання аналітичного виразу для визначення співвідношення  $d_k/d_{отв}$ , що визначає необхідний розмір гранул, проведені дослідження гранульованого цинку на наявність домішок та їхній хімічний склад, виконано аналіз мікроструктури і вимірювання мікротвердості гранул. Показано, що чистота високочистого дистильованого цинку в процесі гранулювання практично не знижується і зберігається на рівні 99,9999 %.

### Список літератури:

1. Дж. В. Стреттон (Лорд Релей). Теория звука / Дж. В. Стреттон // пер. с англ. – Н.П. Успенского С.А. Каменецкого.–2-е изд. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. –354 с
2. Г.П. Ковтун, О.П. Щербань, Д.О. Солопихін. Пристрій для рафінування металів дистиляцією у вакуумі. Патент № 94547 від 10.05.2011. Бюл. № 9, 2011 р.

### Higher radial modes of azimuthal surface waves in magnetoactive cylindrical waveguides

#### Вищі радіальні моди азимутальних поверхневих хвиль в магнітоактивних циліндричних хвилеводах

*Кондратенко В.М. (науковий керівник - проф. Гірка І.О.)*

Both analytical and numerical studies of the dispersion properties of higher radial modes of electromagnetic surface type waves which propagate in cylindrical waveguides with axial external stationary magnetic field which are partially filled by plasma along the small azimuth are carried out.

These branches complement the previous results of [1, 2] obtained for the zero-th radial mode and of [3] obtained for the waveguides without external stationary magnetic field.

Better conditions for these higher radial modes propagation are observed for the waves with larger azimuthal wave numbers in the waveguides with wider dielectric layer, and larger dielectric constant. Approximate expression

$$\omega = |\omega_{ce}| \frac{\pi l \delta}{\sqrt{\varepsilon_d} (b-a)} \left( 1 - \frac{m \varepsilon_2 \delta^2}{\varepsilon_1 a (b-a)} \right), \quad (1)$$

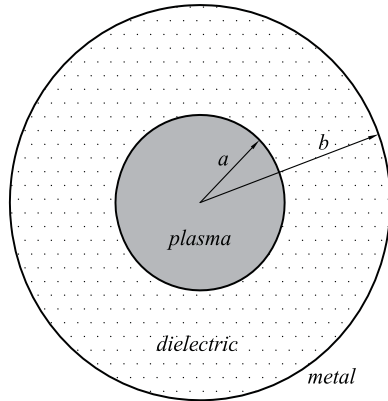


Fig. 1. Schematic of the problem

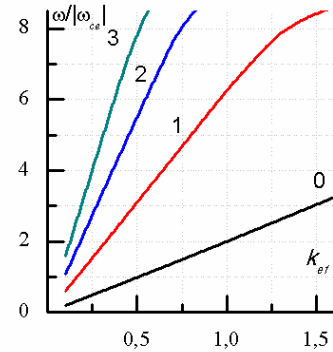


Fig. 2. Dependence of ASW eigen frequency normalised by  $|\omega_{ce}|$  vs effective wave number  $k_{ef} = |m|c/(\Omega_e a)$ .  $\varepsilon_d = 4$ ,  $(b-a)/a = 3$ ,  $m = 1$ ,  $\Omega_e / |\omega_{ce}| = 10$ . Numerals nearby the lines denote the numbers of the radial modes

satisfactory describes the eigen frequency splitting by external magnetic field. In (1),  $\omega_{ce}$  is electron cyclotron frequency,  $\delta = c/\Omega_e$  is skin-depth,  $\Omega_e$  is Langmuir frequency,  $l$  is radial wave number,  $\varepsilon_d$  is dielectric constant of the layer,  $b-a$  is the width of the layer,  $\varepsilon_{1,2}$  are the components of the plasma dielectric permittivity tensor. Possibility of ASW higher radial modes propagation is proved for small values of effective wave number, i.e. in the waveguides with large radius of plasma column and plasma density. The demerit of the ASW higher radial modes dispersion properties is that a change in plasma waveguide parameters causes drastic change in ASW eigen frequency. This is in contrast to the possibility of getting advantage of smooth frequency tuning for the ASW zero-th radial mode.

The advantage of ASW higher radial modes is that their eigen frequencies are larger than those of the zero-th radial modes effectively studied earlier. In other words, ASW higher radial modes propagate with shorter vacuum wave length than the zero-th modes. These results promise to be of interest for the purposes of plasma electronics.

## References:

1. V. Girka, I. Girka and M. Thumm. Surface Flute Waves in Plasmas: Theory and Applications, Heidelberg: Springer, 2014.
2. V. Girka, I. Girka, A. Kondratenko and V. Tkachenko. Azimuthal Surface Waves of Magnetoactive Plasma Waveguides// Soviet Journal of Communications Technology and Electronics. 1988. v. 33, No. 8, 37-41.
3. I. Girka, I. Omelchenko and R. Sydora. Higher Radial Modes of Azimuthal Surface Waves in Cylindrical Waveguides Without External Magnetic Field // Progress In Electromagnetics Research M. 2017, v. 54, 1-7.

## On coherent and incoherent scattering of charged high energy particles in thin crystals

### Про когерентне і некогерентне розсіяння заряджених частинок високих енергій в тонких кристалічних і аморфних мішенях

Корюкіна В. Д. (науковий керівник - академік НАНУ Шульга М. Ф.)

When a fast charged particle moves in a crystal along one of its crystallographic axes there are correlations between sequential collisions of a particle with lattice atoms. Owing to these correlations, the particle motion is determined mainly by the continuous potential of the crystal atoms chains located in parallel to the long axis. Accounting the potential variance from the continuous potential leads to incoherent effects in the scattering and radiation. In the first Born approximation of quantum electrodynamics this leads to splitting of the cross section into coherent and incoherent components [1]. The Born approximation, however, is rapidly destroyed with increasing thickness of the crystal [2]. This raises the question of the incoherent effects role in scattering in this case.

In the present paper this problem is analyzed on the basis of the eikonal approximation of quantum electrodynamics, which scope of application for this problem is much larger than the scope of application of the Born perturbation theory. There are given some investigation results about thermal vibrations of atoms in a lattice influence on the process of particles scattering in a crystal in this case.

## References:

1. M.L. Ter-Mikaelian // JETP. - 1953. - V. 25. - P. 296
2. A.I. Akhiezer, N.F. Shul'ga. High Energy Electrodynamics in Matter., (1996).

## **Інкапсуляція антипухлинного препарату доксорубіцину в ліпосоми та амілоїдні гідрогелі**

*Кучеренко Є.А. (науковий керівник – проф. Горбенко Г.П.)*

Актуальною проблемою сучасної медичної фізики є створення ліпосомальних форм лікарських препаратів. При інкапсуляції фармакологічних агентів у ліпідні везикули (ліпосоми) послаблюються побічні ефекти та досягається краща засвоюваність препаратів організмом [1,2]. Останні досягнення ліпосомальних технологій дозволяють проводити лікування стійких до багатьох ліків злоякісних новоутворень та знизити кардіотоксичність препаратів [1]. Локалізація фармакологічного агента у ліпідних везикулах залежить від його структури та ліпофільності, а також від складу ліпосом. Серед відомих на сьогоднішній день ліпосомальних препаратів є як ліпофільні, так і гідрофільні сполуки. Так, наприклад, доксорубіцин є амфифільною сполукою, амфотеріцин та паклітаксел – гідрофобними, N-(фосфоноацетил)-L-аспартат – високо гідрофільною. Оскільки високо гідрофобні сполуки асоціюють з ліпідним бішаром, вони швидко досягають цитоплазматичних компонентів клітини. Цей процес супроводжується зменшенням ефективності захвату таких препаратів ліпосомами. З іншого боку, існують труднощі і при розробці ліпосомальних форм високо гідрофільних ліків. Сполуки такого типу мають обмежену біологічну доступність у місті розташування ракової пухлини. Причиною цього є їх низька проникність через мембрани, в результаті чого гідрофільні сполуки мають низьку швидкість виходу з ліпосом і досягнення ураженої тканини. Незважаючи на те, що наразі у фармакологічній практиці використовується низка ліпосомальних препаратів, важливим є удосконалення існуючих та створення нових наносистем цілеспрямованої доставки ліків до органів-мішеней. У цьому аспекті все більшу увагу привертають амілоїдні гідрогелі, на основі яких останнім часом створюються біосумісні нанопереносники [3]. З огляду на це, мета даної роботи полягала в оцінці принципової можливості створення комбінованих препаратів, які поєднували б переваги ліпосом та амілоїдних гідрогелів. За допомогою методів рівноважного діалізу, флуоресцентної спектроскопії та мікроскопії було досліджено процес інкапсуляції протипухлинного агента доксорубіцину у мультіламельні ліпосоми, гідрогелі фібрилярного лізоциму та комбіновані системи. Мультішарові ліпідні везикули формували методом екструзії із цвіттеріонного ліпиду фосфатидилхоліну (ФХ) та

його сумішей з аніонним ліпідом кардіоліпіном (КЛ, 5 та 20 мол%) та стеролом холестерином (30 мол%). Амілоїдні фібрили отримували із катіонного білка лізоциму шляхом інкубації білка за денатуруючих умов.

При дослідженні кінетики виходу доксорубіцину з ліпосомальної суспензії у буферний розчин, найбільш ефективно утримання фармакологічного агента було виявлене для ФХ/КЛ ліпосом зі вмістом кардіоліпіну 20 мол%. Це свідчить про важливість такого параметру, як поверхневий заряд ліпідних везикул при створенні ліпосомальних форм препарату. Окрім цього, у присутності ізольованих амілоїдних гідрогелів лізоциму ефективність утримання доксорубіцину була нижчою, ніж для всіх досліджуваних типів ліпосом. Встановлено, що фібрилярний лізоцим перешкоджає зв'язуванню препарату з ліпідними везикулами, причому цей ефект був більш вираженим у слабозаряджених ліпосомах. Аналіз спектрів флуоресценції показав, що зв'язування доксорубіцину з ліпосомами та амілоїдними фібрилами супроводжується змінами флуоресцентних характеристик препарату. Отримані результати створюють підґрунтя для розробки комбінованих систем доставки фармакологічних препаратів на основі ліпосом та амілоїдних гідрогелів.

### **Список літератури:**

1. Malam Y., Loizidou M., Seifalian A.M. Liposomes and nanoparticles: nanosized vehicles for drug delivery in cancer // Trends Pharmacol. Sci. – 2009. – Vol. 30. – P. 592–599.
2. Moghimi S.M. Stealth liposomes and long circulating nanoparticles: critical issues in pharmacokinetics, opsonization and protein-binding properties // Prog. Lipid Res. – 2003. – Vol. 42. – P. 463–478.
3. Mains J., Lamprou D.A., McIntosh L., et al. Beta-adrenoceptor antagonists affect amyloid nanostructure; amyloid hydrogels as drug delivery vehicles // Chem. Commun. – 2013. – Vol. 49. – P. 5082–5084.

### **Мембранні ефекти амілоїдних фібрил**

*Лаврик О.О. (науковий керівник – проф. Трусова В.М.)*

В світлі останніх досліджень стало відомо, що відкладення нерозчинних білкових агрегатів (амілоїдних фібрил) в органах відіграють важливу роль в нейродегенеративних захворюваннях, таких як хвороба Альцгеймера, Паркінсона та інші [1]. Такі висновки

спонукали до інтенсивного вивчення процесів згортання та агрегації білків та зробили особливо актуальним з'ясування молекулярних механізмів токсичності білкових агрегатів. На даний час вважається, що в результаті взаємодій амілоїдних білків з мембраною клітин відбувається ушкодження самої мембрани з подальшим порушенням функцій клітин і, навіть, відмиранням клітин [2,3]. Даний процес є причиною багатьох патологій та захворювань. В зв'язку з цим актуальним є дослідження молекулярних механізмів токсичності білкових агрегатів.

Саме тому мета даної роботи полягала у дослідженні дії нативного та фібрилярного лізоциму на структуру та фізико-хімічні властивості модельних ліпідних мембран із цвіттеріонного ліпиду фосфатидилхоліну та його сумішей з аніонним ліпідом кардіоліпіном та стеролом холестеринном методом флуоресцентної спектроскопії. Для проведення даного дослідження були обрані два флуоресцентних зонда – пірен та Лаурдан. Пірен – це неполярний флуоресцентний зонд, який широко використовується для вивчення структурних властивостей як модельних, так і біологічних мембран. Спектр флуоресценції пірену має яскраво виражену вібронну структуру [4]. Лаурдан (6-лауроіл-2-диметиламінонафтальін) є амфифільним флуоресцентним зондом, належить до групи зондів, чутливих до полярності оточення. Лаурдан широко застосовується завдяки здатності реагувати на зміни в оточуючому середовищі зміщенням спектрів випромінювання [5]. З цими змінами кількісно пов'язаний параметр флуоресценції, відомий як генералізована поляризація (GP):

$$GP = \frac{I_B - I_R}{I_B + I_R}$$

де  $I_B$  та  $I_R$  - вимірювані інтенсивності флуоресценції на довжинах хвиль, що відповідають максимумам флуоресценції в стані гелю та рідкого кристалу відповідно.

Аналіз вібронної структури спектрів флуоресценції пірену показав, що як нативний, так і фібрилярний лізоцим викликали зниження полярності мікрооточення мономерів пірену, ступінь якого залежав від складу ліпосом. Введення до складу модельних мембран холестерину посилювало дію фібрил лізоциму на полярність ліпідного бішару. Виявлено суттєве зменшення вільного об'єму ліпосомальних мембран під впливом обох форм лізоциму, але зміни цього параметру, викликані фібрилярним білком, були значно більш виражені. Аналіз спектрів

флуоресценції Лаурдану показав, що у відсутності холестерину обидві форми білка викликають зростання ступеня гідратації ліпідного бішару та зменшення щільності пакування ліпідних молекул, причому цей ефект був більш вираженим для нативного білка. Проте, у присутності холестерину спостерігались протилежні зміни ступеня гідратації, близькі по величині для фібрилярного та нативного білка.

Спостережувані ефекти вказують на можливість модуляції мембранотропної дії патогенних білкових агрегатів шляхом варіювання вмісту холестерину у ліпідному бішарі.

### Список літератури:

1. Chiti F., Dobson C. M. Protein misfolding, functional amyloid, and human disease // *Annu. Rev. Biochem.* – 2006. – Vol. 75. – P. 333-366.
2. Stefani M. Protein misfolding and aggregation: new examples in medicine and biology of the dark side of the protein world // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2004. – Vol. 1739. – P. 5-25.
3. Butterflid S.M., Laushel H.A. Amyloidogenic protein-membrane interactions: mechanistic insight from model systems // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2010. – Vol. 49. – P. 5628-5654.
4. Blackwell M.F., Gounaris K., Barber J. Evidence that pyrene excimer formation in membranes is not diffusion-controlled // *Biochim. Biophys. Acta.* – 1986. – V. 858. – P. 221-234.
5. Bagatolli L.A., Gratton E., Fidelio G.D. Water dynamics in glycosphinglipid aggregates studied by LAURDAN fluorescence // *Biophysical Journal.* – 1998. – V. 75. – P. 331-341.

### Принципи оптимізації структурно-фазового стану композитів молібден – силіцидне покриття

*Мазілін Б.О. (науковий керівник – проф. Литовченко С.В.)*

Тугоплавкі метали та їхні сполуки з неметалами є вельми поширеним класом матеріалів, що активно використовується в науці та техніці. Особливості застосування таких матеріалів вимагають забезпечення належного балансу між їхніми конструкційними та функціональними властивостями [1], що неможливо без належного розуміння причин еволюції структурно-фазових характеристик матеріалів в експлуатаційних умовах, особливо за наявності комплексної дії низки зовнішніх руйнівних факторів.

Силіциди тугоплавких металів, зокрема молібдену, є найприйнятнішими сполуками для формування функціональних

шаруватих композитів для протидії високотемпературному окисленню (жаростійкість), забезпечення тривалості при термічних напруженнях (термостійкість), збереження геометричних характеристик виробів при високих температурах (жароміцність) [2]. Жаро- та термостійкість силіцидних покриттів забезпечує півка діоксиду кремнію, що утворюється на їхній поверхні при високотемпературній експлуатації в повітрі. Структурний стан та склад цієї півки, її властивості (суцільність, текучість, в'язкість, температура розм'якшення, ступінь кристалічності та інші) багато в чому визначають працездатність силіцидів при максимальних (до 2000 °C) робочих температурах.

Захисний ресурс силіцидних покриттів обмежується низкою факторів, які з різним ступенем активності негативно впливають на склад та структуру матеріалу. До найсуттєвіших факторів належать дефекти зростання, які визначає структура та якість поверхні підкладинки (оскільки покриття повторює рельєф підкладинки, то первинно наявні дефекти тільки збільшуються та погіршують захисну дію покриття), випаровування та хімічне розкладання діоксиду кремнію (відбувається при високих температурах внаслідок недостатньої кількості кремнію, який може брати участь в утворенні SiO<sub>2</sub>), кристалізація аморфного діоксиду кремнію (відбувається при охолодженні та ініціює напруження, які при релаксації призводять до розтріскування покриття), різниця коефіцієнтів термічного розширення наявних в композитній системі «молібденова підкладинка – силіцидне покриття» фаз (також є причиною виникнення напружень), фазові перетворення в покритті (так званій перерозподіл фаз внаслідок активізації дифузії при високих температурах) [3].

Оскільки ліквідувати перелічені фактори неможливо, технологічний процес формування оптимального за складом та структурою покриття слід корегувати так, щоб реалізувати максимально ефективну протидію руйнівним процесам. Оптимізацію покриття слід проводити з урахуванням багатомасштабного підходу (оптимізація структури на всіх ієрархічних рівнях) та відповідної низки стереологічних характеристик матеріалів (розміри, форма, просторовий розподіл кристалітів та фаз, об'ємне співвідношення фазових складових та інші). Для досягнення необхідних жаро- і термостійкості силіцидних покриттів необхідно підбирати їхні оптимальні характеристики (фазовий склад, послідовність і товщину шарів, мікроструктуру) окремо для кожних конкретних експлуатаційних умов. На сьогодні така оптимізація проведена лише для двох ієрархічних рівнів – макро- та мікро.

Перехід на новий рівень використання матеріалів (наприклад, в умовах комплексної дії низки руйнівних факторів на тонкоплівкові об'єкти чи композиції зі скерованою структурою) вимагає уточнення суттєвих факторів, що впливають на структурні особливості кожного конкретного виробу і, таким чином, визначають його експлуатаційні властивості.

### Список літератури:

1. High Temperature Structural Silicides // Pros. of the First High Temperature Structural Silicides Workshop, USA, 1991 - Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, 1992. - 278 p.
2. Е.П.Нечипоренко, А.П.Петриченко, Ю.Б. Павленко. Защита металлов от коррозии. – Харьков: “Вища школа”, 1985. - 112 с.
3. Литовченко С.В. Високотемпературные силициды: свойства и применение // East Eur. J. Phys. – 2016 – Vol. 3. – No.3. – P. 4-24.

### Отримання багатошарових покриттів на основі Ti та Al методом високочастотного магнетронного розпилювання.

*Макаров Г.Д. (науковий керівник - проф. Береснев В.М.)*

Відомо, що експлуатаційні характеристики функціональних матеріалів (наприклад, втомна міцність, зносостійкість і корозійна стійкість та інші) залежать від особливостей структури та фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Одним із шляхів підвищення експлуатаційних характеристик є нанесення захисних покриттів. Зі зростанням вимог до надійності матеріалів в умовах сильних навантажень виникає нагальна потреба подальшого вдосконалення покриттів. Одним з варіантів такого вдосконалення може бути застосування багатокомпонентних покриттів, що створюються іонно-плазовими методами осадження. Такі методи надають можливість керувати структурою і властивостями покриттів в процесі осадження.

Метою роботи було опанування методики магнетронного розпорошення та вивчення особливостей конденсації багатошарових покриттів на основі титану та алюмінію.

В роботі використовували модернізований прилад ВУП-5М. Елементами модернізації були магнетрони (мішені для розпорошення) та система електроживлення з підвищеною (у порівнянні зі стандартною моделлю) потужністю.

Необхідність модернізації приладу ВУП-5М обумовлена тим, що стандартні магнетрони діаметром 40 мм мають недостатній ККД і низькі робочі характеристики (зокрема, швидкість осадження, стабільність розпорошення). Були виготовлені та розміщені в камері два нові магнетрони. Перший має діаметр 60 мм та титановий катод-мішень, другий - діаметр 70 мм та, відповідно, алюмінієвий катод-мішень. Магнетрони були змонтовані на базовій панелі вакуумної камери установки ВУП-5М.

Для формування прошарку Ті використовувався литий катод з титанового сплаву марки ВТ1-0 діаметром 60 мм і товщиною 3 мм. Для отримання шару АІ використовувався литий катод з алюмінію марки АД00 діаметром 70 мм і товщиною 3 мм. Підкладками при осадженні покриттів були зразки листової нержавіючої сталі Х18Н10Т товщиною 1 мм розміром 20 на 20 мм, а також листове кварцове скло аналогічних розмірів.

При виконанні даної роботи була опанована технологія осадження покриттів Ті, АІ методом магнетронного розпилення на приладі ВУП-5М, зі змінним використанням двох магнетронів різного розміру (з діаметрами 60 і 70 мм відповідно).

Дослідження морфології отриманих покриттів Ті та АІ показало, що отримані структури є досить однорідними, на поверхні присутні невеликі краплинні вкраплення. При металографічному макро- та мікроаналізі отриманих композитів з використанням мікроскопів МБС-2 та Метам-Р1 ділянок з явними дефектами не зафіксовано. Мікротвердість отриманих покриттів, визначена на приладі ПМТ-3 (усереднення по 10 вимірах), зростає зі збільшенням кількості шарів як для покриттів Ті-АІ (1,91 - 2,26 ГПа), так і для покриттів АІ-Ті (1,98 - 2,3 ГПа).

Дослідження мікротвердості покриттів на сталевих і скляних підкладках показали, що вже при товщині покриття близько 10 - 12 мкм відсутній вплив матеріалу підкладки на результати вимірювання мікротвердості покриття, що свідчить про належну точність результатів вимірювань. Також було виявлено, що в залежності від послідовності осадження шарів змінюється і значення мікротвердості покриття. Товщина шарів і титану і алюмінію приблизно однакова, і становить приблизно 5 - 7 мкм, що дозволяє оцінити швидкість осадження на рівні  $\sim 1$  мкм за хвилину. На обох серіях зразків отримані покриття є рівномірно однорідними, морфологія поверхні покриття повторює морфологію поверхні вихідних підкладок. Однак, слід зауважити, що зі збільшенням кількості шарів конденсату поверхня покриття

поступово перестає відтворювати морфологію вихідної підкладки. Середній розмір зерна в шарі алюмінію складає приблизно 400 - 600 нм, а середній розмір зерна титану - близько 300 - 400 нм.

### **Installation and testing of the Beam Position Monitor test bench Монтаж та тестування випробувального стенду для контролю положення пучка**

*Макарчук О.П. (науковий керівник – А. Faus Golfe)*

The beam diagnostics or beam instrumentation deals with the design and development of the great diversity of instrumentation devices and technology which are needed for monitoring the beam in particle accelerators. Particle accelerator performance depends on the control and measurement of the beam properties, so beam diagnostics becomes an essential component of any accelerator. For these reasons we use devices designed to measure the beam position called Beam Position Monitors (BPM). Inductive BPM was chosen for the PRAE project [1] located in the Laboratoire de l'accélérateur linéaire in Orsay. The experimental facility is accelerating storage complex, which contains of a lot of systems and subsystems. The project aims at creating a multidisciplinary R&D facility gathering various scientific communities involved in subatomic physics, radiobiology, particle accelerators and instrumentation around an electron accelerator.

This paper is devoted to study and BPM test bench installation [2]. As well the studying was satisfied to provide the BPM resolution measurements for different currents.

The main elements of the BPM test bench can be divided into four parts: the wire elements, micro-mover stages, supporting elements and test bench accommodation (optical table). Details were delivered from CERN and IFIC and checked before mounting at IPNO labs. All elements were mounted on the pneumatic vibration-damping table (or optical table) to minimize the wire vibration during the measurements.

Two linear stages were orthogonally mounted to provide the BPM displacement in the (x, y) coordinates relative to the wire. Then a square frame was installed. A metallic platform holds the rotation stage on the top of the linear stages allowing to make wire relative rotations. Motion controller ESP300, its libraries and LabVIEW were used for the remote control.

The wire (250  $\mu\text{m}$  diameter) was stretched between two ceramic rings at the top and bottom of the square frame. This feature helps us to imitate the low current beam passing through the BPM.



In future we want to get the resolution parameter at wire current of 57 mA is 0.6  $\mu\text{m}$  and 1.4  $\mu\text{m}$  the horizontal and vertical coordinates respectively which in parallel was got in CLEAR lab at CERN.

#### References:

1. D Marchand, et al, A new platform for research and applications with electrons: the PRAE project , [http://epjconferences.org/articles/epjconf/pdf/2017/07/epjconf\\_ishepp2017\\_01012.pdf](http://epjconferences.org/articles/epjconf/pdf/2017/07/epjconf_ishepp2017_01012.pdf)
2. J. J. Garcia Garrigos “Development of the Beam Position Monitors for the Diagnostics of the Test Beam Line in the CTF3 at CERN”, Tesis doctoral 2013

### Aluminium and Titanium Alloys Surface Behaviour under Argon and Helium Ion Exposure

#### Поведінка поверхонь алюмінієвих та титанових сплавів під дією опромінення іонами аргону та гелію

*Мирошник М.О. (науковий керівник - ст.н.с. Гірка О.І., проф. Качмарек Л.)*

Surface topography changes due to ion bombardment are the basis for a number of materials applications involving optical absorption, surface analysis, nuclear reactor walls, biological implants and adhesive bonding [1]. The surface roughness is a very important parameter, which is considered in preparation of specimens for TEM and biological implant materials [2-4]. Hillock layer is required part of biocompatible electrodes manufacturing process [5]. Surface features and cone-like structures growth under exposure of ion flux was studied previously [6-7].

Samples of Aluminium alloy Al(2024) and Titanium alloy Ti-6Al-4V are irradiated with 2 keV Helium and Argon ion fluxes using FALCON ion source. Cone-like structures are found to be formed on the surface of two Al(2024) samples due to both irradiation conditions: Argon and Helium exposure reaching total charge 150 C per sample. Argon exposure of Ti-6Al-4V causes cones formation unlike second case: Helium exposure causes only physical sputtering morphology at the same total charge. Chemical composition of grown structures is obtained from Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Surface roughness and roughness profile are investigated with Confocal Microscope. Hardness of irradiated surfaces is obtained from results of whiskers hardness test. Residual stresses after irradiation and phase composition are investigated by X-ray Diffraction spectroscopy (XRD). Free surface energy measured with drop test.

#### References:

1. R. Messier, S.V. Krishnaswamy, P.L. Walker. Ion Bombardment Induced Cone Formation on Glassy Carbon and Graphite Surfaces. Carbon, 1982, Vol. 20, No. 1, pp. 29-33. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(82\)90070-7](https://doi.org/10.1016/0008-6223(82)90070-7)
2. Z.W. Kowalski. Influence of the-ion incidence angle of alumina surface cleanliness, roughness and topography. Journal of Materials Science, Vol. 17, 1982, p. 1627-1631. <https://doi.org/10.1007/BF00540788>
3. B.A. Banks, A.J. Weigand, C.A. Babbush, C.L. Van Kampen. Potential Biomedical Applications of Ion Beam Technology. NASA Technical Memorandum (NASA TM X-73512), 1976, Florida: Twelfth International Electric Propulsion Conference., <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19770030155>
4. M.A. de Maezto, J.I. Alava, C. Gay-Escoda. Ion implantation: surface treatment for improving the bone integration of titanium and Ti-6Al-4V dental implants. Clin Oral Implants Res. 2003 14 (1):57-62.
5. J.S. Wollam. Method of making biocompatible electrodes. US5118400 A, 1992
6. V.V. Bobkov, S.S. Alimov, V.I. Bobkov, Yu.V. Slyusarenko, R.I. Starovoitov. Growth of metal newborn formations on cathode surface under influence of plasma flow. Surface and Coatings Technology 174 –175 (2003) 1271–1275. [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00631-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00631-5)
7. O. Girka, O. Bizyukov, S. Bogatyrenko, I. Bizyukov. Aluminium Surface Morphology Behaviour under High-Flux Helium Ion Bombardment. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 405 (2017), p. 31–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.05.019>

### Взаємодія фібрилярного лізоциму з модельними мембранами

*Михайлюта М.С. (науковий керівник – проф. Трусова В.М.)*

Більшість так званих амілоїдних захворювань, до числа яких відносяться нейродегенеративні хвороби, діабет 2 типу, ревматоїдний артрит, тощо виникають в результаті неправильного згортання білка. Це пов'язано з формуванням амілоїдних фібрил в організмі людини [1,2]. Велика кількість недавніх досліджень засвідчила, що бактерицидні та амілоїдогенні властивості білка лізоциму залежать від його мембранотропної дії. Це робить особливо актуальним дослідження впливу фібрилярного лізоциму на властивості модельних мембран. Саме тому мета даної роботи полягала у з'ясуванні молекулярних механізмів утворення комплексів лізоциму з модельними мембранами.

Об'єктами дослідження було обрано фібрилярна та нативна форми білка лізоциму. В якості модельних мембран використовували мультіламелярні ліпосоми із фосфатидилхоліну з молярною часткою

аніонного ліпиду кардіоліпіну 5% та 20%, а також ліпосоми, що містили 30мол% холестерину та 5 мол% кардіоліпіну.

З використанням методу мікроелектрофорезу [3] проведено дослідження впливу нативного і фібрилярного лізоциму на електрокінетичні властивості негативно заряджених мультіламельярних ліпосом із нейтрального ліпиду фосфатидилхоліну, аніонного ліпиду кардіоліпіну та холестерину. При варіюванні молярного співвідношення ліпід:білок (Lout/P) визначено такі параметри, як електрофоретична рухливість ліпідних везикул, дзета-потенціал, поверхневий потенціал та поверхнева густина заряду ліпідного бішару. Результати показали немонотонну залежність електрокінетичних параметрів від співвідношення L/P (яке варіювалось у межах 2174 – 43) для нативного та фібрилярного лізоциму, що вказує на можливість багаточислової адсорбції обох форм білка. Також знайдено константи зв'язування білка з ліпосомами за формулою:

$$\frac{P_0}{(\sigma_0 - \sigma_p)} = \frac{S}{N_a e n} + \frac{1}{n K_a} \cdot \frac{1}{\sigma_p}$$

де  $P_0$ -концентрація білка  $\sigma_0$ -поверхнева густина заряду у контролі та у присутності білка  $K_a$ -константа зв'язування білка з фосфоліпідами  $n$ -кількість зв'язаних ліпідів на одну молекулу білка  $S$ -загальна площа ліпосом [4]. Виявилося, що значення константи зв'язування фібрил з ліпосомами була нижча, ніж у нативного лізоциму. Це свідчить про більший ефект мономерів та олігомерів лізоциму на фізико-хімічні властивості бішару.

Аналіз вібронної структури спектрів флуоресценції пірену показав, що фібрилярний лізоцим спричиняє зростання ступеня гідратації ліпосомальних мембран без холестерина, в той час як нативний білок не впливав на цей параметр. Крім того, виявлено підвищення ступеня ексімеризації пірену при зв'язуванні обох форм лізоциму з ліпосомами, які містили 20 мол% кардіоліпіну, що свідчить про зростання вільного об'єму мембрани та зменшення щільності пакування ліпідних молекул, однак при введенні холестерину до складу ліпосом спостерігались протилежні зміни цього параметру, причому дія фібрилярного білка була більш вираженою.

Результати даної роботи є корисними для більш глибокого розуміння токсичної дії амілоїдних фібрил.

## Список літератури:

1. M. Stefani, Protein misfolding and aggregation: new examples in medicine and biology of the dark side of the protein world / M. Stefani // Biochim. Biophys. Acta. – 2004. – V. 1739. – P. 5-25.
2. E. Zerovnik, Amyloid-fibril formation. Proposed mechanisms and relevance to conformational disease / E. Zerovnik // Eur. J. Biochem. – 2002. – V. 269. – P. 3362-3371.
3. G. Cevc, Membrane electrostatics/ G. Cevc // Biochim. Biophys. Acta. – 1990. – V. 1031. – P. 311-382.
4. Горбенко Г.П. Моделі адсорбції / Горбенко Г.П. // Методичні вказівки. -Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007.- 40 с.

## Нанесення біоактивних покриттів методом перерозпошення іонним пучком

*Молчанова А. В. (науковий керівник - проф. Зиков О. В.)*

В медичній практиці, зокрема в ортопедії, стоматології, та серцево-судинній хірургії широко використовуються імплантати для лікування різноманітних патологій, або для заміни пошкоджених тканин в організмі людини. При експлуатації даних виробів необхідні захисні біоактивні і біопасивні покриття [1,2].

Метою даної роботи була розробка технологій нанесення покриттів з гідроксилапатиту, які обладують унікальними властивостями, зокрема визначною біосумісністю з кістковою тканиною. [3,4].

В роботі відпрацьовано технологію нанесення одношарових покриттів з гідроксилапатиту в іонно-плазмовій системі з джерелом іонів «Радикал». Проведено дослідження параметрів розряду та процесу перерозпошення мішені з гідроксилапатиту. Досліджено характеристики синтезованих покриттів.

Отримано нові експериментальні дані: вольт-амперні характеристики ДІ «Радикал» в аргоні та суміші аргону з киснем для мішені з гідроксилапатиту, визначено оптимальні параметри для нанесення покриттів, розпорошених в аргоні та кисні. Знайдено, що покриття, отримані з використанням кисню, мають краще співвідношення кальцію та фосфору.

Таким чином в роботі отримано нові експериментальні дані для подальшого впровадження іонно-плазмових технологій нанесення функціональних покриттів в медицині.

## Список літератури:

1. C.Deshpandey, R.F. Banshah. Plasma assisted deposition techniques and synthesis of novel materials.//ThinSolid Films.-163.-1988.-P.45 с.
2. Структура и механические свойства плазменных покрытий после электромеханической обработки В. П. Багмутов, В. И. Калита, И. Н. Захаров, С. Н Паршев // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 3. 22-28 с.
3. Anna Zykova, Яновская Анна, Renata Rogovskaya, Stanislav Yakovin, Vladimir Safonov \Leonid Fedorovich Sukhodob, Jerzy Smolik - Formation of Solution-derived Hydroxyapatite Coatings on Titanium Alloy in the Presence of Magnetron-sputtered Alumina Bond Coat // The Open Biomedical Engineering Journal 9 (Suppl 1-M16):75-82 February 2015 с.
4. Safonov Dmitro, Kolesnikov Nikolay, Anna Zykova, Vladimir Goncharov, Stanislav Yakovin, Velichka Georgieva – Modification of the structure and composition of  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  ceramic coatings by changing the deposition conditions in  $\text{O}_2$  and  $\text{Ar}$  // Journal of Physics Conference Series 514(1) : 012017 May 2014

### Вплив параметрів компактування та консолідації нанопорошків на структуру та властивості кераміки з оксиду алюмінію

*Прудивус Ю.А. (науковий керівник – доцент Чижика В.О.)*

В останні роки відзначається зростання інтересу до різних класів матеріалів, які демонструють унікальні властивості та дозволяють вивести результати їх застосування в сучасній техніці на якісно новий рівень. Стають актуальними роботи в галузі матеріалознавства, спрямовані на створення матеріалів з унікальними властивостями на базі використання нанотехнологій. Одним з найбільш перспективних об'єктів дослідження в цьому плані є корундова кераміка. Корундова кераміка – це керамічний матеріал, основу якого (не менше 95 %) складає корунд ( $\alpha$ -фаза  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), а решта – скляна фаза.

Перехід структури кераміки на основі оксидів алюмінію в нанокристалічний стан дозволить створити матеріал з високими експлуатаційними властивостями, який використовується в різноманітних галузях промисловості, включаючи металообробку, машинобудування і т.д.

Основні галузі промисловості, в яких використовується оксид алюмінію - виробництво спеціальної кераміки, що відрізняється високою твердістю, антифрикційними характеристиками і

вогнетривкістю, виготовлення запірних елементів трубопровідних кранів, застосування в підкладках інтегральних схем. Оксид алюмінію знаходить широке застосування в виробничих процесах як абразивний, вогнетривкий матеріал, інертний наповнювач і застосовується в різних видах хроматографії.

Робота присвячена дослідженню спікання у вакуумі і в повітряній атмосфері зразків з дисперсного оксиду алюмінію. Для дослідження використовувались  $\alpha$ -фаза  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (корунд). Розмір частинок порошку становив 200-400 нм. Для їх формування використовувався прес ударного типу AP-3 ( $3000 \text{ кг/см}^2$ ) та жорстка пресформа з діаметром 1,58 см. Зразки, отримані методом ізостатичного холодного пресування при тиску  $2500 \text{ кг/см}^2$ , вирізались з пластини великого розміру. Лінійні розміри зразки вимірювали використовуючи мікрометру з похибкою 0,01 мм. Вимірюючи масу зразків використовували електронні ваги, з точністю 0,01 г. Вихідний порошок має розмір частинок 200-400 нм, агломерований в гранули 100 – 150 мкм.

Під час виконання роботи використовувалась вакуумна піч СШВЕ – 1.2,5/12 з максимальною температурою експлуатації  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  у вакуумі від  $10^{-5}$  до  $10^{-6}$  тор. Швидкість підйому температури від  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , далі  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  на хвилину до максимальної температури. Для спікання на повітрі, використовувалась піч з максимальною температурою  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Швидкість зростання температури до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  становила  $10 \text{ }^\circ\text{C/хв}$ , до  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $5 \text{ }^\circ\text{C/хв}$ . Витримка на максимальній температурі складала 1 годину. Охолодження тривало в середньому 2 години. У отриманих зразків вимірювалася густина, також твердість HRA по методу Роквелла. Зразки спікались при різних температурах та формувались різними способами. Інтервал температур складав  $1100\text{-}1600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Густина отриманих зразків від 2,26 до  $3,75 \text{ г/см}^3$ . Твердість матеріалів варіюються в межах від 71 до 92 HRA.

Встановлено, що оксид алюмінію можливо спікати як у вакуумі, так і в атмосфері повітря. В залежності від властивостей, які потрібні (поруватість, міцність) обирається температура, тривалість спікання та метод формування. Для отримання пористих матеріалів з регульованою пористістю рекомендується спікання у вакуумі в широкому діапазоні температур при різних методах формування. Для дисперсних порошків (200-400 нм) показана перевага ударного метода формування для невеликих зразків порівняно з ізостатичним пресуванням. Хоча у ізостатичних зразків кінцева густина менша, порівняно із ударними,

значення твердості більші. Це пов'язано з тим, що у них менш дефектна структура.

### **Вплив малих домішок бору на самодифузію нікелю**

*Рало Г.В. (науковий керівник – доц. Стервєдов Н.Г., доц. Семененко В. Е.)*

Розглянутий вплив поверхнево-активних домішок на дифузійну проникність нікелевих сплавів - жароміцних і зносостійких матеріалів атомної і нетрадиційної енергетики [1].

Визначені особливості впливу складу сплавів, що визначають структурну стабільність, яка пояснюється теорією нерівноважної сегрегації, ідея якої обґрунтована на взаємодії домішок з вакансіями, дефектами кристалічної решітки [2]. Показано, що коли глибоке очищення нікелю від домішок ускладнене, його фізико-механічні властивості можна підвищити за рахунок введення активних елементів, що зв'язують легкоплавкі домішки в тугоплавкі сполуки.

Встановлено, що мікролегування нікелю хімічно-активним бором призводить до розкислювання металевої основи сплавів. В результаті реакції розкислювання утворюється борний ангідрид, що має властивість розчиняти оксиди. Бор легко заповнює проміжки в ґратах, оскільки атомний діаметр бору ( $1,72\text{Å}$ ) менший ніж у більшості компонентів нікелевих сплавів, відбувається "заліковування" дефектів ґрат на межі зерен, що є джерелом вакансій, необхідних для переповзання дислокацій та впливає на дифузійні процеси і жароміцність сплавів.

Неоднозначність даних про вплив змісту бору на властивості сплавів визначає мету роботи - визначення оптимальних кількостей бору і вивчення природи його впливу на дифузійну проникність нікелевих сплавів.

Визначена енергія активації (абсорбційний метод) дифузії  $\text{Ni}^{63}$  в сплавах  $\text{Ni}+0,001\text{В}$ ,  $\text{Ni}+0,003\text{В}$ ,  $\text{Ni}+0,005\text{В}$ ,  $\text{Ni}+0,01\text{В}$  (мас.%). Представлена модифікована схема вимірювального комплексу для визначення активності на поверхні досліджуваних сплавів, що дозволяє підвищити експресність і точність експерименту. Отримані дані про активність після заздалегідь обробки передаються в персональний комп'ютер, де піддається подальшому аналізу і виводиться на інтерфейс користувача в графічному і табличному виді [3].

Встановлено, для сплавів з різним змістом бору (0,001, 0,003, 0,005, 0,01 мас.%) мінімальна рухливість атомів спостерігається при

концентрації 0,001 мас.% В. Із зростанням концентрації бору ( $\sim 0,003$  мас.%) енергія активації самодифузії зростає завдяки зменшенню проникності меж зерен, виділенню на них бору. При високих температурах ( $\sim 1100^\circ\text{C}$ ) і змісті бору більше 0,005 мас.% незначно змінюється коефіцієнт самодифузії нікелю, складаючи  $6 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ . Можлива причина - дифузія за об'ємом, вклад дифузії по дислокаціях і межах зерен - незначний. Останнє підтверджується даними по енергії активації самодифузії в сплавах з максимальним змістом бору (0,01 мас.%, яка співпадає з енергією активації самодифузії чистого нікелю (69,2 ккал/моль), де основний вклад в загальний дифузійний потік складає об'ємна самодифузія.

Таким чином, визначена гранична концентрація атомів бору в сплавах на нікелевій основі, що впливає на їх дифузійну проникність. Останнє слід враховувати при легуванні перехідних металів поверхнево-активними домішками (бором, рідкоземельними елементами), створенні високоміцних і зносостійких конструкційних матеріалів сучасної техніки.

### **Список літератури:**

1. Азаренков Н.А., Семененко В.Е., Стервєдов Н.Г. "Вплив дифузійних процесів на структурну стабільність і зносостійкість природних мікрокомполімерів", ВАНТ, сер. "ФРП РМ", № 2, 2011 - С.148-154.
2. Воеводин В. Н. Еволюція структурно-фазового стану і радіаційна стійкість конструкційних матеріалів / В. Н. Воеводин, И. М. Неклюдов. - К.: Наукова думка, 2006 -С. 115-160.
3. Яковенко И.И., Стервєдов Н.Г., Азаренков Н.А., Семененко В.Е. "Пристрій для дифузійного відпалу металів". Патент UA № 106184, бюл. изобр. № 8, 25.04.2016.

### **Modeling and study of the evolution of a four-level quantum system**

#### **Моделювання та дослідження еволюції чотирирівневої квантової системи**

*Рижов А.І. (науковий керівник - проф. Шевченко С.М.)*

A qubit is a quantum system with two possible states. Qubit is the main component for creating a quantum computer, so studying various types of qubits and systems that behave like qubits is very topical. The implementations of such systems are both microscopic two-level systems,

such as electronic states in atoms, molecule spins or photon polarization, and artificial mesoscopic systems, such as quantum dots and superconducting circuits.

The general theory of quantum computation is based on the concept of an abstract qubit, not being interested in its physical origin. Dynamic behavior of the qubit includes such quantum mechanical phenomena as non-adiabatic tunneling of Landau-Zener and Rabi oscillations, which have been studied both theoretically and experimentally [1,2].

More complex is a four-level quantum system. This is a system of two coupled qubits [3] and a double quantum dot [2,4]. By analogy with the qubit, Landau-Zener transitions between different energy levels and Rabi oscillations are also observed in it. One of important phenomena is the controlled transitions between the levels owing to a periodical external excitation, because it makes it possible to control the populations of the system levels experimentally. The transition from one level to another is observed only at resonant frequencies corresponding to the energy difference between the levels. This fact makes it possible to control specific transitions experimentally, creating an external excitation of necessary frequency for the system.

The purpose of this work is theoretical studying of the evolution of a system of two coupled qubits and a double quantum dot system, modeling the transitions between different energy levels of these systems under the action of external periodic excitation, modeling and controlling populations of different energy levels.

The state of such a system is determined by the density matrix. And the evolution of the system is described by the Lindblad equation for the system density matrix, which is a system of differential equations for its components [5]. There are different approximations for the analytical solution of this system and it is possible to consider particular cases, for example, weak interactions between qubits. But in the general case the system can only be solved numerically. The kind and parameters of the quantum system, the nature of the external excitation, its frequency and amplitude is completely determined by the Hamiltonian, which enters the Lindblad equation. So to simulate the evolution of the system, observe the Landau-Zener transitions, study the influence of external excitation, and the parameters of temperature and phase relaxation, a numerical solution of this system of equations is used.

After a numerical simulation of the evolution of the four-level quantum system and constructing the correct model, it will be possible to make a comparison with the experimental results.

## References:

1. M. F. Gonzalez-Zalba et al., A silicon-based single-electron interferometer coupled to a fermionic sea, *Nano Lett.* 16, 1614 (2016).
2. A. Chatterjee et al., A silicon-based single-electron interferometer coupled to a fermionic sea, arXiv:1708.09840
3. E. A. Temchenko, S. N. Shevchenko, and A. N. Omelyanchouk Dissipative dynamics of a two-qubit system: Four-level lasing, *Phys. Rev. B* 83, 144507 (2011)
4. G. Burkard and J. R. Petta, Dispersive readout of valley splittings in cavity-coupled silicon quantum dots, *Phys. Rev. B* 94, 195305 (2016)
5. F. Laloë, *Do we really understand Quantum Mechanics?*, Cambridge university press (2012)

### **Electromagnetic waves in a plasma waveguide with azimuthally corrugated ideal conducting walls in a strong magnetic field Електромагнітні хвилі в плазмовому хвилеводі з азимутально-гофрованими ідеально-провідними стінками в сильному магнітному полі**

*Савченко А. А. (науковий керівник - В. В. Огнівенко)*

The study of plasma slow-wave structures is one of the main research branches in plasma electronics. In such periodically-inhomogeneous structures, slow electromagnetic waves can propagate, with velocity value much smaller than the speed of light. Slow waves are of particular interest for the study, since these waves can effectively interact with particles. This type of interaction forms basis for any type amplifier or high-power microwave generators.

In general, plasma is created in electrodynamic structures, the geometric dimensions of which can affect the spectrum of the plasma oscillations. Of particular interest is a cylindrical waveguide with corrugated metal walls, since this type of electrodynamic structures allows achieving high electromagnetic field intensities.

The goal of this work is researching of electromagnetic waves dispersion properties, propagating in corrugated plasma waveguide with perfectly conducting walls in a strong magnetic field. The paper presents a technique for obtaining dispersion equations for waves in a corrugated waveguide. On the basis of perturbation theory, we obtained the analytical expression for the correction to the frequency, which is caused by corrugations. It is shown that the correction to the frequency is proportional to the depth of the corrugation.

A numerical analysis of the dispersion equation, which describes the high-frequency and plasma branches of oscillations. As a result of this analysis, it was established, how the correction to the frequency behaves depending on the parameters of the waveguide. The electrodynamic structure considered in this work can be used in various instruments of radio engineering.

### References:

1. Ахиезер А. И., Файнберг Я. Б. О взаимодействии пучка заряженных частиц с электронной плазмой// Доклады АН СССР.-1949. Т.69, №4.-С. 555-556.
2. Bohm D., Gross E. P. Theory of plasma oscillations// Physical Review. - 1949. - V.75, № 12. - P. 1861-1876.
3. Файнберг Я. Б., Горбатенко М. Ф. Электромагнитные волны в плазме, находящейся в магнитном поле - «Журн. техн. физ.», 1959, т. 29, № 5. с. 549.
4. Кондратенко А. Н. Плазменные волноводы. - М.: Атомиздат, 1976. - 232 с.
5. Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А. Основы электродинамики плазмы. - М.: Высшая школа, 1988. - 424с.
6. Girka, V., I. Girka, and M. Thumm, Surface Flute Waves in Plasmas: Theory and Applications, Springer, Switzerland, 2014.
7. Островский А. О., Огнивенко В. В.// Радиотехника и электрон. - 1979. - 24, № 12. - С. 2470-2477.
8. Буц В. А., Огнивенко В. В.// Укр. Физ. Журн. - 1990, т. 35, № 8. - С. 1174-1180.
9. Рухадзе А. А., Богданкевич Л. С., Росинский С. Е., Рухлин В. Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1980.
10. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. Формулы, графики, таблицы. - М.: Наука, 1977. - 344 с.

### Дослідження ефективності сцинтиляційних детекторів до швидких нейтронів

*Салтовець Є.В. (науковий керівник – доцент Онищенко Г.М.)*

Робота присвячена вивченню характеристик детекторів швидких нейтронів, що є альтернативою для He-3 лічильників і які могли б служити заміною He-3 лічильників в портальних доглядових системах.

На сьогодні усі провідні держави світу вкрай занепокоєні своєю радіаційною безпекою, зокрема відстежуванням несанкціонованого провозу матеріалів поділу. Найпоширеніша технологія доглядових систем базуються на використанні He-3 лічильників. Вона має ряд недоліків, зокрема низьку ефективність (~ 4-8%), дороговизну,

дефіцитність, і низьку надійність (обумовлену витіканням гелію), що ускладнюють експлуатацію та обслуговування.

У дослідженнях, зроблених вперше Anelli [1], Рижиковим та ін. [2], модельним і експериментальним шляхом підтверджено той факт, що механізм непружного розсіяння ( $n, n'$ ) може послугуватися основою для створення високоефективних, а значить і істотно більш компактних детекторів швидких нейтронів.

У роботі досліджувалися характеристики нового композитного детектора «BGO-Z» [3] при реєстрації швидких нейтронів Pu-Ве-джерела. Детектор «BGO-Z» становить собою шари з розчину гранул германата вісмута в оптичному каучуку, взяті за сцинтилюючу основу детектора, і пластини поліметилметакрилату, взяті як сповільнювач і світлопровід, що чергуються.

Вимірювання ефективності були проведені у «сферичній» геометрії [4,5], при якій Pu-Ве-джерело розташовувалося у свинцевій сфері радіусом 100 мм із внутрішнім колодязем, де було розміщено джерело, радіусом 10 мм. «Сферична» геометрія була використана із метою пригнічення гамма-складовою випромінювання та позбавлення від необхідності урахування пружного та непружного розсіяння нейтронів на свинці, які значно ускладнюють виміри при використанні плоского захисту у «вузькій» геометрії.

«Сферичної» геометрії, на відміну «вузької» дозволяє істотно знизити похибку, яка обумовлена так званим фактором накопичення при застосуванні свинцевого захисту. Незважаючи на певне зміщення нейтронного спектра, кількісна зміна потоку швидких нейтронів в досліджуваному діапазоні не перевищує 2%.

Результат вимірювання ефективності нового детектора склав 21%, що дозволяє зробити припущення про можливість впровадження подібних детекторів в експлуатацію з урахуванням можливості досягнення високої чутливості через відносно дешеве збільшення площі детектора.

### Список літератури:

1. M. Anelli et al. Measurement and Simulation of the Neutron Response and Detection Efficiency of a Pb-Scintillating Fiber Calorimeter, IEEE Transactions On Nuclear Science, Vol. 55, NO. 3, JUNE 2008, 1409-1412.
2. L.L. Nagomaya, V.D. Ryzhikov, B.V. Grinyov, L.A. Piven', G.M. Onyshchenko, E.K. Lysetska "The Higher Efficiency Fast Neutrons Detectors Based on the Oxide scintillators", 19-25 Oct., 2008, NSS 2008, IEEE, SD6-5,p.p.714 – 719.

3. Патент України UA 109524 C2, “Комбінований детектор іонізуючого випромінювання, зокрема гамма- нейтронного випромінювання”. Рижиков В.Д., Літчевський В.О., Онищенко Г.М., Півень Л.О. та ін. Опубл. 25.08.2015, бюл. №16. Заявка № а201412679.
4. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. “Основы экспериментальных методов ядерной физики“. Москва, Атомиздат, 1977
5. Кондрашов А.П., Шестопапов Е.В. “Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений“. Москва, Атомиздат, 1977

**Production of b–quarks and B–mesons in proton–proton scattering at the Large hadron collider**  
**Народження b–кварків та B–мезонів в розсіянні протонів на Великому адронному колайдері**

*Сафронов А.С. (науковий керівник – д.ф.-м. н. Корчин О.Ю.)*

Production of b quarks in high energy pp collisions at the LHC provides a sensitive test of models based on quantum chromodynamics [1]. Searches for physics beyond the Standard Model (SM) often rely on the ability to accurately predict the production rates of b quarks that can form backgrounds in combination with other high energy processes [2]. In addition, knowledge of the b-quark yield is essential for calculating the sensitivity of experiments testing the SM by measuring CP-violating and rare decay processes [3].

Mechanisms of beauty quark anti-quark pair and B-meson production in proton scattering at the LHC energies are investigated in the report.

MadGraph5\_aMC@NLO [4] is used to generate programs for simulation of  $p + p \rightarrow b + \text{anti-}b + X$ , where X includes zero, one or two jets originating from gluon or u-, d-, c-, and s-quarks. These quarks are treated as massless, while b-quarks are massive. With obtained programs the parton processes are calculated at next-to-leading order (NLO) accuracy and at NLO and N<sup>2</sup>LO at the tree level.

The partonic events are showered with Pythia 8 [5] event generator within the approach that agrees with the method of parton-process calculations in MadGraph. Pythia 8 is also used to simulate multi-parton interactions and fragmentation of partons .

The calculations demonstrate that processes with real and virtual particle emission substantially compensate each other. As a result, the integral cross section at NLO accuracy decreases up to 10 times with respect to its value at LO. Contribution of NLO and N<sup>2</sup>LO processes at the tree level enlarge the cross section in ~11% and ~18%.

The differential cross sections as functions of transverse momentum and rapidity are calculated under the kinematic conditions of ALICE, ATLAS [6], CMS [7], and LHCb [8] experiments and compared with the available data.

**References:**

1. J. Alwall et al., The automated computation of tree-level and next-to-leading order differential cross sections, and their matching to parton shower simulations, JHEP 1407 (2014) 079, arXiv:1405.0301 [hep-ph].
2. M. Cacciari et al., Theoretical predictions for charm and bottom production at the LHC, JHEP 10 (2012) 137, arXiv:1205.6344; B. A. Kniehl, G. Kramer, I. Schienbein, and H. Spiesberger, Inclusive B-meson production at the LHC in the GM-VFN scheme, Phys. Rev. D84 (2011) 094026, arXiv:1109.2472.
3. E. Halkiadakis, G. Redlinger, and D. Shih, Status and implications of beyond-the-standard-model searches at the LHC, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 64 (2014) 319, arXiv:1411.1427.
4. LHCb collaboration, R. Aaij et al., Implications of LHCb measurements and future prospects, Eur. Phys. J. C73 (2013) 2373, arXiv:1208.3355.
5. T. Sjstrand et al., “An Introduction to PYTHIA 8.2”, Comput. Phys. Commun. 191 (2015) 159–177, doi:10.1016/j.cpc.2015.01.024, arXiv:1410.3012.
6. ATLAS Collaboration, Expected Performance of the ATLAS Experiment, Detector, Trigger and Physics, CERN-OPEN-2008-020, Geneva, 2008, e-print: arXiv:0901.0512.
7. CMS Collaboration, “Identification of b-quark jets with the CMS experiment”, (2013). arXiv:1211.4462. Submitted to JINST.
8. The LHCb Collaboration, R. Aaij et al., “Measurement of  $\sigma(pp \rightarrow bbX)$  at  $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$  in the forward region”, Phys. Lett. B 694 (2010) 209, arXiv:1009.2731 [hep-ex].

**Дослідження радіаційно-стимульованої сегрегації в двокомпонентних сплавах**

*Скороход Р.В. (науковий керівник – с.н.с. Денисенко В.Л.)*

Під явищем радіаційно-стимульованої сегрегації розуміють просторовий перерозподіл розчинних і домішкових елементів сплаву на мікроскопічному рівні, який виникає внаслідок опромінення при підвищених температурах. В результаті спостерігається збагачення або збіднення легуючих елементів в областях поблизу поверхонь, дислокацій, порожнеч, границь зерен та меж між фазами [1]. Це викликає зміни локальних властивостей твердого тіла та

сприйнятливості до безлічі процесів, які можуть негативно позначитися на механічних властивостях, корозійній стійкості тощо [2].

Випромінення породжує точкові дефекти, концентрація яких значно перевищує рівноважну. Ці дефекти є рухомими і переміщуються на місця з низькою енергією (стоки дефектів). Сегрегація відбувається, коли даний легуючий компонент об'єднується з потоком дефектів. Збагачення або збіднення кожного елемента залежить від відносної взаємодії кожного елемента з потоком дефектів [3]. Дане явище певною мірою притаманне для всіх сплавів.

Важливим параметром являється коефіцієнт дифузії, оскільки відмінність між коефіцієнтами дифузії компонентів сплаву вводить перерозподіл розчиненої речовини в моделі, яку описали Марвік [4] і Відерзіч та ін. [1]. Підхід полягає в розв'язуванні системи кінетичних рівнянь, які базуються на основі першого та другого законів Фіка для концентрації дефектів та компонентів, з певними початковими та граничними умовами.

В даній роботі розраховані профілі концентрації домішкового елемента у двокомпонентному сплаві (Fe-x%Cr) для різних температур, доз та швидкостей опромінення. Побудовані графіки часової еволюції профілів концентрації легуючого елемента від стану термодинамічної рівноваги до усталеного режиму, тобто моменту, починаючи з якого потоки атомів розчинної речовини дорівнюють нулю. Результати розрахунків задовільно узгоджуються з експериментальними даними.

### Список літератури:

1. H. Wiedersich, P.R. Okamoto and N.Q. Lam, J. Nucl. Mater. 83 (1979) 98-108.
2. S. Watanabe and H. Takahashi J. Nucl. Mater. 208 (1994) 191-194.
3. G.S. Was, J.P. Wharry, B. Frisbie, B.D. Wirth, D. Morgan, J.D. Tucker, T.R. Allen, J. Nucl. Mater. 411 (2011) 41-50.
4. A.D. Marwick, J. Nucl. Mater. 135 (1985) 68-76.

### Fluorescence and molecular dynamic study of lysozyme amyloid fibrils

#### Флуоресцентне та молекулярно-динамічне дослідження амілоїдних фібрил лізоциму

*Тарабара У.К. (науковий керівник – проф. Трусова В.М.)*

The accumulation of the highly ordered protein aggregates, amyloid fibrils, in various tissues and organs is associated with a variety of human

diseases, including Alzheimer's, Parkinson's disease, systemic amyloidosis, type II diabetes, etc. These diseases are caused by protein misfolding and occur because the partially folded intermediates leave pathway of native folding and self-assemble in  $\beta$ -stranded amyloid fibrils. One of the most powerful approaches to the detection of amyloid fibrils involves the use of fluorescent dyes. Extensive research efforts are currently focused on looking for the effective amyloid-specific fluorophores. The goal of the present study was twofold: 1) to assess the amyloid-sensing propensity of the two newly synthesized near-infrared cyanine heptamethine dyes, AK7-5 and AK7-6 through comparing the fluorescence responses of these dyes in the presence of the native and fibrillar lysozyme; 2) to gain insight into the role of mutations in the amyloidogenesis of lysozyme using the molecular dynamics simulation. Lysozyme is a multifunctional protein with bactericidal, antitumor and immunomodulatory activities, whose amyloid formation is related to hereditary systemic nonneuropathic amyloidosis.

In an organic solvent and in the sodium-phosphate buffer (pH 7.4) the examined dyes have the emission maxima at 835/839 nm for AK7-5/AK7-6, respectively (monomeric band). In the presence of the native lysozyme we observed the appearance of hypsochromic band at 700 nm, whose intensity increased with the protein concentration. In the presence of lysozyme fibrils, both heptamethine dyes demonstrated significant rise of the monomeric bands (by a factor of 4.5/3 for AK7-5/AK7-6, respectively). These results suggest that the native lysozyme has more binding sites for the dye aggregates than fibrillar lysozyme, while the fibril grooves represent specific binding site for the dyes monomers.

To understand the conformational behavior of partially folded lysozyme, we have performed 100 ns molecular dynamic unfolding simulations of seven lysozyme mutants (I56T, F57I, W64R, D67H, F57I/T70N, EAEA, EAEA-I56T) at high temperature (500 K) using the GROMACS suite of programs and Charmm36 force field. MD simulation of WT lysozyme at 300 K showed that protein structure remains stable, the RMSD did not exceed 0.15 nm, indicating that the force field is reasonable in terms of the protein stability. The 100 ns simulations at 500 K performed for WT protein and mutants revealed the destruction of  $\alpha$ -helices and  $\beta$ -sheets to coils and turns. The main findings can be summarised as follows: The destruction time of A-D-helices increases in the rows:

A-helix (residues 5-15): D67H<EAEA<WT<EAEA-I56T<F57I<I56T<F57I/T70N<W64R;

B-helix (residues 25-36): F57I/T70N <EAEA<W64R<WT< EAEA-I56T< F57I< D67H< I56T;



C-helix (residues 89-100): F57I/T70N< D67H<EAEA< EAEA-I56T<WT< I56T< F57I< W64R;

D- helix (residues 110-116): F57I/T70N< D67H, F57I<EAEA< I56T< WT< EAEA-I56T< W64R.

The stability of the main  $\beta$ -structures (B1-B3) follows the order:

B1 (residues 43-46): F57I/T70N<EAEA<WT< D67H< W64R < EAEA-I56T, F57I< I56T;

B2 (residues 51-54): F57I/T70N< EAEA<WT< W64R < EAEA-I56T< I56T< F57I< D67H;

B3 (residues 59-60): F57I/T70N<< EAEA<WT< EAEA-I56T< I56T, W64R< F57I< D67H;

In summary, it can be concluded that:

1) The revealed spectral behavior of the cyanine dyes, viz. significant distinctions in the fluorescence spectra in the presence of monomeric and fibrillar forms of lysozyme, point to the possibility of using these molecules as fluorescent amyloid markers along with the classical amyloid marker Thioflavin T.

2) The  $\beta$ -sheets of the examined lysozyme mutants show higher stability than those of WT protein, except F57I/T70N and EAEA variants;

3) The extent of  $\beta$ -sheet formation during the simulation was similar for WT and mutated proteins, suggesting that stability provides a basis for hypothesis that stability of original  $\beta$ -structures of lysozyme plays an important role in its transition into amyloidogenic state.

### **Дослідження конвертора гальмівного випромінювання для виробництва $^{18}\text{F}$ на лінійному прискорювачі електронів**

*Тільний А. В. (науковий керівник – доц. Малихіна Т. В.)*

Актуальність даної роботи полягає у тому, що нуклід  $^{18}\text{F}$  є джерелом позитронів. Використовується для потреб ядерної медицини в якості маркуючої частинки (мітки) радіофармпрепарата фтородезоксиглюкози, необхідного для проведення позитронно-емісійної томографії [1]. Його медична популярність обґрунтована відносно коротким періодом напіврозпаду ( $T_{1/2}=109$  хв.) і стабільною емісією позитронів в період загасання, необхідною для отримання чіткого зображення. Цей радіофармпрепарат є практично нешкідливий для пацієнта. Активність одного грама цього нукліда складає  $3,24 \times 10^{18}$  Бк, енергія позитронів 633,4 кеВ, енергія гамма-квантів, що утворюються при анігіляції позитрона і електрона складає 511 кеВ.

Радіофармпрепарати на основі  $^{18}\text{F}$  використовуються для таких досліджень: оцінка метаболізму глюкози в серці, легенів і головного мозку; діагноста хвороби Альцгеймера, і та хвороби Паркінсона; діагностика злоякісних пухлин різних форм і локалізацій; оцінка ефективності лікування пухлин; оцінка життєздатності міокарду при плануванні операцій; визначення міри ушкодження головного мозку при черепно-мозковій травмі і т. ін.

Для отримання  $^{18}\text{F}$  зазвичай використовується циклічний прискорювач типу медичний циклотрон, рідше лінійний. Мішенню зазвичай є чиста або збагачена  $^{18}\text{O}$ -вода (молекули якої містять  $^{18}\text{O}$ ), яка піддається протонному бомбардуванню [2].

У роботі [3] досліджується можливість удосконалення методів отримання  $^{18}\text{F}$  за допомогою лінійного прискорювача електронів. Для виробництва ізотопу  $^{18}\text{F}$  у якості мішені використовується LiF. Щоб отримати  $^{18}\text{F}$  по реакції ( $\gamma, n$ ), потрібний конвертор електронного пучка в потік гамма-квантів.

Задача, яка вирішується у представлений роботі, є у пошуку такого матеріалу конвертора, щоб вихід гамма-квантів з енергією вище 10.4 МэВ був максимальним. Для дослідження ми маємо такі матеріали конвертора: золото (Au), молібден (Mo), вольфрам (W), свинець (Pb), іридій (Ir), тантал (Ta), платина (Pt). Для вирішення цієї задачі розроблено комп'ютерну програму з моделювання ядерно-фізичних процесів, що відбуваються під час проходження електронів через експериментальну установку для виробництва  $^{18}\text{F}$ . Програма має модуль візуалізації та модуль, що дозволяє проводити розрахунки у пакетному режимі для набору необхідної статистики. Проведено моделювання  $6.24 \times 10^6$  первинних електронів з енергією 30 МеВ (розподіл Гауса,  $\sigma=0.2$  МеВ). Діаметр пучка електронів у модельному експерименті складає 5 мм. Для кожного з матеріалів було визначено спектр гальмівних гамма-квантів перед мішенню LiF та кількість  $^{18}\text{F}$ , що утворилися в результаті реакції ( $\gamma, n$ ).

За результатами досліджень можна зробити висновок, що найбільш відповідний матеріал конвертора із запропонованих виявився тантал, незважаючи на те, що кількість утвореного  $^{18}\text{F}$  для конвертора зі свинцю приблизно на 20% більша. Але зважаючи на фізико-хімічні властивості свинцю та на той факт, що внаслідок використання свинцю можлива активація складових частин і компонентів установки для виробництва  $^{18}\text{F}$ , найбільш відповідним матеріалом конвертору є тантал.

### Список літератури:

1. Наркевич Б.Я. Физико-техническое обеспечение ядерной медицины: современное состояние и перспективы развития / Б.Я. Наркевич. // Радиационная онкология и ядерная медицина № 1, 2012. – С. 51 – 75.
2. Богорад В.І. Розробка вимог і критеріїв з радіаційної безпеки циклотронного виробництва ізотопів та їх застосування в діагностиці методом позитрон-емісійної томографії / В.І. Богорад, Т.В. Литвинська, Я.Ю. Белов та ін. // Ядерна та радіаційна безпека. – № 2(58). – 2013. – С. 49 – 53.
3. Dikiy N.P. Photonuclear production of F-18 / N.P. Dikiy, A.N. Dovbnya, V.L. Uvarov et. al. // Proceedings of the XXV International Workshop on Charge Particle Accelerators, September 18–22, 2017, Kharkiv. – P. 75.

### Комп'ютерне моделювання джерела швидких нейтронів для дослідження відгуку важких сцинтиляторів

*Тімченко Р.М. (науковий керівник – доц. Малихіна Т.В.)*

З метою екологічного моніторингу та контролю об'єктів радіаційної небезпеки провідними науковими центрами розроблюються прилади для детектування нейтронів.

При розробці приладів для детектування випромінювання використання математичного моделювання дозволяє провести модельний експеримент, а також досліджувати характеристики розроблюваних детекторів. Лабораторні дослідження детекторів проводяться у шкідливих та небезпечних умовах роботи, обумовлених наявністю іонізуючого випромінювання. Математичне моделювання безпечне, більш дешеве і дозволяє легше визначати залежності від конкретних ефектів, ніж при проведенні аналогічних реальних експериментів. Це робить віртуальні експерименти корисним інструментом у дослідженнях.

В роботі [1] експериментально досліджується можливість практичного застосування важких неорганічних оксидних сцинтиляторів для детектування нейтронів. Однак, для практичного застосування детекторів необхідно мати можливість оцінити вклад різних механізмів і процесів, що відбуваються в речовині цих сцинтиляторів. Така задача може бути вирішена за допомогою засобів моделювання та подальшого аналізу результатів. Важливим етапом

дослідження є розробка математичної моделі джерела нейтронного випромінювання [2].

Для розробки моделі джерела нейтронів проводилась оцифровка енергетичних спектрів джерела, представлених в роботах [3, 4]. Для вивчення процесів, що відбуваються в речовинах сцинтиляційних детекторів при реєстрації потоку швидкодіючих нейтронів, була розроблена комп'ютерна програма, що використовує метод Монте-Карло. Програма розроблена мовою C++ у середовищі OS Linux з використанням бібліотек класів Geant4 [3]. Моделювалися фізико-хімічні властивості матеріалів установок, їх взаємне розташування, параметри  $^{239}\text{PuBe}$  нейтронного джерела, а також ядерно-фізичні процеси, що відбуваються у матеріалах при реєстрації швидкодіючих нейтронів. Розроблена програма має модуль візуалізації для більш наочного представлення результатів моделювання.

У серії модельних експериментів використовувались такі сцинтиляційні детектори: CsI, LiI, NaI,  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{CdWO}_4$ ,  $\text{Gd}_2\text{SiO}_5$ .

В ході аналізу даних моделювання виявлено, що лише невелика кількість вторинних гамма-квантів зареєстровані детекторами, що не може вплинути на якість детектування потоку швидкодіючих нейтронів від джерела  $^{239}\text{PuBe}$ .

Подальші лабораторні випробування підтвердили можливість використання важких неорганічних сцинтиляторів малих розмірів для реєстрації потоку швидкодіючих нейтронів від плутоній-берилієвого джерела  $^{239}\text{PuBe}$ .

Також було показано, що для детектування потоків швидких нейтронів важкі неорганічні сцинтилятори ( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{CdWO}_4$ ,  $\text{Gd}_2\text{SiO}_5$  та ін.) є більш ефективними, ніж CsI (Tl), LiI (Eu), NaI (Tl).

### Список літератури:

1. Grinyov B.V., Ryzhikov V.D., Onyshchenko G.M. et al. The highly efficient gamma-neutron detector for control of fissionable radioactive materials / Functional Materials, N 3(21), 2014. – P. 345 – 351.
2. Тімченко Р.М., Малихіна Т.В., Шпагина В.О. Математическое моделирование энергетического спектра источника быстрых нейтронов / Р.М. Тімченко, Т.В. Малихіна, В.О. Шпагина // Сборник трудов БШФФ “Физические процессы в космосе и околоземной среде”, Иркутськ. – 2017. – С. 219 – 220.
3. Allison J. et.al. Recent developments in Geant4. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2016. – V. 835. – P. 186 – 225.

4. Бритвич Г.И., Васильченко В.Г., Гилицкий Ю.В. и др. Прототип детектора нейтронов на основе борсодержащего пластического сцинтиллятора / Препринт Института физики высоких энергий, Протвино. – 2004. – 23 с.

### Polarization effects in production of pair $t\bar{t}$ quarks in electron-positron annihilation

#### Поляризаційні ефекти в утворенні пари $t\bar{t}$ кварків в електрон-позитронній анігіляції

Трутеня І. В. (науковий керівник – д. ф.-м. н. Корчин О. Ю.)

The annihilation of electron-positron pair into a pair of polarized top- and antitop quarks,  $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t}$ , is studied. To learn about the properties of the top quark and to obtain more information on its interaction with the photon and Z boson, it is desirable to investigate the polarization effects. Thus it is important to consider the process of annihilation of electron-positron pair into polarized top- and antitop quarks. The top quark is the heaviest elementary particle, it decays rapidly and therefore it is a very short-lived particle. Normally it is detected by recording the products of its decay, leptons and quarks. The decay rate of the top quark depends on its polarization, so the angular and energy distribution of the products of the top quark decays carry information on the polarization of the top quark. At the first stage we calculate the cross section of the reaction  $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t}$  without taking into account decays of the top quarks, i.e. assuming them to be stable particles.

We calculated the cross section and polarizations in framework of the Standard model (SM) of elementary particle physics on the tree level, where two Feynman diagrams (with the photon exchange and Z-boson exchange in the s-channel) contribute. In addition, we considered also an extension of the Standard model, in which anomalous magnetic moment and electric dipole moment of the top quarks are included. The polarizations of the top quark are calculated for various directions with respect to the scattering plane. The dependences of the differential cross section  $d\sigma/d\Omega$  (in the center-of-mass frame) on the energy of electron-positron pair, scattering angle and the polarizations of the quarks are studied.

#### References:

1. Bouzas, Antonio O. et al. Phys. Rev. D 87 (2013), no.7, 074015; e-Print: arXiv:1212.6575 [hep-ph].
2. Arens, T. et al. Phys.Lett. B 302 (1993) 501-506; preprint PITHA-92-42.

### Термічні випробування метало-керамічних композитів у модернізованому пристрої ВУП-5

Усатова О.О. (науковий керівник – зав.лаб.Матвієнко Д.С.)

На попередньому етапі роботи було проведено модернізацію пристрою ВУП-5 для реалізації процесів термічної обробки [1]. В результаті проведеної роботи з конструювання вакуумної печі, функціональні можливості установки ВУП-5 доповнилися операцією по високотемпературному нагріванню досліджуваних зразків [2].

На першому етапі отримані технічні характеристики обмежені температурою 1000 °С. Далі для отримання більш високих температур потрібно збільшити число теплових екранів і забезпечити примусове охолодження корпусу печі у вакуумній камері.

При проведенні натурних випробувань печі зразки композитів підкладинка (сталь Х18Н10Т) – покриття (TiN) піддавалися нагріванню до 700°С у вакуумі і витримці 15, 30 і 45 хвилин. Мікротвердість покриттів вимірювалася до відпалу і після на мікротвердомірі ПМТ-3.

Режими роботи печі і швидкість нагріву – охолодження при витримці 45 хвилин.

Струм, А	Напруга, В	Тиск, торр	t, °С	Тривалість нагріву, хвилини.
10	0,6	$3 \times 10^{-2}$	14	0
15	1,83	$3 \times 10^{-2}$	50	7
20	2,68	$3 \times 10^{-2}$	273	15
20	2,71	$3 \times 10^{-2}$	700	22 (витримка 45 хвилин)
17,6	2,31	$3 \times 10^{-2}$	700	67

Режими роботи печі і швидкість нагріву - охолодження при витримці 15 хвилин.

Струм, А	Напруга, В	Тиск, торр	t, °С	Тривалість нагріву, хвилини.
10	0,55	$3 \times 10^{-2}$	43	0
15	1,28	$3 \times 10^{-2}$	96	10
20	2,28	$3 \times 10^{-2}$	220	20
20	2,73	$3 \times 10^{-2}$	700	32 (выдержка 15 минут)
18	2,34	$3 \times 10^{-2}$	698	47

Результати, отримані в ході експерименту:

До відпалу	Відпал при 700°C, витримка 15 хв.	Відпал при 700°C, витримка 30 хв.	Відпал при 700°C, витримка 45 хв.
5,6 Н <sub>v</sub> , ГПа	4,2 Н <sub>v</sub> , ГПа	4,0 Н <sub>v</sub> , ГПа	3,7 Н <sub>v</sub> , ГПа

Вимірювання показують, що мікротвердість нітридних покриттів монотонно знижується в залежності від збільшення часу відпалу, що свідчить про суттєві зміни структурно-фазового стану покриттів, що добре узгоджується з літературними даними [3].

### Список літератури:

1. Усагова О.О. Модернізація установки ВУП-5М для проведення термічних процесів // Студентська наукова конференція з прикладної фізики «Актуальні проблеми сучасної фізики» до 105-річчя О.І. Ахієзера : тези. – Х. : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – С. 59-61.
2. М.О. Азаренков, В.М. Береснев, А.Д. Погребняк, В.И. Фареник. Кирик Г.И. Нанокристаллические и нанокompозитные покрытия, структура, свойства материалов. // Физическая инженерия поверхности. – 2007. – Т. 5, № 1-2. – С. 4-27.
3. В.В. Кунченко, А.А. Андреев, Ю.В. Кунченко, Г.Н. Картмазов. CrN<sub>x</sub> покрытия, полученные вакуумно-дуговым методом//Вопросы атомной науки и техники, 2004, №3. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (85). - С. 87-95.

### Збудження кильватерних полів релятивістським електронним згустком у плазмових структурах

*Харюк Д.О. (науковий керівник – д. ф.-м. н. Сотніков Г.В.).*

Прискорювачі заряджених частинок застосовуються не тільки для наукових дослідження, але і в практичних цілях. Один з напрямків що швидко розвиваються є медико-біологічні дослідження із застосуванням ізотопів різних елементів і синхротронного випромінювання та радіаційна терапія різних типів іонізуючого випромінювання. [1]

У даній роботі розв'язана задача збудження кильватерних полів в плазмовому хвилеводі з вакуумним проміжком між плазмовим стовпом і металевим кожухом. Згусток заряджених частинок поширюється уздовж осі хвилеводу в плазмі і є аксіально-симетричним. Було

проведено аналітичні викладки, а також числові розрахунки. Для числових розрахунків було взято параметри хвилеводу установки «Алмаз - 2» ННЦ ХФТІ. Згусток електронів має наступні параметри: швидкість згустку 0.996 с, енергія згустку дорівнює 4,5 МеВ, заряд згустку –0.16 нКл, поперечний розмір згустку 0.5 см, довжина згустку 1.7см. Результати чисельних розрахунків збігаються з даними експериментів які були отримані в ННЦ ХФТІ.[2]

Застосування альтернативних методів прискорення, зокрема кильватерного методу[3] прискорення заряджених частинок дозволить зменшити вагогабаритні характеристики, а отже здешевить створення і експлуатацію прискорювальних установок, які використовуються в багатьох галузях медицини, таких як емісійна томографія, коронарна ангиографія, гама терапія, нейтрона терапія, протона терапія та іона терапія.

### Список літератури:

1. Агафонов, А.В. Ускорители в медицине / А.В. Агафонов // 15-е Совещание по ускорителям заряженных частиц – 1996. – Т.2. – С. 366 – 373
2. Численное исследование дисперсионных свойств плазменных цилиндрических волноводов, помещенных в магнитное поле / А.К. Березин, И.М. Землянский, В.И. Мирный, и др. – М.: ЦНИИ атоминформ, 1986. – 20 с. – (Препр./ АН УССР. Харьк. физ.-тех. ин-т; №86-25)
3. Онищенко, И. Н. Ускорение заряженных частиц кильватерными полями, возбуждаемыми в диэлектрическом волноводе последовательностью электронных пучков (обзор) / И. Н. Онищенко // Вопросы Атомной Науки и Техники. – 2004. – Т.04. – С.97 – 103.

### Фазові перетворення плавлення– кристалізація у нанорозмірних багатошарових плівках Bi-Ge

*Гілько Д.І. (пров. наук. співр. Богатиренко С.І.)*

До теперішнього часу є багато даних по дослідженню фазових перетворень плавлення-кристалізація для вільних частинок або тонких плівок великої кількості металів, що знаходяться, як правило, на аморфних не взаємодіючих підкладках. Для бінарних систем таких даних значно менше, особливо в області малих розмірів. Це пов'язано з

тим, що при переході до нанорозмірних об'єктів, в силу їх величезної чутливості до домішок різного роду, достовірну інформацію, за деяким винятком, дають лише *in situ* методи, тобто методи, в яких формування і дослідження нанооб'єктів відбувається в єдиному циклі.

У роботі [1] для дослідження температур фазових перетворень плавлення - кристалізація в системах з різним типом взаємодії було запропоновано новий метод, що базується на використанні кварцового резонатору. Резонатор одночасно являється і підкладкою для плівкових систем і датчиком утворення рідкої фази у досліджуваній системі. Саме такий метод було використано для з'ясування впливу розмірного фактору на температури фазових перетворень плавлення - кристалізація у системі метал - напівпровідник.

У якості модельних систем були обрані бінарні шаруваті плівки Bi-Ge з різним співвідношенням товщини компонентів. Досліджувані зразки отримувалися шляхом послідовної конденсації компонентів у вакуумі  $1 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст, який створювався за допомогою турбомолекулярного насосу. Потім без порушення вакууму у циклах нагрівання - охолодження за допомогою спеціального програмно - апаратного комплексу відслідковувалися значення основних характеристик кварцу (резонансна частота та амплітуда коливань, добротність). По різкій зміні даних характеристик визначалися температури фазових перетворень плавлення - кристалізація. У результаті проведених досліджень показано ефективність нового методу, для дослідження впливу розміру на температури фазових перетворень плавлення-кристалізація. Побудовано розмірні залежності температур плавлення і кристалізації в зазначених плівках в широкому діапазоні характерних товщини, а саме 5,7 - 50 нм. Показано, що температури плавлення та кристалізації є розмірозалежними величинами та суттєво знижуються при зменшенні характерної товщини системи. Результати дослідження розмірної залежності температур фазових переходів плавлення-кристалізація в шаруватих системах Bi-Ge узагальнені на рис.1.

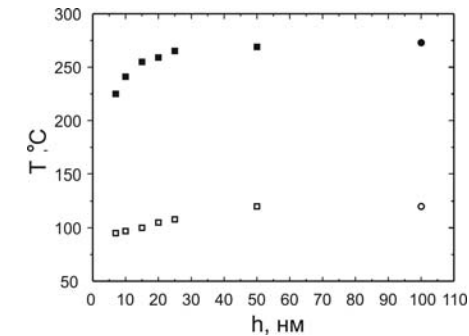


Рис. 1 - Розмірна залежність температур плавлення  $T_E$  (■) та кристалізації  $T_g$  (□) в шаруватій плівковій системі Bi-Ge, побудована в результаті дослідження. ●,○ – відповідають температурам плавлення і кристалізації макроскопічних зразків.

#### Список літератури:

1. М.М. Kolendovskii, S.I. Bogatyrenko, A.P. Kryshstal, N.T. Gladkikh, Piezoquartz resonator as an *in situ* method for studying the phase transitions in thin metal and alloy films, *Technical Physics*, 2012, 57(6), p 849-855.

#### Самоузгоджені плазмодинамічні конфігурації компресійних потоків плазми

*Чердиченко Т.М. (науковий керівник – проф. Соляков Д.Г.)*

Дослідження характеристик плазмових потоків, які формуються різного роду плазмовими прискорювачами та магніто-плазмовими компресорами, є однією із актуальних та важливих проблем дослідження з точки зору основ плазмодинаміки та застосувань плазми у різних технологіях. В попередніх експериментах вивчені основні закономірності перебігу течії плазмового потоку за межами каналу МПК та проведено порівняння експериментально вимірених параметрів плазмових потоків з теоретичними оцінками для даних експериментальних умов. Відомо, що в потоках плазми, що стискаються, густина і температура суттєво залежить від початкових умов на вході до прискорювального каналу.

В роботі зроблено аналіз фундаментальних властивостей зони компресії у само-стиснених плазмових потоках. Описано результати експериментальних досліджень компресійних потоків плазми та формування зони компресії для різних початкових умов, а саме за різної

початкової концентрації робочих газів та різної атомної маси (гелій, азот, аргон) [1,2,3,4].

Експерименти проводилися на установці МПК в режимі залишкового газу, коли вся робоча камера заповнювалася газом при різних значеннях тиску. В якості робочої речовини було обрано гелій, азот та аргон. Аргон і гелій використовувалися як робочі гази, оскільки їх атомні маси відрізняється в 10 разів. Атомна маса азоту є проміжною між масою аргону та гелію [5]. Використання зазначених газів дозволило перевірити залежність параметрів потоку плазми від типу та атомної маси робочого газу. Експерименти проводились за умови, що масові витрати робочої речовини були незмінні. Для досягнення постійної масової витрати при зміні атомної маси робочого газу (наприклад гелію і аргону) в декілька разів, відповідним чином змінювали початкову концентрацію (тобто початковий залишковий тиск).

Експериментально було показано, що зменшення початкової концентрації робочого газу за інших рівних умов веде до збільшення густини плазми в зоні компресії. В гелієвій плазмі, коли початковий тиск становив 10 Торр максимальна густина в області компресії складала  $9 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . За умов збільшення атомної ваги робочої речовини (мається на увазі аргон) при одночасному зменшенні початкового тиску до 1 Торр, тобто за умов зменшення початкової концентрації в 10 разів, густина плазми зростала до  $3.3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , тобто в 3,6 рази. Цей результат добре узгоджується з оцінками, які випливають із рівняння Бернуллі [6]. При цьому, середня довжина зони компресії збільшувалася в 1,5-2 рази.

Було проведено детальне дослідження просторових розподілів струмів, що протікають в плазмових потоках, за різних початкових концентрацій робочої речовини в каналі МПК. Встановлено, що зменшення початкової концентрації, в рамках даних експериментів, веде до витіснення струму із зони компресії. Внаслідок цього істотно змінюється просторовий розподіл сили Ампера в потоці. Це призводить до часткового гальмування потоку і його стиснення в напрямку осі системи.

### Список літератури:

1. М.А. Леонтович, Вопросы теории плазмы. М.: Атомиздат, 1974, Выпуск 8.
2. А.К. Vinogradova, А.І. Morozov, Physics and application of plasma accelerators. Pod. Ed. А.І. Morozov. Minsk: Science and Technology, 1974.

3. D. G. Solyakov, Yu. V. Petrov, et al., "Compression zone formation in the plasma stream, generated by Magneto-plasma compressor" Plasma Phys. Rep., ser. D, vol. 39, № (12), pp. 1099-1106, 2013.
4. Т.М. Cherednyehenko, І.Е. Garkusha, V.V. Chebotarev, et al., "Local magnetohydrodynamic characteristics of the plasma stream generated by MPC", Acta Polytechnica. 2013, vol. 53(2), pp. 131-133.
5. Т.М. Cherednyehenko, І.Е. Garkusha, V.A. Makhraj, et al., "Creating of compression zone in the plasma stream MPC at different initial conditions", Ukrainian Journal of Physics. 2017, vol. 62, № (4), pp. 306-310.29.
6. А. І. Morozov and L.S.Solov'ev, Reviews of Plasma Physics, Ed. by M. A. Leontovich.
7. Moscow :Atomizdat, , 1974; Consultants Bureau, New York, 1980, vol. 8.

### Експериментальні перерізи фотоядерних реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}$ для моделювання $\gamma$ -сценарію зіркового нуклеосинтезу

*Чеховська А. В. (науковий керівник – к. ф.-м. наук Скакун Є. О.)*

Дослідження поперечних перерізів фотоядерних реакцій в області енергій гігантського дипольного резонансу (10-30 Мегаелектронвольт) внесли вагомий вклад в розуміння ядерних взаємодій та особливостей структури атомного ядра. Крім того, дані по фотоядерним реакціям застосовуються при розв'язанні ряду технологічних проблем та сприяють розвитку та вдосконаленню інших суміжних наук.

Від взаємодії астрофізики та ядерної фізики утворилась наука, яка тепер називається ядерна астрофізика. Однією з гілок її досліджень є вивчення різних сценаріїв утворення в зірках стабільних ізотопів хімічних елементів, з яких складається матерія. Ізотопи малих мас (до  $A \sim 56$ ) утворилися в ядерних реакціях злиття, а переважна більшість транс-залізних нуклідів сформувалася в реакціях радіаційного захвату нейтрона. Проте в області масових чисел від  $A=74$  до  $A=196$  в природі спостерігається група з 35 так званих р-ядер (*p-nuclei*), які не могли утворитися в (n,  $\gamma$ )-реакціях. Пояснення їх розповсюдженості в Сонячній Системі наштовхується мало чи не найбільші труднощі. Самим ймовірним шляхом їх синтезу вважаються фотоядерні реакції, що відбуваються при вибуху супернових при температурах (2-3) GK. Для моделювання цього процесу потрібен ряд ядерних даних, найважливішими з яких є поперечні перерізи простих фотоядерних реакцій на р-ядрах та їх "сусідах".

Представлена дослідницька робота направлена на експериментальне дослідження поперечних перерізів реакцій ( $\gamma, n$ ) та ( $\gamma, p$ ) на одному з р-ядер олово-112 ( $^{112}\text{Sn}$ ) в області енергій фотонів від порога реакції до 14 MeV, що становить найбільший інтерес для ядерної астрофізики. Вимірювання здійснювались методом наведеної активності з застосуванням пучка гальмівного випромінювання лінійного прискорювача електронів ННЦ ХФТІ (Харків) та гама-спектрометрії високого розподілу. При аналізі  $\gamma$ -спектрів, випромінюємих ядрами радіоактивного ланцюжка  $^{111}\text{Sn} \rightarrow ^{111}\text{In} \rightarrow ^{111}\text{Cd}$  були визначені нові коефіцієнти розгалуження  $\gamma$ -переходів в дочірньому ядрі  $^{111}\text{In}$ , що відрізняються від значень, представлених в базах ядерних даних.

Експериментальні інтегральні перерізи реакції  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  порівнюються з раніше опублікованими даними [1] та розрахунками статистичної теорії ядерних реакцій [2], реалізованої комп'ютерними кодами NON-SMOKER [3] та TALYS[4]. З нашими результатами найкраще узгоджуються передбачення статистичної теорії в опції постійної температури та моделі Фермі-газу для щільності рівнів ядра та моделі лоренціану Брінка-Акселя для радіаційної силової функції.

#### Список літератури:

1. В. В. Варламов, Б. С. Ишханов, В. Н. Орлин, В. А. Четверткова. Известия Российской Академии Наук, Сер. Физ. 74, с. 875 (2009).
2. W.Hauser and H. Feshbach Phys. Rev. 87, 366 (1952).
3. T.Rauscher, F.-K. Thielmann, ADNDT 80, 1 (2004).
4. A.J.Koning, S.Hilaire, M.C.Duijvestijn. TALYS-1.0. Proc.Intern.Conf.Nuclear Data for Science and Technology, Nice, France, April 22-27, 2007
5. O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge, R.Jacqmin, and S.Leray, Eds., p.211 (2008); EDP Sciences, 2008.

#### Дослідження фібрилярних білкових агрегатів методами флуоресцентної спектроскопії та молекулярного моделювання

*Щука М. М. (науковий керівник – проф. Горбенко Г.П.)*

Проблемним питанням сьогодення є лікування та діагностика так званих конформаційних захворювань, пов'язаних з накопиченням високовпорядкованих  $\beta$ -структурованих білкових агрегатів [1–4]. Для доклінічного виявлення агрегатів і їх кількісних характеристик використовують флуоресцентні зонди – речовини, які здатні

збільшувати інтенсивність флуоресценції внаслідок зв'язування з амілоїдними фібрилами [5,6]. Однак через ряд недоліків, що мають класичні маркери амілоїдів, постає актуальна проблема виявлення амілоїдних фібрил *in vivo* та пошуку нових, кращих флуоресцентних зондів [7,8]. Саме тому мета даної роботи полягала у дослідженні амілоїдних фібрил різної морфології *in vitro* за допомогою класичного бензотіаозолового зонда – ThT і нового фосфонієвого – TDV1 на основі методів молекулярного моделювання та флуоресцентної спектроскопії.

Для приготування фібрил лізоциму та інсуліну розчини білків у гліциновому буфері (рН 2) інкубували у термостаті при 60 °С протягом 14 діб. Параметри комплексації зондів з фібрилярними та нативними формами білків отримували шляхом аналізу залежностей зростання інтенсивності флуоресценції барвників від концентрації білків у термінах моделі Ленгмюра.

Аналіз спектрів флуоресценції показав, що TDV1 має вищу специфічність до фібрилярних агрегатів білків, ніж до нативних, а також вищі значення зростання квантового виходу флуоресценції у фібрилах відносно буфера, ніж класичний зонд ThT. Новий зонд показав здатність розрізняти морфологію фібрил лізоциму та альбуміну за допомогою зсувів максимумів та зміни квантового виходу флуоресценції так само, як і новий барвник нільський червоний [7]. Також розроблено наглядний метод детектування фібрил різної морфології за допомогою вимірювання 3D-спектрів TDV1. Нарешті, методом молекулярного моделювання визначено, що новий зонд зв'язується зі специфічними сайтами зв'язування, а саме – із жолобком SER60\_TRP62/GLY54\_LEU56 антипаралельної амілоїдної фібрили лізоциму [9,10].

Отримані результати свідчать про перспективу використання TDV1 поряд з класичним ThT у якості амілоїдного маркера.

#### Список літератури:

1. Заболотний Д. І. Аутохтонна  $\beta$ -агрегація білків: причини, молекулярні механізми та патологічні наслідки // Журнал НАМН України. – 2014. – Т. 20. – № 4. – С. 385–392.
2. Козлов В. А. Амилоид–это плохо? Амилоид с точки зрения супрамолекулярной химии // Acta medica Eurasica. – 2016. – № 1. – С. 50–60.
3. Довидченко Н. Механизмы образования амилоидных фибрилл // Успехи биологической химии. – 2014. – Т. 54. – С. 203–230.
4. Заболотний Д. І. Трансгенні білки у ГМО-вмісних продуктах харчування: оцінка ризику // Журнал НАМН України. – 2012. – Т. 18. – С.379–383.

5. Чалий О. В. Медична і біологічна фізика: підручник для студентів вищих медичних закладів III-IV рівнів акредитації // Книга плюс.–К.:2004.–С. 371-382.
6. Радько С. П. Физико-химические методы исследования агрегации  $\beta$ -амилоида // Биомедицинская химия. – 2015. – Т. 61. – Вып. – 2. – С. 203–218.
7. Mishra R. Spectroscopic characterization of diverse amyloid fibrils in vitro by the fluorescent dye Nile red // Molecular BioSystems. – 2011. – Vol. 7. – P. 1232–1240.
8. Sulatskaya A.I. Interaction of Thioflavin T with amyloid fibrils: Stoichiometry and affinity of dye binding, absorption spectra of bound dye // The Journal of Physical Chemistry B. – 2011. – Vol. 115. – P. 11519–11524.
9. Biancalana M. Molecular mechanism of thioflavin-t binding to amyloid fibrils // Biochim. Biophys. Acta. – 2010. – Vol. 1804. – P. 1405–1412.
10. Krebs M.R.H. The binding of Thioflavin-T to amyloid fibrils: Localisation and implications // Journal of structural biology. – 2005. – Vol. 149. – P. 30–37.

## Список авторів

Ананьева В.А.	8
Ашихмин С. Т.	9
Бабич В.М.	11
Балькова Ю.Б.	12
Белих Д. Г.	13
Бондар Д. С.	15
Бочко В. Ю.	16
Булахов М.С.	18
Буряк І. В.	19
Веліжаніна Є. С.	21
Волков В.А.	22
Волкова Ю.С.	23
Горбатюк Т. М.	25
Дроздов Д. Р.	26
Дьячков Д. А.	28
Загоскін Т.В.	29
Зацаринна К.С.	30
Івахненко О.В.	31
Кобильнік В.А.	32
Кокорев А.Е.	34
Колчін В.С.	35
Кондратенко В.М.	37
Корюкіна В. Д.	39
Кучеренко Є.А.	40
Лаврик О.О.	41
Мазілін Б.О.	43
Макаров Г.Д.	45
Макарчук О.П.	47
Мирошник М.О.	48
Михайлюта М.С.	49
Молчанова А. В.	51
Прудивус Ю.А.	52
Рало Г.В.	54
Рижов А.І.	55
Савченко А. А.	57
Салтовець Є.В.	58
Сафронов А.С.	60
Скороход Р.В.	61
Тарабара У.К.	62
Тільний А. В.	64
Тімченко Р.М.	66
Трутьєв І. В.	68
Усагова О.О.	69
Харюк Д.О.	70
Хілько Д.І.	71
Чередниченко Т.М.	73
Чеховська А. В.	75
Щука М. М.	76



Наукове видання

**Студентська наукова конференція  
з прикладної фізики  
„Актуальні проблеми сучасної фізики”  
до 55-річчя Фізико-технічного факультету**

**Тези конференції**

Українською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. М. Середа*  
Комп'ютерне верстання *О. Г. Носова*

Формат 60x84/16. Умов. друк. арк. 4,55. Наклад 70 прим. Зам. № 23/17

Видавець і виготовлювач  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
61077, м. Харків, майдан Свободи, 4.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09