

Харківський національний університет

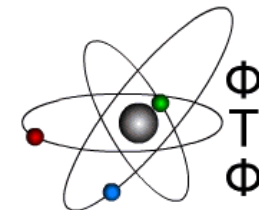
імені В.Н. Каразіна

Фізико-технічний факультет

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

**Наукова конференція студентів та аспірантів
з прикладної фізики**

**до 110-річчя з дня народження
академіка В. Є. Іванова**



Харків

2018

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету – Гірка Ігор Олександрович, професор, декан ФТФ

Заступник голови – Серета Ігор Миколайович, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
заст. декана ФТФ

Члени комітету ФТФ:

проф. Баранник С.О., проф. Бізюков 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 № 11 від 21.11.2018 р.)

А 43 **«Актуальні проблеми сучасної фізики»: Наукова конференція студентів та аспірантів з прикладної фізики до 110-річчя з дня народження академіка В. Є. Іванова:** Тези. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. - 72с.

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.

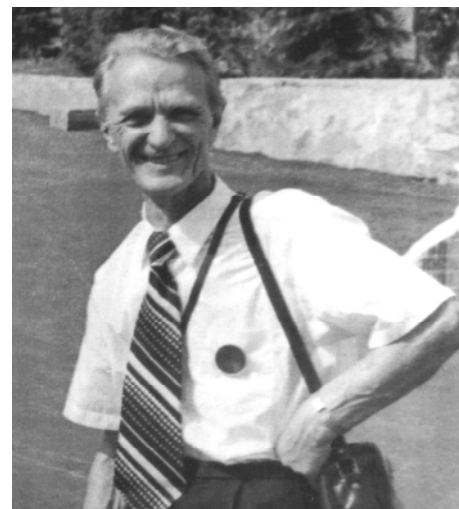
Відповідальність за достовірність інформації, коректність математичних викладок та точність наведених фактів несуть автори. Редакція може не поділяти точку зору авторів на викладену проблему. Тези доповідей опубліковано мовою оригіналу.

Посилання на матеріали збірника обов'язкові.

© Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна, 2018

Віктор Євгенович Іванов – вчений та засновник кафедри матеріалів реакторобудування Харківського університету

*Завідувач кафедри матеріалів реакторобудування
та фізичних технологій С. В. Литовченко*



22 листопада 2018 року виповнилося 110 років від дня народження Віктора Євгеновича Іванова – відомого вченого, академіка Академії Наук України і члена-кореспондента Академії Наук СРСР, засновника і першого завідувача кафедри матеріалів реакторобудування фізико-технічного факультету Харківського університету.

В. Є. Іванов народився у невеликому селі на Волзі, у тодішній Самарській губернії, він рано втратив матір, родина була дуже бідною. У юнацькі роки працював на Уралі на металургійному заводі, де вперше побачив рідкий метал та його плавку, побачив «як біжить розпечений струмінь метала», і був назавжди цим причарований.

Наступний етап життя – журналістика, спочатку у газетах Єкатеринбурга та Москви, а потім – в Туркменії, де він швидко опанував мову та розвинув свої літературні таланти.

Лише у 1939 році чисельні прохання В. Є. Іванова відпустити його на навчання задо-вольнили, і він став студентом Ашхабадського педагогічного інституту. Але і тут відбулася чергова суттєва (чи не вирішальна) зміна сфери діяльності – він вступив на навчання на фізико-математичний факультет, який успішно закінчив 1942 року, але не зупинився на цьому та продовжив навчання в Одеському гідрометеорологічному інституті (одночасно працюючи там монтером та лаборантом).

Зазначу, що тоді в Ашхабад було евакуйовано багато вищих навчальних закладів, зокрема – Московський університет. Студент Іванов відвідував там лекції зі спеціальних дисциплін фізико-математичного спрямування. Ось цитата з його листа того часу: «...Завтра иду на занятия аспирантов и преподавателей МГУ, на которые приглашен. Будет лекция о тензорном анализе. Я решил прослушать весь курс тензорного исчисления – мне это очень нужно будет в будущем» (авангардне передбачення – все це дуже важливим буде в ядерних питаннях) [1]. Після закінчення гідрометереологічного інституту у 1945–1947 р.р. навчався там-таки в аспірантурі, а у 1947 році був направлений до Харкова на стажування в УФТІ, де і залишився назавжди.

У 1947 р. В. Є. Іванов став співробітником УФТІ та з 1949 р. паралельно почав викладати у Харківському університеті. Першим його начальником та вчителем у Харкові став професор М. І. Корсунський (начальник лабораторії ударних напруг), а через деякий час – і сам директор інституту академік К. Д. Синельников. Саме за сприяння Синельникова та за його безпосередньої участі В. Є. Іванов пройшов весь шлях від звичайного наукового співробітника до заступника директора (1959 р.), а з 1965 р. – директора ХФТІ [2].

Значна частина наукових робіт ХФТІ того часу була секретною. Досі достеменно невідомо, які з цих робіт виконував до початку 60-х років Іванов. Але факти з біографії є вагомим підставою для міркувань, а саме:

1952 р. – захист кандидатської дисертації (головуючий на засіданні ради – І. В. Курчатов);

1954 р. – нагороджений медаллю «За трудовую доблесть»;

1956 р. – нагороджений орденом Леніна;

1961 р. – обраний членом-кореспондентом АН України (до захисту докторської!!!!);

1961 р. – присуджено ступінь доктора наук;

1964 р. – обраний членом-кореспондентом АН СРСР;

1967 р. – обраний академіком АН України.

Необхідно нагадати, що в 1960-му році помер І. В. Курчатов, невдовзі суттєво погіршилось здоров'я К. Д. Синельникова, і він

практично відійшов від керівництва інститутом. З того часу багато організаційно-керівних проблем необхідно було вирішувати заступнику директора (а потім і директору) інституту В.Є. Іванову.

Якщо максимально стисло охарактеризувати Іванова-вченого, то можна тільки перерахувати наукові сфери, у яких він мав пряме відношення до поняття «перший» [1]:

– перший в світі реактор-перетворювач на швидких нейтронах;

– перша в світі атомна станція з важководним реактором;

– перший в світі вакуумний прокатний стан;

– перші в світі складні композиційні матеріали, виготовлені вакуумною прокаткою;

– перші в світі установки вакуумної дистиляції металів;

– вперше в світі отриманий надчистий та надпластичний берилій;

– перші в світі вакуумно-плазмові методи формування пліткових покриттів на ректорних матеріалах;

– перші в світі жаростійкі та жароміцні покриття, розраховані на надвисокі температури.

За результатами педагогічної роботи В. Є. Іванова у Харківському державному університеті йому у 1962 році було присвоєно звання професора. Але найвагомим результатом освітянської роботи Іванова було створення у тому-таки 1962 році кафедри матеріалів реакторобудування на новому в університеті фізико-технічному факультеті. За безпосередньої участі та допомоги директора ХФТІ Іванова у П'ятихатках було побудовано новий корпус для цього факультету, гуртожиток та студентську їдальню [3].



Академіки В. Є. Іванов та А. М. Петросянц (голова Державного комітету з використання атомної енергії) оглядають новий корпус фізтехна, 1971 р.



В. Є. Іванов та доцент А. М. Блінкін (у 1978-1981 р. декан ФТФ) зі студентами в лабораторії кафедри матеріалів реакторобудування

Створивши кафедру, яку він очолював до 1970 року, побудувавши навчальний процес, забезпечивши все це необхідним обладнанням, приладами і матеріалами, підготувавши зі своїх учнів та послідовників необхідні викладацькі кадри, Віктор Євгенович залишив тим самим незгладимий слід в історії нашого університету. І сьогодні серед викладачів кафедри – учні В.Є. Іванова: Г.П. Ковтун, В.Є. Семенов, П.І. Стоєв, В.М. Воєводін.

В останнє десятиліття життя діяльність В.Є. Іванова було відзначено Державною премією СРСР (1972), другим орденом Леніна (1973), орденом Трудового Червоного Прапора (1975), званням заслуженого діяча науки і техніки України (1978), премією Ради Міністрів СРСР (1981, посмертно) [2].

Список літератури:

1. Академик Иванов: Историко-биографический очерк/ Комментарий А. Филатова // Харьков : Майдан, 2002. – 200 с.
2. Виктор Евгеньевич Иванов. Материалы к библиографии ученых СССР. Серия химических наук, вып. 85. – М.: Наука, 1991. – 46 с.
3. Виктор Евгеньевич Иванов (к 100-летию со дня рождения)/ Вісник Харківського національного університету”, 2008. – Т. 832. – Серія фізична "ЯДРА, ЧАСТИНКИ, ПОЛЯ", вип. 4/40/.

Ефекти релаксації «спотворених» чорних дір у калібрувальній-гравітаційній дуальності

Арсланалієв А.М. (науковий керівник – д. ф.-м.н. Нурмагамбетов О.Ю.)

Побудова квантової теорії гравітації і розробка методів дослідження систем, в яких не можна застосувати теорію збурень, є одними з ключових завдань сучасної теоретичної фізики. Серед актуальних непертурбативних методів дослідження все більшої популярності набирає калібрувальній-гравітаційній дуальності [1], яка заснована на еквівалентності пертурбативного опису гравітаційних систем в просторі анти-де-Ситтера непертурбативному режиму дуальної калібрувальної теорії в плоскому просторі-часі на один просторовий вимір нижче.

Прикладом дуальної калібрувальної теорії є кварк-глюонна плазма.

Особливий інтерес представляє дослідження поведінки кварк-глюонної плазми вдалині від термодинамічної рівноваги. Можливий спосіб опису таких процесів в рамках калібрувально-гравітаційної відповідності полягає у використанні «спотворених» чорних дір з несферичними горизонтами подій [2, 3]. Подібні рішення можуть виникати при описі чорної діри, оточеної зовнішньої матерією [4]. Такі чорні діри не є стаціонарними, бо відповідно до теореми про відсутність волосся, будь-яка чорна діра у фінальній стадії своєї еволюції описується трьома величинами: масою, кутовим моментом і зарядом. Наприклад, якщо чорна діра не обертається і не заряджена, то в кінцевому стані вона буде описуватися сферично симетричною метрикою Шварцшильда [5]. Оцінити характерний час релаксації «спотвореної» чорної діри до її «ідеального» стану можна з теореми Прайса [7, 8].

Використання теореми Прайса в контексті калібрувально-гравітаційної дуальності показує як часи релаксації «спотворених» чорних дір пов'язані з характерним часом життя кварк-глюонної плазми [8]. Встановлена нами відповідність вказує на важливість використання рішень для «спотворених» чорних дір з несиметричним горизонтом подій у описі властивостей кварк-глюонної плазми в ранні часи її еволюції.

Список літератури:

1. M. Ammon, J. Erdmenger, Gauge/Gravity Duality: Foundations and Applications (Cambridge University Press, 2015)
2. T. M. Moskalets, A. J. Nurmagambetov, “Liouville mode in gauge/gravity duality”, Eur. Phys. J. C 75, 551 (2015)
3. T. M. Moskalets, A. J. Nurmagambetov, “Static and non-static black holes with the Liouville mode”, Phys. Part. Nucl. Lett. 14, 365 (2017)
4. R. Geroch, J. B. Hartle, “Distorted black holes”, J. Math. Phys. 23, 680 (1982)
5. W. Israel, “Event Horizons in static vacuum spacetimes,” Rhys. Rev. 164, 1776 (1967)
6. R. H. Price, “Nonspherical perturbations of relativistic gravitational collapse. 1. Scalar and gravitational perturbations”, Phys. Rev. D 5, 2419 (1972)
7. R. H. Price, “Nonspherical perturbations of relativistic gravitational collapse. 11. Integer-spin, zero-rest mass fields”, Phys. Rev. D 5, 2439 (1972)

8. A. M. Arslanaliev, A. J. Nurmagambetov “Price’s theorem in Gauge/Gravity Duality”, Phys. Part. Nucl. 49, 879 (2018)

Дослідження спектроскопічних властивостей кристалів магній-алюмінієвої шпінелі активованих іонами титану

Багнюк З. А. (науковий керівник – доцент Грицина В. Т.)

Зразки кристалів магній-алюмінієвої шпінелі за вимірами 30-40мм довжиною та близько 20мм діаметром були отримані методом Вернеля при швидкості росту 20мм на годину. Вимірний параметр решітки, що дорівнював $a = 0,7996 \pm 0,0004$ нм, відповідає кристалу з решіткою нестехіометричної шпінелі $MgO \cdot 2.5Al_2O_3$. Зразки для дослідження були вирізані із онокристалів вздовж напрямку росту у вигляді пластин товщиною 2,0мм і мали синювате забарвлення.

В спектрах поглинання неопроміненого кристалів в УФ - області спостерігалось інтенсивне безструктурне поглинання в області 400-500нм слабо виражена смуга поглинання ідентифікована з переходами в ізольованих іонах Ti^{3+} . Інтенсивність поглинання з довжиною хвилі 800нм збільшувалась в окрашених смугах. Поглинання в цій області спектру зумовлено переходом з переносом заряду в комплексі активаційного та домішкового іонів: $Ti^{3+} \rightarrow Fe^{3+}$.

В спектрах поглинання опроміненних кристалів УФ квантами зі збільшенням часу опромінювання інтенсивність смуги поглинання з довжиною хвилі 265 нм зменшується. Це може бути пов'язано з іонізацією F^+ -центрів, які при відриві електрона переходять в оптично неактивні аніонні вакансії. Опромінення УФ світлом з довжиною хвилі ~ 220 нм призводить до іонізації іонів заліза і переходу $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ і зменшення комплексів $Fe^{4+} - Fe^{2+}$, що і спостерігається у вигляді зменшення інтенсивності смуги поглинання 800нм. Дані по опроміненню УФ - світлом показують формування комплексів дефектів, які включають іони титану в різних зарядових станах і можуть слугувати додатковим каналом рекомбінації радіаційно створених дефектів в катіонній підґратці.

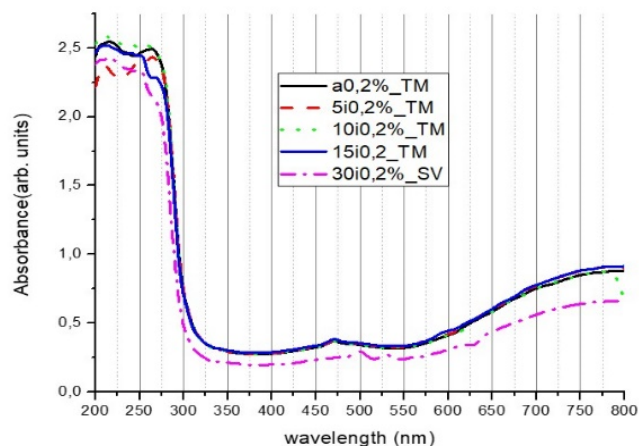


Рис. Спектр поглинання опромінених УФ променями зразків шпінелі (забарвлені зони)

В спектрах поглинання опромінених рентгенівськими квантами спостерігається перерозподіл максимумів в УФ області поглинання, які ідентифікуються з комплексами дефектів кристалічної ґратки і домішкових іонів. Опромінення рентгенівськими квантами дозволило встановити процес перезарядки активаторних іонів при іонізації Ti^{3+} , що знаходяться в октаедрах в Ti^{4+} , при великій концентрації титану рентгенівське опромінення призводить до посилення поглинання з перенесенням заряду за схемою ($Ti^{4+} - Ti^{2+}$) - ліганд.

Зміни структури спектрів іоніюлюмінесценції кварцового скла індукованої іонами H_2^+

Бойченко А.П. (науковий керівник – доцент, к.ф.-м.н. Кононенко С.І.)

У роботі приведені результати досліджень структури експериментальних спектрів іоніюлюмінесценції кварцового скла в видимому діапазоні довжин хвиль, отриманих під час довготривалого опромінення швидкими однозарядними іонами

молекулярного водню енергіями 420 кеВ. Математична обробка експериментальних спектрів дозволила виявити їх структуру.

Експериментальні дані були отримані на установці детальний опис якої можна знайти в роботі [1]. Пучок іонів молекулярного водню, що бомбардував зразок із кварцового скла KB-1 з кількістю домішок гідроксильних груп 800 ppm (particles per million), створював електростатичний прискорювач Ван-дер-Граафа ННЦ «ХФТІ». Вимірювання спектрів проводили з застосуванням монохроматора типу МДР-23 з ґраткою 1200 nm^{-1} . Спектри вимірювались під кутом 0° відносно перпендикуляру до поверхні зразка в діапазоні довжин хвиль 400 - 700 нм. Пучок іонів падав на зразок під кутом 30° [1].

В експериментах було досліджено зміни в спектрах під час довготривалого опромінення з накопиченням дози до $2,9 \cdot 10^{10}$ Гр, що еквівалентно $2 \cdot 10^{21}$ част/см³ та відповідає сумарному заряду іонів 552 мкК.

Для виявлення структури спектрів було проведено математичну обробку - процедуру фітування форми спектру відомими функціями. Для цього кожен спектр було представлено як суму декількох піків, що описуються функціями Гауса, яку найчастіше використовують у спектрометрії та яка повною мірою описує експериментальні дані.

Аналіз спектрів показав наявність раніше відомих смуг люмінесценції з максимумами 1,9 еВ (650 нм) та 2,7 еВ (460 нм). Наявність цих смуг пов'язують з власними дефектами кварцу, а саме з немістковим киснем та кисневою вакансією [2]. Також було виявлено смугу з максимумом 2,3 еВ (536 нм), яку у спектрах іоніюлюмінесценції кварцового скла можна виділити лише математичною обробкою. Цю смугу раніше спостерігали у спектрах фотолюмінесценції кристалічного кварцу [3, 4], проте її було легше ідентифікувати через більшу інтенсивність. Інтенсивність цієї смуги зростала з накопиченням дози, що свідчить про зміну балансу дефектів, пов'язаних з воднем, у кварцовому склі.

Список літератури:

1. O. Kalantaryan, V. Zhurenko, S. Kononenko, et. al., Nucl Instr and Meth in Phys Res B, 366, 90 (2016)
2. R. Salh, in: Crystalline Silicone, ed. by S. Basu, IntechOpen, 2011, p.135.
3. Glinka Y. D., Lin S.-H. and Chen Y.-T., Appl. Phys. Lett. 75 (1999) 778.
4. Glinka Y. D., Phys. Rev. B 62 (2000) 4733

Синтез високотемпературних сполук металів у плазмовій електронно-променевій системі

Болото Д.О. (науковий керівник – доцент Целуйко О.Ф.)

Високотемпературні сполуки металів вельми затребувані на світовому ринку синтетичних матеріалів. Зокрема, карбід титану широко використовується для різальних інструментів, жароміцних виробів, захисних екранів, у виробництві обладнання для підводної різки, є перспективним матеріалом для аерокосмічної техніки.

У роботі показана можливість високотемпературного синтезу карбідів і оксидів тугоплавких металів у плазмовій електронно-променевій системі. Необхідні для проведення синтезу розрядні параметри плазмового джерела були встановлені на основі досліджень просторового розподілу густини струму плазми для різних зовнішніх умов.

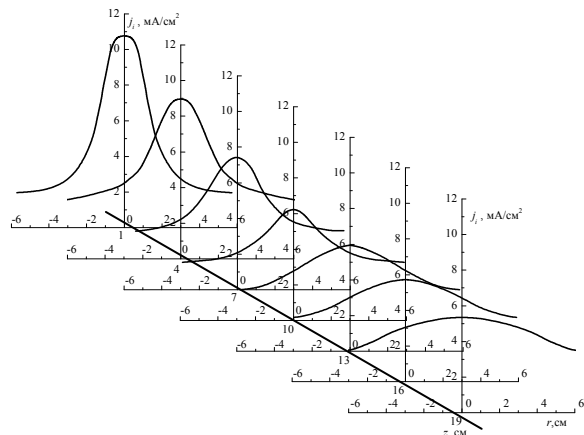


Рис. 1 - Просторовий розподіл густини іонного струму плазми

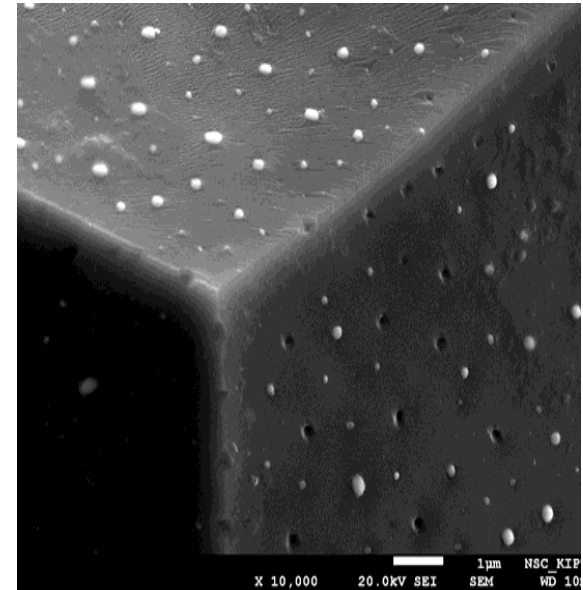


Рис. 2 - Мікроструктура Y-Zr-O

На рис. 2 приведена мікроструктура діоксиду цирконію, стабілізованого оксидом ітрію. Завдяки своїм властивостям оксид цирконію може використовуватись для створення вогнетривких виробів, тугоплавкого скла, різних видів кераміки, штучних дорогоцінних каменів і абразивних матеріалів. Також діоксид цирконію широко застосовується у волоконній оптиці [1].

На основі дослідження мікроструктури карбїду титану встановлено, що для масивних зразків вуглецю карбїд титану утворюється тільки на поверхні. Товщина шару становить близько 400 мкм. Тому дана технологія з успіхом може бути задіяна при роботі з волокнистим вуглецевим матеріалом. Це може бути використано при створенні великорозмірних корпусних деталей методом послідовного нанесення шарів товщиною до 500 мкм. Спектр карбїду титану показує сильне поглинання, яке може бути пояснено металевою природою цього карбїду або чотирьохвалентному стану титану [2].

Вірогідною причиною малої глибини проникнення титану у вуглець є відносно низька температура. Вона обмежується не

стільки втратами на випромінювання, скільки втратами енергії при випаровуванні титану. Маючи значно меншу температуру плавлення, ніж температура синтезу карбіду титану, і великий тиск насиченої пари, випаровування титану в ході експериментів сприяло стабілізації температури на порівняно невисокому рівні. Виходом з цього може бути збільшення потужності розігріву тигля до 100 кВт при підвищенні на ньому напруги, що можна реалізувати при імпульсному методі живлення

Список літератури:

1. Булычев Н.А., Казарян М.А., Чайков Л.Л. и др. Наноразмерные частицы оксидов металлов, полученные в плазменном разряде в жидкой фазе под действием ультразвуковой кавитации. 1. Метод получения частиц // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2014. – № 9. – С. 33–39.
2. Алымов М.И., Зеленский В.А., Анкудинов А.Б., Шустов В.С. Прочность пористого материала из порошка карбида титана // Физика и химия обработки материалов. – №6. – 2009. – С. 55-58.

Transformer ratio dependence on bunch length at nonlinear wakefield excitation in plasma by electron bunch with Gaussian charge distribution

D.S. Bondar (scientific supervisor – prof. V.I. Maslov)

Залежність коефіцієнта трансформації від довжини згустка за збудження нелінійної кільватерної хвилі у плазмі електронним згустком з зростаючим зарядом вздовж нього за законом Гауса

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

The wakefield excitation in a plasma and its application for particle acceleration avoids the problem of breakdown in the metal structures of accelerators when fields exceed the value 100 MV/m and creates accelerating gradients which are of considerably (three orders) higher intensity.

The efficiency of electron acceleration by a wakefield excited in a plasma by a sequence of electron bunches is determined by the transformer ratio (TR). The transformer ratio is the ratio of energy

acquired by the witness to energy lost by the driver. Approximately, the transformer ratio can be defined as $TR = E_{ac}/E_{dec}$. Where E_{ac} is the maximum accelerating field after the driver bunch. And E_{dec} is the maximum decelerating field inside driver bunch.

Earlier it was shown that in the linear case, using an Gaussian bunch, the transformer ratio does not exceed $TR \leq 2$.

In this work, using a non-linear version of the 2d3v code lcode, numerical simulation of excitation of a non-linear (blowout or bubble mode) wakefield in a plasma by a shaped relativistic electron bunch was performed. Also, the transformer ratio was investigated. In a shaped electron bunch, the charge density along it in the longitudinal direction increases approximately in Gaussian (by cosine) from a zero to maximum, and then abruptly breaks off. The dependence of the accelerating field and TR on the length of the bunch ξ_b is studied when the bunch length ξ_b changes from 0 to the length of the nonlinear wake (bubble), $0 < \xi_b < \lambda_{NL} \approx 2\lambda$. Here λ is the linear wavelength. It is taken into account that the length of the nonlinear wakefield increases when the length of the bunch increases. In a strongly nonlinear regime, this problem cannot be solved analytically. Therefore, it was investigated using a nonlinear version of the code lcode with a constant charge of the bunch.

In this paper, it was demonstrated by numerical simulation that the transformer ratio at the wakefield excitation by a bunch of relativistic electrons increases due to the profiling of the bunch, and also due to the nonlinearity of the excited wakefield. The value of the transformer ratio after the second bubble exceeds the transformer ratio after the first bubble. It is shown that for certain values of the length of the bunch, the transformer rate reaches a maximum value exceeding the transformer rate in the linear case in the absence of shaping of the bunch. The dependence of the accelerating and decelerating fields on the length of the bunch were also investigated and they were established that the obtained dependences agree with the theoretical assumptions.

Influence of the doppler effect on the stability of the nuclear burning wave mode

Burlayenko O.V., Malovytsia M.S. (scientific supervisor – prof. Fomin S.P)

Вплив доплерівського ефекту на стійкість режиму хвилі ядерного горіння

Бурлаєнко О.В., Маловиця М.С. (науковий керівник – проф. Фомін С.П.)

The major requirement imposed on nuclear reactors of new generation is the demand of their so-called «intrinsic safety». This means that under any circumstances, a reactivity type accident should be excluded at the level of the physical principles underlying its construction. The problem is that, the ensuring of the long-term continuous operation of the nuclear power reactor requires significantly more fissile material to be loaded into it than is necessary to realize the «critical condition» for the chain reaction development when the neutron multiplication factor is equal to unity: $k_{eff} = 1$. The corresponding reactivity excess is compensated by the injection of neutron-absorbing rods, by means of which the criticality is controlled during the entire reactor campaign. Failures or errors in the control of such potentially super-critical system can lead to disastrous consequences, as happened on the fourth block of the Chernobyl NPP. All currently operating reactors as well as advanced reactors of the Generation IV are super-critical with a large reserve of reactivity. Therefore, it is of high importance to develop for them special automatic systems implementing the principle of «intrinsic safety».

Great expectations in the issue of sustainable development of nuclear power are connected with the implementation of the concept of the safe fast reactor operating in the self-organizing mode of the slow nuclear burning wave (NBW) proposed by Feoktistov [1] in 1988. This concept is also known as «Traveling Wave Reactor» [2] or «CANDLE» [3]. The main feature of such a breeder reactor is that the nuclear fuel (fissile nuclides) is being produced and «burned» continuously, and at any moment of time the reactor is in an ideally critical state ($k_{eff} = 1$), with zero reactivity margin. Moreover, the special mechanism of the negative feedback inherent to this reactor ensures its automatic return to a critical state, even with external intervention bringing the reactor out of the stationary mode in one or

the other direction, i.e. «supercritical» ($k_{eff} > 1$) or «sub-critical» ($k_{eff} < 1$). This means that there is no need in operational control of reactivity by the control rods. Thus, such concept excludes or at least significantly reduces a role of the «human factor» in reactor control and, therefore, the risk of this type of accident.

The goal of the presented work is to perform a comparative analysis of different mechanisms of the reactivity feedback in the NBW reactor and to find out their interference. In addition to the specific negative feedback mechanism mentioned above, which is based on the balance of the production and burnout of fissile nuclides, the influence of the Doppler Effect on the stability of the NBW mode has been studied as well. For this purpose, the developed earlier in NSC KIPT codes for the NBW simulation [4, 5] have been modified to take into account the thermal effects using the multi-group nuclear constants obtained by means of the NJOY code and the ENDF/B -VII nuclear data library.

The obtained results showed that unlike the convenient reactors, where the Doppler Effect is one of the key mechanisms of negative reactivity feedback [6], this effect is negligible in the NBW reactor with metallic fuel. The explanation of such behavior is that we deal with a rigid neutron spectrum which practically does not fall into the resonance region. The questions concerning thermal expansion of the reactor core elements and interference of all feedback mechanisms will be studied in our future research.

References:

1. Л.П. Феоктистов, ДАН СССР, 309 (1989) 864.
2. E. Teller. Nuclear Energy for the Third Millennium. Preprint UCRL-JC-129547, LLNL, 1997, 21p.
3. H. Sekimoto, K. Ryu, Y. Yoshimura. Nucl. Sci. Eng., 139 (2001) 306.
4. S. Fomin, Yu. Mel'nik, V. Pilipenko, N. Shul'ga. Ann. Nucl. En., 32 (2005) 1435.
5. S.P. Fomin, et al. Prog. Nucl. En., 50, (2008) 163; 53 (2011) 800.
6. A.E. Walter, D.R. Todd, P.V. Tsvetkov: Fast Spectrum Reactors, Springer, NY, 2012.

Електролітно-плазмова обробка матеріалів виробів з нержавіючої сталі AISI 304, AISI 316 та міді.

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

Шорсткість поверхні деталей машин і механізмів [1], а також елементів конструкції теплообмінників [2] безпосередньо впливають на експлуатаційні характеристики окремих частин енергетичного комплексу. З цієї причини пошук оптимальних, економічно обґрунтованих і екологічно чистих методів поліпшення якості поверхні, зниження шорсткості є актуальним. Існують різні методи обробки поверхні для зниження її шорсткості. Одним з методів є електролітно-плазмова обробка [3]. Такий вид обробки дозволяє обробляти деталі складної форми, процес обробки піддається автоматизації. Одним з переваг цього методу є використання в якості електролітів водні розчини не токсичних солей металів низької концентрації [4]. Незважаючи на те, що електролітно-плазмова обробка вже добре відома [5] застосування цього методу в широких масштабах поки не відбувається. Розглядалася можливість обробки виробів з нержавіючої сталі AISI 304, AISI 316 та міді, як матеріалів прийнятних для виготовлення теплообмінників в харчовій і фармацевтичній промисловості, в розчинах сірчанокислого амонію, як з додаванням сірчаної кислоти, так і без.

Дослідження процесу електролітно-плазмового полірування проводилися на установці РЕР-4М. Установка складається з: робочої камери об'ємом 0.8 м³; катода, датчика температури електроліту; тримача об'єктів; джерела живлення; системи управління; пристрою занурення; системи збору і передачі даних. Джерело живлення постійного струму трансформаторний трифазний зібраний за схемою Ларіонова з керованим мостом. Вихідний опір джерела живлення 0.18 Ом. Джерело живлення забезпечує різниця потенціалів в 280 В і максимальний струм 120 А. Пристрій переміщення забезпечує занурення об'єкта в електроліт на задану оператором глибину з постійною швидкістю 5 мм/с. Точність позиціонування не гірше 1 мм. Відносна похибка вимірювань по струму і напрузі становить не більше 0.5%, по температурі - 1%. Дослідження профілю поверхні здійснювалися з використанням багатофункціональний приладу «Мікрон-гамма». Оптична мікроскопія проводилася на мікроскопі Метам Р-1. Як об'єкти дослідження використовувалися зразки

розміром 75x25x2 мм, які були виготовлені з листової електротехнічної міді марки М 2, сталі AISI 304 і AISI 316.

Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні режими електролітно-плазмового обробки поверхні об'єктів зі сталі AISI 304 і AISI 316 в розчині сульфату амонію 3% і міді в 3% розчині сульфату амонію з додаванням 1% сірчаної кислоти. Аналіз експериментальних даних показав, що найбільш ефективний процес споживання енергії починається з температури, яка перевищує 70 °С. Це відповідає умовам, які були вказані в роботі [6]. Також було встановлено, що після 390 с, подальша обробка поверхні AISI 304 або AISI 316 не призводить до якісних і кількісних змін рельєфу. Для об'єктів з міді оптимальний час обробки становило 150 с при початковій температурі електроліту 60 °С.

Список літератури:

1. Н. Б. Демкин, Э. В. Рижов, Качество поверхности и контакт деталей машин, Машиностроение. Москва, 1981, с. 244.
2. Х.У. Зеттлер, Влияние свойств поверхности и распределения потока на загрязнение поверхностей теплообмена: [монография], Пер. с англ., Страта. СПб, 2018, с. 450.
3. А. Д. Погребняк, Ю. Н. Тюрин, А. Г. Бойко, М. Л. Жадкевич, “Электролитно-плазменная обработка и нанесение покрытий на металлы и сплавы”, *Usp. Fiz. Met.*, vol. 6, no. 4, 2005, pp. 273–344.
4. А. П. Воленко, О. В. Бойченко, Н. В. Чиркунова, “Электролитно-плазменная обработка металлических изделий”, *Вектор науки ТГУ*, vol. 4, no. 22, 2012, pp. 144–147.
5. Ю. В. Синькевич, В. К. Шелег, И. Н. Янковский Г. Я. Беляев, Электроимпульсное полирование на основе железа, хрома и никеля, БНТУ. Минск, 2014, с. 325.
6. A.L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, et al., Plasma electrolysis for surface engineering // *Surface and Coatings Technology*. 1999, N 122, p. 73-93.

Розробка ліпід-білкових нанопереносників протиракових препаратів

Буряківська Д.Ю. (науковий керівник – професор Горбенко Г.П.)

Доксорубіцин (DOX) вважається одним із найбільш ефективних хімотерапевтичних препаратів, що пригнічує синтез ДНК і РНК: інтеркалює в подвійну спіраль ДНК між парами

азотистих основ, викликаючи зміни просторової структури ДНК та спричиняючи її розщеплення внаслідок утворення вільних радикалів. Окрім цього протипухлинна дія доксорубіцину обумовлена порушенням клітинних функцій в результаті зв'язування з ліпідами клітинних мембран і взаємодією з топоізомеразою 2. Одним із ефективних нанопереносників лікарських препаратів є ліпідні везикули. Метою даної роботи було вивчення ефективності включення доксорубіцину у ліпосоми різного складу, амілоїдні гідрогелі, а також комбіновані ліпід-білкові системи.

З використанням методів флуоресцентної спектроскопії, спектрофотометрії, ультрацентрифугування, рівноважного діалізу, флуоресцентної та оптичної мікроскопії проведено дослідження процесу інкапсуляції доксорубіцину у мультиламелярні ліпосоми, фібрилярні гідрогелі катіонного білка лізоциму та аніонного білка альбуміну, та комбіновані ліпід-білкові системи. У першій серії експериментів проводили дослідження процесу інкапсуляції DOX у модельні фосфоліпідні мембрани, що склалися з фосфатидилхоліну (PC) та його суміші з кардіоліпіном (10 мол%, CL10). При включенні DOX у ліпідні везикули PC та CL10 на стадії гідратації ліпідних плівок, після центрифугування у супернатанті виявлено 42% та 52% DOX, відповідно, за молярного співвідношення ліпід-препарат 800:1. Кінетика виходу препарату з PC ліпосом була більш повільною, у порівнянні з CL10 ліпосомами. Показано, що молярна флуоресценція доксорубіцину суттєво зростає (у 20 разів) при зв'язуванні препарату з мультишаровими ліпосомами із цвіттеріонного ліпідом фосфатидилхоліну та його суміші з негативно зарядженим ліпідом кардіоліпіном. У другій серії експериментів було включено DOX та фібрили лізоциму у ліпідні везикули PC на стадії приготування мультишарових ліпосом. Фібрили лізоциму погано утримували препарат, оскільки вихід препарату з фібрил був таким самим, як і з контролю (сектору діалізної комірки, заповненого буфером). Включення фібрил майже не впливало на кінетику виходу препарату. У третій серії експериментів було включено DOX та фібрили альбуміну (BSAF) у ліпідні везикули PC на стадії

приготування мультишарових ліпосом. DOX не зв'язувався з фібрилами альбуміну. Слід відзначити також суттєві зміни спектрів флуоресценції DOX при зв'язуванні з ліпосомами. Ці зміни проявилися за високого молярного співвідношення ліпід-препарат (при низькій концентрації зонда), тому у попередніх серіях вони не були помітні. У четвертій серії експериментів було включено DOX та фібрили лізоциму (LzF) у ліпідні везикули PC на стадії приготування мультишарових ліпосом. Включення фібрил призводило до незначного зниження ефективності утримання препарату ліпосомами, включення кардіоліпіну майже не впливало на ефективність утримання DOX ліпосомами. Фібрили погано утримували препарат, оскільки вихід препарату з фібрил був таким самим, як і з контролю (сектору діалізної комірки, заповненого буфером). За допомогою флуоресцентної мікроскопії у системах ліпосоми-фібрили спостерігалось зростання розміру комплексів. Також стабільність комплексів препарат-ліпосоми чи препарат-ліпосоми-фібрили була достатньо висока, інакше спостерігали би руйнування ліпосом та низьку інтенсивність флуоресценції.

Таким чином, при додаванні фібрил лізоциму чи альбуміну спектральні характеристики доксорубіцину залишались практично незмінними, а ефективність включення препарату у фібрилярні гідрогелі була низькою. Встановлено, що негативно заряджені ліпосоми краще утримують доксорубіцин, порівняно з нейтральними ліпосомами. У комбінованій системі, що містила ліпосоми із фосфатидилхоліну та фібрили альбуміну, утримання доксорубіцину було більш ефективним, порівняно з ліпосомами без фібрил, але менш ефективним, порівняно з ліпосомами, що містили кардіоліпін. Фібрили лізоциму не спричиняли суттєвого впливу на ефективність інкапсуляції препарату в нейтральних та негативно заряджених ліпосомах.

Отримані результати вказують на можливість створення комбінованих нанопереносників доксорубіцину на основі нейтральних ліпосом та негативно заряджених фібрил.

Верифікація плану променевої терапії методом гелевої дозиметрії

Гончаров О.В. (науковий керівник – д. мед. н. Старенький В.П.)

Променева терапія, дозиметрія, гелева дозиметрія, magic-гель, верифікація, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія, фантом, гарантія якості

Актуальність роботи визначається відсутністю в Україні розвинутої системи гарантії якості променевої терапії (ПТ) та, зокрема, методик верифікації планів опромінювання прямим вимірюванням дозного розподілу.

Важливим розділом гарантії якості променевої терапії є клінічна дозиметрія, а особливо верифікація планів опромінювання. Зазвичай, верифікація планів опромінювання відбувається опосередковано через прості вимірювання параметрів терапевтичного апарату, однак із розвитком та підвищенням складності методик доставки дози зростає й невизначеність в дозному розподілі.

У роботі були розглянуті різні методи верифікації дозиметрії: метод *in vivo* дозиметрії, метод мегавольтової радіографії, за допомогою дозиметричних фантомів та за допомогою гелевої дозиметрії.

Зазначені вище методи використовуються для різних типів ПТ, які відрізняються за типом використовуваних часток, джерелом випромінювання, методикою підведення дози до опромінюваного об'єму та розташуванням джерела відносно пацієнта. Кожен метод верифікації ПТ має свої переваги та недоліки. Серед них можна виділити як доступні методики верифікації, так і такі, що використовуються лише у спеціальних медичних установах, оскільки мають велику вартість, однак велика вартість не обов'язково означає кращу якість верифікації [1].

Тому проаналізувавши можливості та результати методів верифікації планів ПТ, ми використовували метод гелевої дозиметрії, бо він порівняно з іншими методами відносно доступний, більш простий у використанні та, що найважливіше не менш ефективний. Однак його розповсюдженість в Україні та у

світі як засобу верифікації дозного розподілу залишає бажати кращого.

У роботі було проаналізовано основні засоби верифікації планів опромінювання, їх фізичні принципи роботи та сумісність з різними методиками променевої терапії, а також фізичні властивості гелевої дозиметрії, та особливості її застосування. Сформульовано та проведено метод верифікації плану опромінювання в променевій терапії за допомогою гелевої дозиметрії.

При розгляді методів гелевої дозиметрії були визначені особливості різних методів приготування гелю та різницю в його властивостях. Відзначено, що найбільш наближеними за атомарним складом до м'яких тканин є варіації MAGIC-гелю із використанням глюкози та сечовини, який і було вибрано для дослідження.

Отримані в роботі результати свідчать про можливість використання дозиметричного гелю з метою верифікації плану лікування, однак для коректного проведення цієї операції необхідний більш ретельний підхід для виключення ряду ймовірних недоліків, що мали місце в даному дослідженні.

Результати дослідження можуть бути корисними для поліпшення системи гарантії якості променевої терапії та сприяють розвитку гелевої дозиметрії в Україні.

Список літератури:

1. Радиационная защита в лучевой терапии Авторы: Игорь Тарутин, Егор Титович, Георгий Гацкевич. — Минск: Беларуская наука, 2015. – 212с. – ISBN 978-985-08-1914-7. – 115-119с.

Цифрова обробка оптичних спектрів випромінювання плазми магнетронного розряду

Дроздов Д. Р. (науковий керівник – доцент Бобков В. В.)

Основою ряду аналітичних методів дослідження якісного та кількісного складу матеріалу є оптична спектрометрія. Пов'язано це з високою достовірністю визначення природи випромінюючої частинки за її спектром і відносною простотою системи аналізу та

реєстрації випромінення. Для збудження поверхні широко використовують методи з використанням розрядів [1], зокрема магнетронного розряду (МР). Інтенсивне світіння плазми над поверхнею катоду магнетрона вказує на можливість використання метода оптичної спектрометрії для експрес-аналізу елементного складу твердих тіл.

Система реєстрації випромінення може бути фотографічною чи фотоелектричною. Суттєвою перевагою фотографічної системи для реєстрації випромінення МР є можливість отримання інтегральних характеристик усього спектру, що досліджується, в широкому діапазоні довжин хвиль з просторовим розподілом над джерелом світіння. Стимулюючим фактором для широкого розповсюдження фотографічної системи реєстрації є використання у якості реєструючих елементів фотопластинок або фотоплівки, котрі потребують багатоетапної та працемісткої обробки фотоматеріалу [2], під час якої можлива значна експериментальна похибка. Перехід до запису інформації за допомогою приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-матриць) [3] та сучасних комп'ютерних технологій дозволяє суттєво прискорити процес отримання фізичної інформації та провести аналіз оптичних спектрів безпосередньо на комп'ютері без використання додаткових засобів обробки фотоплівкових матеріалів.

Метою роботи було створення багатофункціонального GUI-застосунку OSA (Optical Spectrum Analyzed) для отримання таких характеристик спектру світіння плазми магнетронного розряду як довжина хвилі лінії, що реєструється, та просторовий розподіл її інтенсивності. Задача була поділена на наступні частини: визначення довжини хвилі конкретної спектральної лінії на зображенні; попередня інтерпретація отриманих результатів; реєстрація просторового розподілу інтенсивності уздовж лінії. Для вирішення задачі було використана мова програмування Python [4]. Використання цієї мови було продиктоване її простотою та наявністю великої кількості наукових бібліотек.

На поточний момент реалізовані алгоритми, що дозволяють визначити довжини хвиль обраних спектральних ліній та отримати розподіл інтенсивностей уздовж спектральної лінії.

Аналіз за довжинами хвиль дозволяє ідентифікувати зарядовий та енергетичний стан збуджених частинок, що дає можливість з високою вірогідністю визначити елементний склад плазми розряду. Розподіл інтенсивності випромінення уздовж висоти спектральної лінії надає інформацію щодо розподілу збуджених частинок уздовж напрямку, паралельного осі магнетронного розряду, що є актуальним для дослідження фундаментальних процесів взаємодії частинок у плазмі розряду.

Список літератури:

1. Зайдель А.Н. Таблицы спектральных линий / Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М. [и др.] – М: Наука, 1977. – 800 с.
2. Burakov V.S. Handbook on Spectral Analysis Practical / V.S. Burakov, A.A. Yankovskii. – Oxford:Pergamon, 1964. – 204 p.
3. J.Feuchtwanger, V.Etxebarria, J.Portilla, J.Jugo, I.Badillo, I.Arredondo. Hydrogen electron cyclotron resonance ion sources plasma characterization based on simple optical emission spectroscopy / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. – 2018. – V. 881. – P.44-47.
4. Mark Lutz. Learning Python, 5th Edition Packages. – O'Reilly Media, 2013. – 1648 p.

Взаємодія нового протипухлинного препарату координаційного комплексу європію з ДНК: дослідження методами абсорбційної спектроскопії та молекулярного докінгу

Забрудська А.С. (науковий керівник – професор Трусова В.М.)

Взаємодія з нуклеїновими кислотами є одним із ключових механізмів біологічної дії широкого спектру лікарських препаратів. Зокрема, протипухлинні агенти антрациклінової групи, доксорубіцин, мітоксантрон, тощо, проявляють свою протипухлинну дію внаслідок інтеркаляції в ДНК, що пригнічує синтез нуклеїнових кислот. Нещодавно було продемонстровано, що серія Eu(III) тріс- β -дікетонатів з загальною формулою $Eu(L)_3Int$, де L - ацетилацетон, теноїлтрифторацетон, бензоїлацетон чи дібензоїлметан, а Int - 1,10-фенантролін чи 2,2'-біпіридин, мають виражені антинеопластичні властивості, причому ДНК-інтеркалюючий мотив (Int) є головним

детермінантом цитотоксичної дії [1]. Ці дані відкривають нову важливу область досліджень, спрямовану на з'ясування структурно-функціональних взаємозв'язків та механізмів біологічної дії координаційних комплексів європію, як нового класу антинеопластичних препаратів, з альтернативними механізмами цитотоксичності та резистентності. Одним із важливих аспектів цієї проблеми є з'ясування природи взаємодії лантанідів з ДНК. В даній роботі проведено дослідження взаємодії нового протипухлинного комплексу європію V7 з ДНК шляхом моніторингу змін абсорбційної поведінки класичного ДНК-маркера акридинового оранжевого (АО). Спектр поглинання АО у присутності ДНК характеризується максимумом поглинання на довжині хвилі 490 нм (що відповідає мономерній формі барвника) та чітко вираженим плечем на 468 нм (димери АО). Відомо, що за умов надлишку ДНК, АО зв'язується з подвійною спіраллю ДНК переважно у формі мономерів, інтеркалюючи між парами нуклеотидних основ макромолекули, та незначною часткою димерів із зовнішнім типом взаємодії з ДНК. Додавання комплексу європію V7 до системи, що містила 31 μM ДНК та 2 μM АО супроводжувалось значним гіперхромним ефектом (поглинання АО на 490 нм зросло приблизно на 23%) без явних змін положення максимуму. Слід зазначити, що включення комплексу європію до системи ДНК/барвник викликало також незначне збільшення співвідношенні мономер/димер АО, що проявлялось у звуженні спектру поглинання, оскільки плече димерів було більш виражене у відсутності V7. Враховуючи той факт, що комплекс європію V7 є планарною ароматичною структурою, розмір якої становить 1.4 нм, термодинамічно більш вигідною для даного лантаніду буде інтеркаляція між парами нуклеотидних основ. Для підтвердження даного факту було проведено молекулярний докінг між додекамером ДНК [d(CGCGAATTTCGCG)₂, PDB ID 1BNA] та V7 з використанням програмного забезпечення HEX 8.0.0. Результати молекулярного докінгу не підтверджують «класичну» модель інтеркаляції лантаніду між парами нуклеотидних залишків ДНК, та свідчать про так звану «часткову» інтеркаляцію з 1,10-фенантроліновим

кільцем, що проникає між парами нуклеотидних основ. Імовірно координаційний комплекс V7, «частково» інтеркалюючи між парами залишків ДНК, впливає на структуру подвійної спіралі ДНК таким чином, що стає можливою взаємодія додаткових мономерів акридинового оранжевого, що проявляється у зростанні інтенсивності мономерного піку у спектрах поглинання барвника. Підсумовуючи, результати даної роботи створюють підґрунтя для більш глибокого розуміння механізмів взаємодії координаційних комплексів європію з подвійною спіраллю ДНК та можуть бути корисними при дослідженні фармакологічної активності лантанідів, а також розробці нових антинеопластичних препаратів на основі комплексів європію.

Список літератури:

1. Momekov G. Evaluation of the cytotoxic and pro-apoptotic activities of Eu(III) complexes with appended DNA intercalators in a panel of human malignant cell lines / G. Momenkov, T. Deligeorgiev, A. Vasilev, K. Peneva, S. Konstantinov, M. Karaivanova // *Med. Chem.* – 2006. – Vol. 2. – P. 439 – 445.
2. Amado A. Acridine orange interaction with DNA: effect of ionic strength / A. Amado, W. Pazin, A. Ito, V. Kuzmin, I. Borissevitch // *Biochimica et Biophysica Acta.* – 2017. – Vol.1861. – P. 900 – 909.

Інкапсуляція координаційних комплексів європію в ліпідні везикули та амілоїдні гідрогелі

Ллюха Є.В. (науковий керівник – професор Горбенко Г.П.)

Застосування нанотехнологій надає широкі можливості в удосконаленні цільової доставки ліків та здійснення корекції профілю токсичності. На цей час розроблено широкий спектр методів та технологій модифікації фізико-хімічних та фармакологічних властивостей лікарських засобів з метою підвищення їх ефективності та зниження токсичності. Особливе місце серед такого роду досліджень посідають розробки лікарських форм із застосуванням нанотехнологій. Зважаючи на це, метою даної роботи було вивчення оцінки можливості створення удосконалених нанопереносників нового потенційного

протипухлинного препарату – координаційного комплексу европію (V7), на основі комбінованих ліпід-білкових систем.

Структура координаційних комплексів европію містить велику кількість ароматичних кілець, та гідрофобних груп, що вказує на їх можливу локалізацію в гідрофобній області ліпідного бішару. У роботі було досліджено здатність ліпідних везикул, амілоїдних фібрил та комбінованих систем, що склалися з ліпосом та фібрилярних агрегатів білків зв'язувати протипухлинний препарат – координаційний комплекс европію (V7).

На першому етапі роботи проводили вивчення вбудовування V7 у мультишарові ліпосоми, що склалися з чистого фосфатидилхоліну (ФХ) або його суміші з кардіоліпіном (10 мол %). На другому етапі роботи було включено V7 та фібрили лізоциму у ліпідні везикули з фосфатидилхоліну на стадії приготування мультишарових ліпосом (концентрація препарату була в 1.6 разів нижче, ніж на першому етапі роботи). На третьому етапі роботи було включено V7 та фібрили альбуміну (BSAF) та лізоциму (LzF) у ліпідні везикули ФХ на стадії приготування мультишарових ліпосом (концентрація препарату була у 33 рази нижче, ніж на першому етапі роботи). Головним чином, для запобігання впливу агрегації препарату на його інкапсуляцію, було вирішено дослідити процес його інкапсуляції у ліпосоми і фібрили за низької концентрації V7 [1].

За допомогою методів ультрацентрифугування, рівноважного діалізу та флуоресцентної спектроскопії показано, що V7 ефективно вбудовується в гідрофобну зону оболонки нейтральних та негативно заряджених мультиламелярних ліпосом, причому ступінь інкапсуляції та утримання препарату практично не залежить від заряду ліпідних везикул. За відсутності ліпідних везикул спостерігалась низька ефективність включення V7 у фібрилярні гідрогелі лізоциму та альбуміну.

Процес інкапсуляції V7 у ліпосоми та амілоїдні фібрили був досліджений за допомогою флуоресцентної мікроскопії. Комплекси ліпосом з фібрилами та V7 при включенні останніх у ліпосоми на етапі гідратації ліпідної плівки були достатньо стабільними, оскільки у порівнянні з контролем (чисті ліпосоми)

не спостерігалось руйнування навантажених везикул. Дійсно, вбудовування гідрофобних молекул у неполярну область ліпосом, наприклад, амфотеріцину В, призводило до підвищення проникності мембран для моновалентних катіонів. через утворення пор у мембранах [2]. Однак, введення даних фенольних сполук у ліпідну суміш перед формуванням ліпосом призводило до протилежного ефекту – стабілізації ліпосомальної мембрани.

Проведені дослідження показали, що вплив фібрил лізоциму чи альбуміну на ступінь включення препарату у ліпідні везикули залежить від молярного співвідношення ліпід: V7, але зростання ефективності інкапсуляції виявлено не було. У комбінованих системах на основі ліпосом та фібрилярного лізоциму утримання комплексу европію було більш ефективним, порівняно з системами, що містили фібрилярний альбумін, причому цей ефект був більш вираженим для негативно заряджених ліпосом.

Список літератури:

1. Torchilin V. P. Recent advances with liposomes as pharmaceutical carriers / V. P. Torchilin // Nat. Rev. Drug Discovery. – 2005. – Vol. 4. – P. 145 – 160.
2. Brajtburg J. Carrier effects on biological activity of amphotericin B / J. Brajtburg, J. Bolard // Clin. Microbiol. Rev. – 1996. – Vol. 9, № 4. – P. 512 – 531.

Хвилеводні електромагнітні моди у пластині шаруватого надпровідника за наявності зовнішнього постійного магнітного поля

Квітка Н. М. (науковий керівник – проф. Ямпольський В. О.)

Було знайдено та проаналізовано закон дисперсії для локалізованих на шаруватому надпровіднику хвиль, які поширюються уздовж пластини скінченної товщини перпендикулярно шарам надпровідника при наявності зовнішнього постійного однорідного магнітного поля.

Отриманий закон дисперсії для точного розв'язку хвильового рівняння має дві області: нормальну та аномальну. В області нормальної дисперсії при малих значеннях хвильового вектора дисперсійні криві майже співпадають зі світловою лінією, а при збільшенні величини хвильового вектора дисперсія стає

аномальною. Для розв'язку, отриманого за допомогою наближеного метода ВКБ [1], існує лише область аномальної дисперсії. Тобто квазікласичне наближення достатньо точно описує лише хвилі з великим значенням хвильового вектору, тобто лише ті хвилі, довжина яких значно менша, ніж лондонівська глибина проникнення. В області відносно малих частот (менших, ніж джозефсонівська плазмова частота) дисперсійні криві, які відповідають симетричним та антисиметричним модам, майже з'єднуються в одну. Це пояснюється тим, що в цій області частот магнітне поле всередині пластини дуже швидко згасає.

Показано, що змінюючи величину зовнішнього магнітного поля, можна впливати на закон дисперсії шаруватого надпровідника. Для великих частот (більших, ніж джозефсонівська плазмова частота) збільшення величини зовнішнього магнітного поля відповідає зсуву дисперсійних кривих в область менших частот, для малих (менших, ніж джозефсонівська плазмова частота) — в область менших хвильових векторів.

Отримані дисперсійні криві дозволяють якісно описати явище повного внутрішнього відбиття в пластині шаруватого надпровідника за умови, що зовнішнє магнітне поле достатньо повільно змінюється в напрямку, перпендикулярному шарам надпровідника [2]. Більш детально це явище планується дослідити в подальшій роботі.

Список літератури:

1. Левич В. Г. Курс теоретической физики – том II. Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика / В. Г. Левич, Ю. А. Вдовин, В.А. Мямлин. – М. : Наука – 1973 – 936 с.
2. Rokhmanova T. Effect of a dc magnetic field on the anomalous dispersion of localized Josephson plasma modes in layered superconductors / T. Rokhmanova, S.S.Apostolov, N.Kvitka, and V.A.Yampol'skii//Low Temperature Physics - 2018. - 44, №6. - p. 711-720.
3. Yampol'skii V.A. Surface plasma waves across the layers of intrinsic Josephson junctions / V.A. Yampol'skii, D.R. Gulevich, S. Savel'ev, F. Nori // Phys. Rev. – №B 78 – 2008 – 054502 – 3 pp.

2. Savel'ev S. Terahertz Josephson plasma waves in layered superconductors: spectrum, generation, nonlinear and quantum phenomena / S. Savel'ev, V.A. Yampol'skii, A.L. Rakhmanov, F. Nori // Rep. Prog. Phys. – №73 – 2010 – 026501 – 49 pp.
3. Апостолов С. С. Аномальная дисперсия поверхностных и волноводных мод в пластине слоистого сверхпроводника / С. С. Апостолов, В.И. Гавриленко, З. А. Майзелис, В. А. Ямпольский // Физика низких температур. – 2017. – Т. 43, № 2. – с. 360-367
4. Shrivastava K. N. Superconductivity: Elementary Topics / Keshav N Shrivastava – World Scientific Publishing Co. – 2000 – 362 p.
5. Давыдов А.С. Квантовая механика : [учеб. Пособие] / Давыдов А.С. – 3 изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011 – 704 с.

Higher radial modes of azimuthal surface waves in magnetoactive cylindrical waveguides

V. Kondratenko (scientific supervisor – prof. I. Girka)

Вищі радіальні моди азимутальних поверхневих хвиль у магнітоактивних циліндричних хвилеводах

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

Azimuthal surface waves are eigenmodes of cylindrical plasma-dielectric-metal structures both in presence and without an axial static magnetic field [1-3]. They are actively studied due to possible applications in plasma electronics, nanotechnologies, and biomedical diagnostics. Higher radial modes are known to propagate at higher frequencies and shorter wavelengths compared to those of the zero-th mode, a feature which is of interest for practical applications. To get advantage of excitation of higher radial modes of azimuthal surface waves one has first to know their dispersion properties. The present report generalizes the results of earlier papers [1-3] by including a static axial magnetic field and considering the higher radial modes [4]. The presence of the axial static magnetic field removes the degeneracy in the wave spectrum in respect to the sign of the azimuthal wave number.

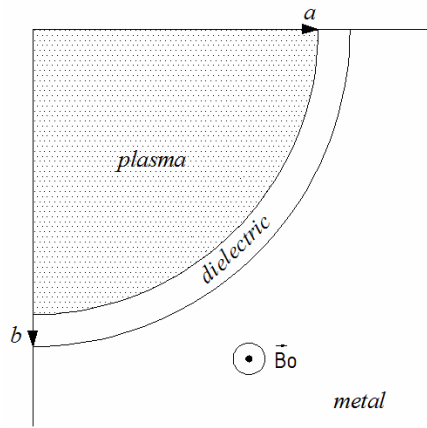


Fig. 1. Schematic of the problem

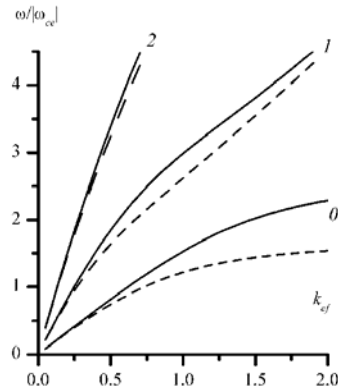


Fig. 2. Dependence of the ASW eigen frequency vs k_{ef} . $Z=5$; $b/a=2$; $\varepsilon_d=4$, $m=+2$ (solid lines), $m=-2$ (dashed lines), $l=0, 1, 2$

Approximate expression

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

satisfactory describes the eigen frequency splitting by external magnetic field. In (1), ω_{ce} is electron cyclotron frequency, $\delta=c/\Omega_e$ is skin-depth, Ω_e is Langmuir frequency, l is radial wave number, ε_d is dielectric constant of the layer, $b-a$ is the width of the layer, $\varepsilon_{1,2}$ are the components of the dielectric permittivity tensor of cold collisionless magnetoactive plasma.

The dependence of the eigenfrequencies of the first ASW radial modes ($l=0, 1, 2$) with azimuthal wave numbers $m=+2$ (solid lines), -2 (dashed lines) vs $k_{ef}=|m|\delta/a$ for the mentioned above values of the plasma waveguide parameters is plotted in Fig. 2. The numerals indicate the radial wave number l . The numerical analysis confirms the analytical result: the eigenfrequencies of higher radial modes are higher than those of the zero-th radial mode studied earlier in [2]. For example, the latter is higher than that of the first radial mode by the factor of 1.84 while eq.(1) predicts the factor 2.

References:

1. V. Girka, I. Girka, M. Thumm. Surface flute waves in plasmas: theory and applications, New York: 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.
4. I. Girka, V. Kondratenko, M. Thumm. Higher radial modes of azimuthal surface waves in magnetoactive cylindrical plasma waveguides// J. Plasma Phys. 2018, v. 84, 905840603.

Технологія напрацювання медичного ізотопу Тс-99m на базі ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів»

Кононенко С.С. (науковий керівник – к. ф.-м. н. Ушаков І.В.)

На сьогоднішній день в ядерній медицині для ранньої діагностики захворювань різних органів людини та для цілей терапії застосовуються різноманітні радіофармацевтичні препарати, що містять такі радіоізотопи як ^{131}I , ^{198}Au , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{67}Ga , ^{111}In , ^{201}Tl , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F та інші [1]. Серед них одними з найбільш затребуваних для вивчення фізіологічних та морфологічних систем організму людини є радіоізотопи молибдену Мо-99 ($T_{1/2} = 66,02$ год.) та технецію Тс-99m ($T_{1/2} = 6,01$ год.). Причому, Мо-99 використовується у генераторах Мо-99/Тс-99m, у яких Тс-99m утворюється при β -розпаді материнського Мо-99.

З огляду на актуальність проблем медичної діагностики та найбільш прийнятні ядерні властивості Тс-99m в ННЦ ХФТІ в рамках реалізації проекту спорудження новітньої ядерної підкритичної установки (ЯПУ) «Джерело нейтронів», як один з напрямків її практичного використання, був започаткований та успішно просувається проект з розробки та впровадження технології напрацювання ізотопу Тс-99m, у руслі якого була виконана дана робота з постановкою наступних цілей: аналіз існуючих методів напрацювання радіоізотопів, детальне вивчення технології та оцінка можливостей напрацювання ізотопу Тс-99m на базі зазначеної установки.

Попередній аналіз напрацювання низки медичних ізотопів, у тому числі й $Tc-99m$, на базі ЯПУ «Джерело нейтронів» було виконано у роботі [2]. За основу технології напрацювання узято опромінення молібдену $Mo-98$ потоком нейтронів в активній зоні ЯПУ «Джерело нейтронів», що має ряд суттєвих переваг перед іншими існуючими методами [3-5], такі як дешевизна вихідної сировини, відсутність довгоіснуючих радіоактивних відходів, значно знижений рівень капітальних витрат, що обумовлено більш низькими вимогами до умов забезпечення радіаційної безпеки та ін. Зокрема один з таких методів передбачає опромінення високозбагаченого урану в активній зоні ядерного реактору, однак цей метод пов'язаний з проблемою поводження з радіоактивними відходами, що утворюються при цьому у великій кількості. Другий – заснований на використанні фотоядерних реакцій на ядрах молібдену $Mo-100$ чи урану $U-238$, але він не знайшов застосування насамперед через відсутність невеликих прискорювачів електронів з великими інтенсивностями пучків.

У ході виконання роботи було проведено всебічний аналіз існуючих методів напрацювання радіоізотопів, які здобули розвиток та застосування у провідних наукових та медичних світових закладах, та порівняння з технологією напрацювання ізотопу $Tc-99m$ на базі ЯПУ «Джерело нейтронів», зроблено оцінку питомої активності ізотопів $Mo-99$ та $Tc-99m$, якої можна досягти при опроміненні зразків на базі ЯПУ «Джерело нейтронів».

Одержані результати можуть бути використані при плануванні й проведенні заходів з подальшого розвитку та використання технології напрацювання медичного ізотопу $Tc-99m$ на базі ЯПУ «Джерело нейтронів».

Список літератури:

1. Кодина Г.Е. Методы получения радиофармацевтических препаратов и радионуклидных генераторов для медицины. В кн. ИЗОТОПЫ. Свойства. Получение. Применение. Под ред. В.Ю. Баранова. М. Физматлит. Том 2, 2005, с. 389-412.
2. ANL-16/03 Medical isotope production analyses in KIPPT Neutron Source Facility. Argonne National Laboratory, Nuclear Engineering Division, 2016, 54 p.

3. Дмитриев С.Н., Зайцев Н.Г. Радионуклиды для биомедицинских исследований. Ядерные данные и методы получения на ускорителях заряженных частиц. // ЭЧАЯ, 1996, 27, вып. 4, С. 977–1042.
4. Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods. Technical Reports Series No. 468. – Vienna: IAEA, 2009.
5. Герасимов А.С., Киселев Г.И., Ланцов М.Л. Получение $99Mo$ в ядерных реакторах // Атомная энергия. 1989, т. 67(1), с.104-108.

Особливості фазоутворення і мікроструктури боридних сплавів нікелю

Корсун Б.О. (науковий керівник – доц. Семененко В.С.)

Сплави перехідних металів з фазами впровадження - перспективні конструкційні матеріали атомної і нетрадиційної енергетики. Помітне місце серед них займають боридні сплави нікелю, об'ємна частка боридів $\approx 80\%$. Бориди тугоплавких металів за своїми властивостями близькі до карбидам - основної базової складової найбільш жароміцних сплавів, відрізняються високою хімічною стійкістю в різних агресивних середовищах [1].

У даній роботі визначено кінетика фазоутворення в системі нікель-бор і практично невивчені явища – впливу, які при цьому виникають лінійних та поверхневих дефектів, що визначають структурну стабільність фаз. Проведено комп'ютерне моделювання дифузійних процесів і отримані експериментальні дані по боридним покриттям на нікелі, за методикою - електроліз з розплавлених солей. Вивчення кінетика формування і структура боридних фаз в дифузійному шарі при $T = 900C$, з урахуванням положення ліній солідусу діаграми стану нікель-бор і зростання крихкості боридних фаз з підвищенням температури [2]. Проведений аналіз показує, що при дифузії металоїду (бору) в нікель недобудовані d - рівні металевих атомів «заповнюються» за рахунок валентних електронів бору (акцепторная «здатність» d -оболонки нікелю). Встановлено, що внаслідок проміжного значення атомного діаметра бору приблизно $0,091-0,097$ нм по відношенню до атомів нікелю - $0,124$ нм, формування комплексу атом бору - вакансія (енергія зв'язку - $0,4eV$) важливо в транспорті бору до структурних дефектів, що визначено в роботі.

За даними дифрактограми зразків при електролізі першою утворюється фаза Ni_3B , яка утворює полукогерентну поверхню

розділу з нікелем. Виявлена щільність дислокації – 10^5см^{-2} , відстань між епітаксійними дислокаціями - 25Нм, міжфазна поверхня енергія - 200 ерг/см². З ростом часу електролізу ≥ 30 хвилин, на поверхні утворюються як нізкоборісті, так і високоборісті фази - Ni₃B, Ni₂B, Ni₄B, NiB, їх дислокаційна структура та мікротвердість - 1190, 1430, 1486, 1540 кг/мм. Встановлено, що при направленому голкоподібному зростанні борованих шарів, що визначається переважним переміщенням бору в структурно обумовленому напрямку, утворюються інтерметалідні фази, спостерігається чітко виражена структура малокутових кордонів з подальшим їх розвитком і перерозподілом дислокацій.

Рушійною силою такого процесу є зміна термодинамічної потенціалу підвищеного в наслідок ізотропного зростання боридів

на величину $\frac{Gb^2}{2} \rho_D$, де ρ_D - щільність дислокацій, G - модуль зсуву, b - вектор Бюргерса.

Показано, що досконалість структури боридних фаз спостерігається в умовах їх спрямованого зростання, що необхідно враховувати при створенні боридних покриттів на перехідних металах з високою структурною стабільністю фаз.

Список літератури:

1. Азаренков Н.А. Перспективные конструкционные материалы нетрадиционной и атомной энергетики / Азаренков Н.А., Семенов В.Е., Ткаченко В.И. Учебное пособие. – Харьков: ХНУ, 2016. – 104 с.
2. N.A. Azarenkov. Influence boron on... diffusion parameter of Ni alloys / N.A. Azarenkov, S.V. Lytovchenko, V.E. Semenenko, N.G.Styervoyedov. PAST, 2018, - N.1(13), P.18-25.

Застосування методу унітарних одягаючих перетворень при описі властивостей позитронію

Костиленко Я.О. (науковий керівник – д.ф.-м.н. Шебеко О.В.)

У нашому дослідженні ми демонструємо, як метод унітарних одягаючих перетворень (УОП) [1,2] застосовується в квантовій електродинаміці (КЕД). При такому підході, велика частина віртуальних процесів, викликаних поглинанням/емісією частинок, анігіляцією/народженням пар частинка-античастинка та іншими

хмарними ефектами у зображенні голих частинок, може міститися у операторах народження (знищення) одягнених (фізичних) частинок. Ми ставили на меті виконати перше застосування методу унітарних одягаючих перетворень (УОП) для опису властивостей найпростішої зв'язаної системи у КЕД — позитронію.

Нами був отриманий аналітичний вираз для КЕД гамільтоніану в зображенні одягнених частинок (ЗОЧ) в e^2 -порядку. Метод УОП дозволяє отримати ермітово та енергетично незалежні оператори взаємодії для процесів $e^-e^- \rightarrow e^-e^-$, $e^-e^+ \rightarrow e^-e^+$, $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$ і $e^-\gamma \rightarrow e^-\gamma$ на одній фізичній основі [3]. Ми перевірили узгодження цих теоретичних результатів з теоретичними результатами попередників. А саме були виведені на основі нових операторів взаємодій формула Мьоллера для e^-e^- -розсіювання, формула Бгабга для e^-e^+ -розсіювання та відома формула для анігіляційного процесу e^-e^+ -пари.

Енергетичний спектр позитронію можна вважати подібним до спектра водню, та розглядати енергетичний спектр

$$E_n = -\frac{a^2 m}{4n^2} \approx -\frac{6.8eV}{n^2}$$
 як незбурений та враховувати

релятивістські і радіаційні поправки до нього за теорією збурень. Таким чином з використанням нової взаємодії у e^-e^+ -системі була розрахована перша поправка до енергії основного стану. Отримана поправка порівняна з розрахунками тонкої та надтонкої структури енергетичних рівнів позитронію проведеними Піренном (1946) [4] та Берестецьким (1949) [5]. Крім того розглядається можливість розрахунку швидкості розпаду позитронію на основі нового оператора процесу $e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$.

Накопичений досвід роботи з зв'язаними станами у КЕД може бути корисним для наступних застосувань методу УОП до опису властивостей позитронію та інших зв'язаних систем.

Список літератури:

1. E. Dubovyk and A. Shebeko, Few Body Syst. 54, 1513 (2013).
2. A. Shebeko, In: Proc. the 21st Intern. Conf. on Few-Body Problems in Physics, 2015, Chicago, USA. EPJ Web 113, 03014 (2016).

3. A. Arslanaliev and A. Shebeko, "The method of unitary clothing transformations: Application in quantum electrodynamics", 2017.
4. J. Pirenne, Arch. Sci. Phys. Nat., no. 28, p. 233, 1946.
5. V. Berestetski and L. Landau, Zhur. Exsptl. i Teort. Fiz., no. 19, p. 673, 1949.

Метод збільшення поздовжнього струму іонів H^- із розряду Пенінга з металогідридним катодом

Крупка А.А. (науковий керівник – доцент Середа І.М.)

Інтерес до негативних іонів водню H^- обумовлений високою ефективністю їх нейтралізації в широкому діапазоні енергій [1], і, тому, вони є привабливими для використання як при вирішенні проблеми керованого термоядерного синтезу [2], так і у виробництві ряду медичних радіонуклідів [2-3]. Основними вимогами, що пред'являються до джерел іонів H^- є його яскравість і екологічна чистота. Однак, на сьогоднішній день, задовольнити цим двом вимогам в одному пристрої не представляється можливим, оскільки значне збільшення яскравості джерела досягається тільки за рахунок введення в нього парів цезію [4]. Для екологічно чистого використання необхідні безцезієві джерела з об'ємною генерацією [5], в яких утворення іонів H^- відбувається завдяки механізму дисоціативного прилипання теплових електронів до коливально-збуджених молекул водню H_2^* , які утворюються за рахунок зіткнень з електронами з енергією ≥ 50 eV [1, 6]. Як правило, такі джерела, є двокамерними, що незмінно тягне за собою втрати молекул H_2^* і зниження ефективності утворення іонів H^- . Крім того, через зміну властивостей розряду при використанні металогідридного катоду з'являється можливість для поздовжньої екстракції негативних іонів.

Природний розподіл областей з швидкими і повільними електронами існує в розряді Пенінгу: високоенергетичні електрони утворюються в анодному шарі, а повільні – в прикатодній області. Але, якщо один або обидва катода виготовлені з металогідриду, то молекули H_2^* утворюються шляхом активації водню, що десорбується безпосередньо з його

поверхні. Це істотно підвищує ефективність іоноутворення в об'ємі розряду.

В роботі досліджується можливість збільшення струму негативних іонів водню видобутих в поздовжньому напрямку з розряду Пенінга з металогідридним катодом шляхом зміни потенціалів на катодах розряду. З метою сепарації негативних іонів, що витягаються з потоку заряджених частинок, застосовується електромагнітний фільтр. Виявлена суттєва кореляція загального струму, що витягується, і струму негативних іонів від потенціалу катодів. Визначено оптимальні параметри для ефективного вилучення іонів H^- . Отримано струм пучка іонів H^- на рівні 10 мкА. Встановлено, що максимальне значення струму вилучених у поздовжньому напрямку іонів H^- досягається при подачі негативного зміщення на металогідридному катоді в межах від 20 В до 50 В.

Список літератури:

1. K.N. Leung, C.A. Nauck, W.B. Kunkel, S.R. Walther. Optimization of H^- production from a small multicusp ion source. // Sci. Instrum. 1989, V. 60 (4), P.531.
2. Peters J. Negative ions sources for high energy accelerators (invited) // Rev. Sci. Instr. 2002. V. 71, №2. P.1069-1074.
3. Stambach Th., Adam S., Mezger A., Schmelzbach P.A., Sigg P. Cyclotron performance and new developments // Proc. of the 8th Europ. Part. Acc. Conf., Paris, 2002, P. 159-163.
4. Dudnikov V. Thirty years of surface plasma sources for efficient negative ion production // Rev. Sci. Instr. 2002. V. 73. №2. P. 992 - 994.
5. Ehlers K.W., Gavin B.F., Hubbard E.L. High-intensity negative ion sources. // Nucl. Instrum. And Meth. 1963. V. 22, № 1. P. 87-92.
6. Hiskes J.R. Cross sections for the vibrational excitation of the H_2 state via electron collisional excitation of the higher singlet states. // J. Appl. Phys. 1980, V. 51, n. 9, p. 4592-4594.

Вплив термомеханічної обробки на структуру і властивості сталі Т91

Курило Д. В. (науковий керівник - професор Воєводін В. М.)

Крім аустенітних нержавіючих сталей, які сьогодні поширені в ядерній енергетиці та відібрані як матеріали-кандидати для

використання в перспективних ядерних реакторах наступних поколінь, дослідники розглядають можливість впровадження ферито-мартенситних та мартенситних жароміцних сталей в якості конструкційних матеріалів на GenIV та термоядерних установках.

Суттєвою проблемою, яку доведеться долати, є розробка конструкційних матеріалів для застосування в елементах трубопроводів і теплообмінного устаткування. Ці матеріали повинні працювати в дуже жорстких умовах: робоча температура теплоносія – біля 600 °С, тиск – до 25 МПа. Основними вимогами до матеріалу є стійкість до корозії, жароміцність, опір повзучості, стійкість до розпухання, висока технологічність. Такими характеристиками мають жароміцні сталі мартенситного класу з вмістом хрому 9 %. Цьому класу сплавів на основі залізі була присвячена велика кількість досліджень, результати яких було покладено в основу при розробці сталі T91 (10Cr9Mo1VNb), яка у порівнянні із сталями аустенітного класу має менше теплове розширення, вищу теплопровідність, значну жароміцність і жаростійкість, кращі механічні властивості, високу стійкість до корозії та радіаційного розпухання. Ця сталь широко використовується у якості конструкційних елементів паропровідного і котельного обладнання ТЕС, що забезпечило можливість підвищення робочої температури пари до 620 °С. Зараз термін використання устаткування із сталі марки T91 перевищив 100 000 годин. Високий рівень жароміцних характеристик мартенситного класу з вмістом хрому 9 % забезпечується легуванням і структурою, яка формується у результаті спеціальної термомеханічної обробки [1, 2].

Сталь T91 є потенційним кандидатом для виготовлення стінок реактора (the reactor walls), петлі охолоджувача першого контуру (primary coolant loop) в GenIV реакторах та отвору для пучка в ядерних реакторах із прискорювачем (Accelerator Driven Systems – ADS) [3].

Робота присвячена вивченню впливу термомеханічної обробки (ТМО) на властивості сталі T91. Було проведено два послідовних гарячих видавлювання сталі T91 з 40 до 29 мм та з 29 до 19 мм

при температурі 850 °С з витримкою 15 хвилин. Така обробка проводилася з метою підвищення густини і подрібнення включень сполук типів $Me_{23}C_6$ і MeX (Me – метал, X – азот або вуглець). Після обробки зафіксовано роздроблення ланцюжків $Me_{23}C_6$ та зменшення їхньої кількості. Очікується, що оптимізована мікроструктура, створена спеціальною ТМО, буде характеризуватись високою однорідністю розподілу та густиною наддрібних карбідних включень.

Аналіз мікроструктури вихідної сталі T91 засвідчив наявність мартенситу з максимальним розміром (діаметром) зерна біля 90 мкм та середнім розміром 20 мкм, а також виділення границями зерен карбідів типу $Me_{23}C_6$ з розміром до 3 мкм та складні більш дисперсні включення типу MeX (X – N або C) з розміром 1,5 мкм. Термомеханічна обробка вихідного металу призводить до збереження мартенситної структури та значного подрібнення кристалітів, зокрема зерна карбідів зменшуються до 0,2 мкм, а включення типу MeX – до 0,1 мкм. Твердість поверхні сталі після ТМО зростає більш ніж у 1,5 рази (від 235 – 250 кг/мм² до майже 400 кг/мм²).

Список літератури:

1. Abe F. Precipitate design for creep strengthening of 9% Cr tempered martensitic steel for ultra-supercritical power plants. // Science and Technology of Advanced Materials, 2008. – V.9(1). – P. 013002.
2. Кайбышев Р.О., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. Новые стали мартенситного класса для тепловой энергетики. Жаропрочные свойства. – Физика металлов и металловедение. – 2010. – Т. 109. – № 2. – С. 200-215.
3. B. Schaffernak, P. Hofer, H. Cerjak. Description of the precipitation behavior of advanced 9-12 Cr steel for power plants applications // Materials for Advanced Power Engineering 1998, ed. by J. Lecomte-Beckers et al., Forschungszentrum Julich GmbH, Julich. – V. 5. – P. 519-527.

Дослідження дозного розподілу при тотальному опроміненні шурів

Лега О.О. (науковий керівник – д. мед. н. Старенький В.П.)

У роботі розглянуто роль та види опромінювачів, які використовуються як джерела іонізуючого випромінювання для

доклінічних досліджень [1]. Зазначено аспекти опромінювання лабораторних тварин для дослідження методик лікування для застосування їх при лікуванні людей.

У даній роботі проведено дослідження умов опромінювання щурів на рентгенівському опромінювачі методом вимірювання поглиненої дози у трьох зонах фантому, які моделюють голову щура, область легень та область шлунково-кишкового тракту. Результатом цих вимірювань є дані, які відображують залежність від ряду параметрів опромінювання, а саме – залежність поглиненої дози в зоні що розглядається від напруги на трубці, відстані від джерела опромінення до підставки, відстані від центру внутрішньої іонізаційної камери до краю фантому та від використаного фільтра. Отримані результати дають можливість проводити опромінювання щурів на рентгенівських опромінювачах схожої структури з достатньою точністю.

В роботі розглянуто особливості застосування опромінювачів немедичного призначення та методики опромінювання лабораторних тварин, засоби дозиметричних вимірювань [2]. Розроблено та проведено метод дослідження дозного розподілу в умовах наближених до реальних. Дослідження проводилося з урахуванням загальноприйнятих сценаріїв опромінення лабораторних щурів.

При аналізі даних за основу було використано відношення між дозою поглиненою в зоні дослідження до дози, поглиненої на контрольному детекторі. Цей показник дозволяє отримати чітке розуміння того, як змінюється величина поглиненої дози в точці розміщення іонізаційної камери при зміні певних умов опромінювання. Отримані графіки залежності відношення від напруги на рентгенівській трубці можна вважати емпіричним законом розподілу поглиненої дози в фантомі. Це підтверджується порівнянням значення поглиненої дози при виборі даних з графіка та результату, отриманого при проведенні вимірювання при такій же нарузі на трубці. Відхилення результату контрольного експерименту від даних, взятих з графіків склало всього 0,5%, що свідчить про достовірність та точність результатів, отриманих при виконанні наукової роботи.

Список літератури:

1. Tillner F., Thute P., Bütof R., Krause M., Enghardt W. «Pre-clinical research in small animals using radiotherapy technology – a bidirectional translational approach». Med. Phys. 2014, no.24, p. 335–351.
2. McCurdy B., Mueller L., Backman E., Venkataraman S., Fleming E., Asuni G. «Commissioning and validation of a novel measurement based IMRT QA method, incorporating dose recalculation on patient CT data». Med. Phys. 2008, no. 35, p. 2760.

Формування антифрикційного матеріалу на основі системи Cu – Pb з графітом

Лесюта М.В. (науковий керівник – доцент Чижикала В.О.)

Одним з найважливіших об'єктів порошкової металургії є антифрикційні матеріали [1,2]. Необхідність забезпечення рухомих зчленувань машин та механізмів зносостійкими матеріалами, призначеними для роботи у різних умовах, привела до створення великої кількості різноманітних матеріалів на основі заліза, міді та їхніх сплавів. Застосування спечених антифрикційних матеріалів сприяло вирішенню таких завдань, як заощадження порівняно дорогих кольорових металів, зниження вартості виготовлення, зменшення невиробничих втрат металу при різальній металообробці (у стружку), підвищення продуктивності праці, вивільнення верстатного парку та інших. Поряд з цим використання спечених антифрикційних матеріалів надало можливість подовжити термін працездатності різних деталей від 1,5 до 10 разів [3, 4].

Робота присвячена дослідженню різних методів отримання антифрикційного матеріалу мідь – свинець – графіт методами порошкової металургії.

Вихідна суміш інгредієнтів містила 75–80 мас. % міді, 8 – 11,5 мас. % свинцю, 12–13,5 мас. % графіту. Первинне формування зразків проводилось в розбірній сталевій прес-формі на гідравлічному пресі DP-36 з зусиллям до 50 тонн з порошоків, які мали дисперсність частинок 60 – 100 мкм. Спікання проводилось у вакуумній печі за температури 700-900 °С протягом десяти хвилин. Отримана густина спеків становила 4,1 – 4,3 г/см², що значно нижче за показники стандартного зразку. Це пов'язано з активним випаровуванням свинцю при спіканні, оскільки свинець має високий тиск пари за такої температури у вакуумі.

Використання процесу електроконсолідації (попереднє пресування порошків в сталевій розбірній прес-формі з наступною обробкою у графітовій розбірній прес-формі у вакуумній установці електроконсолідації) з параметрами: температура 700-900 °С, тривалість витримки при максимальній температурі 5 хвилин, тиск 50 - 200 кг/см² – покращило результати. Отримані зразки з густиною, що значно перевищила густину стандартних виробів, та складала 6,0 – 6,3 г/см².

Твердість по Бринелю отриманих зразків також більша за стандартну і становить 45,6 – 49,7 НВ (18,8 – 22,5 Н/мм²). Мікроструктура зламу матеріалу заготовки є оптимальною і характеризується високою однорідністю та рівномірністю розподілу елементів у композиті. Механічна обробка різальним інструментом різних типів проводилася при максимальних навантаженнях і показала гарну оброблюваність, що дозволяє зробити висновок про прийнятність застосування технології електроконсолідації для виготовлення випробуваних матеріалів та зробити ці матеріали доступними на ринку України.

Список літератури:

1. И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомисельский. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Отв. ред. И.М. Федорченко. – Киев. «Наукова думка», 1985. – 624 с.
2. Уманский А.М. Пресование порошковых материалов. – М. : Металлургия. 1981. – 80 с.
3. Федорченко И.М. Проблема антифрикционных материалов в современной технике.— В сб. Повышение износостойкости и срока службы машин. Т. III. Киев, Изд-во НТО Машпром, 1966. – С. 160.
4. Процесс горячего прессования металлических порошков как перспективная ресурсосберегающая технология / Домашева М.С., Веретельник С.П. // Экологические проблемы промышленных мегаполисов: сборник трудов международной научно-практической конференции. Донецк 26-28 мая 2010. - Донецк, ДонНТУ. – 2010. – 247 с.

Гамільтонів формалізм в системах з дисипацією

Лобасенко А.В. (науковий керівник – д. ф.-м. н. Нурмагамбетов О.Ю.)

Фундаментом класичної механіки є формалізми Лагранжа і Гамільтона, основу яких складають дві функції - функція Лагранжа і

функція Гамільтона. Кожна з цих функцій лежить в основі динаміки класичних систем або в стандартному просторі координат і швидкостей, або в фазовому просторі координат і імпульсів, і обидві вони можуть бути рівноцінно використані для побудови функціоналу дії, пов'язаного через варіаційний принцип з рівняннями Ейлера-Лагранжа або рівняннями Гамільтона. Добре відомим фактом є еквівалентність опису простих механічних систем в рамках лагранжевого і гамільтонового підходу через перетворення Лежандра, що в сукупності з безліччю прикладів побудови функціоналів дії створює ілюзію застосовності формалізмів Лагранжа і Гамільтона до будь-якої механічної системи. Яскравим контр-прикладом до цієї досить широко поширеної помилки є приклад систем з дисипацією.

З фізичної точки зору, стандартний гамільтонов формалізм до опису дисипативних систем непридатний в силу характеру самої функції Гамільтона, що відповідає за енергію системи, що зберігається. Функція Лагранжа не підпадає під такого сорту обмеження, тому що явно не пов'язана з якою-небудь фізичною величиною, що зберігається. Тому з наївною точки зору можна стверджувати принципову можливість побудови лагранжевого формалізму для дисипативних систем, а через нього, шляхом перетворення Лежандра або його аналогів, і до узагальненого гамільтонового опису. На практиці така можливість реалізується далеко не завжди, оскільки будь-яка функція Лагранжа повинна задовольняти досить жорстким умовам Гельмгольца, які виявляються нездійсненними для дисипативних систем. У цьому також немає нічого незвичайного, оскільки при побудові будь-якого лагранжіана в нього закладаються загальні властивості інваріантності фізичної системи, пов'язані через теореми Нетер з величинами, що зберігаються. Умови Гельмгольца і є відображенням властивостей інваріантності лагранжіанів, так що якщо закони збереження не виконуються це й означає неможливість побудови інваріантних лагранжіанів.

Проте, наведені вище міркування не є остаточним вердиктом для незастосування стандартних формалізмів класичної механіки до дисипативних систем, а є радше навідними міркуваннями для зміни їх опису. Основною ідеологією стає замикання дисипативної системи за рахунок її розширення тепловим / механічним резервуаром, з яким

здійснюється обмін енергією. Тоді система з дисипацією + резервуар є замкнутою фізичною системою, повна енергія якої зберігається. Отже, побудова гамільтонового і лагранжевого формалізму стає принципово можливим, хоча і може призводити до нефізичних ефектів (типу експоненціального зростання основних параметрів системи в ході її еволюції). Окремого розгляду потребує питання квантування таких систем, як за процедурою, так і з аналізу фізичності одержуваного результату.

Основною механічною системою, що моделює поведінку дисипативних систем, властивості якої і вивчаються в даній роботі, є модель осцилятора з тертям або модель затухаючого осцилятора. В теорії дисипативних систем [1] модель осцилятора з тертям грає таку ж фундаментальну роль як стандартний гармонійний осцилятор для квантової механіки, теорії поля і фізики в цілому. В силу універсальності формулювання модель затухаючого гармонійного осцилятора прямо або побічно проявляє себе практично у всіх областях сучасної фізики, від класичної механіки [1] до квантової теорії поля [2] і космології [3], і пов'язана з такими широко відомими поняттями класичної і сучасної фізики як рівняння Абрахама-Лоренца-Дірака [4,5,6], квантова механіка в комплексному часі [7] та інше. Тому цілком природним є застосування нових методів в теорії класичних і квантових дисипативних систем в першу чергу до моделі затухаючого гармонійного осцилятора.

Тому потрібно розглянути класичні аспекти побудови лагранжевої і гамільтонової динаміки моделі затухаючого гармонійного осцилятора (ЗГО), тобто ввести її динаміку, описати побудову функціоналу дії та показати шляхи вирішення даної проблеми в двох формалізмах: Бейтмана [8] та Калдірола-Канаї [9]. Можна показати класичну еквівалентність даних різних підходів до побудови лагранжевої і гамільтонової механік ЗГО, зв'язок підходу Бейтмана з телеграфними рівняннями, а також умови Гельмгольца, яким повинна задовольняти класична функція Лагранжа. Таким чином в першій частині роботи задається основа для побудови і вивчення квантових дисипативних систем.

Якщо провести процедуру квантування класичної моделі ЗГО в формалізмі Бейтмана і Калдірола-Канаї то можна отримати гамільтоніани для цих формалізмів і з їх допомогою, в рамках операційного та аналітичного підходів, отримати загальні, з точністю

до нормувального множника, вирази для хвильових функцій недодемпфированного ЗГО. Порівняння отриманих результатів, показує квантову нееквівалентність двох класично еквівалентних формалізмів. Дане питання безсумнівно вимагає більш детального аналізу, однак на даному етапі можна лише констатувати факт неочевидності квантової еквівалентності моделей ЗГО в формалізмі Бейтмана і Калдірола-Канаї.

Список літератури:

1. M. Razavy, Classical and Quantum Dissipative Systems, ICP, London, (2005), pp. 334.
2. R. Romano, Dissipative Dynamics in Particle Physics, Trieste University, Trieste, (2003), pp. 126.
3. M. Cariglia, A. Galajinsky, G. W. Gibbons, P.A. Horvathy, Cosmological aspects of the Eisenhart–Duval lift, Eur. Phys. J. C V. 78, no. 4 (2018), pp. 314
4. H. A. Lorentz. The theory of electrons. Dover, New York (1952).
5. P. A. M. Dirac, Classical Theory of Radiating Electrons, Proc. R. Soc., V. A 167 (1938), 148-169.
6. M. Abraham, Prinzipien der dynamik des elektrons, Ann. Phys., V. 10 (1903), 105-179.
7. S.G. Rajeev, Dissipative Mechanics Using Complex-Valued Hamiltonians, (2007)
8. H. Bateman, On Dissipative Systems and Related Variational Principles, Phys. Rev. 38 (1931), 815-1931
9. P. Caldirola, Su alcune proprietà fisiche dell'He II, Nuovo Cim (1943).

Decay of polarized charm baryon Λ_c^+ to Δ^{++} resonance and kaon

O.V. Lukianchuk. (scientific supervisor – prof. A.Yu. Korchin)

Розпад поляризованого чарівного баріона Λ_c^+ на Δ^{++} резонанс

та каон

Лук'янчук О.В. (науковий керівник – проф. Корчин О.Ю.)

In the work we have calculated differential width of the decay $\Lambda_c^+ \rightarrow \Delta^{++} + K^-$ with the polarized charm Lambda baryon. This baryon consists of quarks u, d and c. Both Feynman diagrams method with invariant amplitudes and helicity formalism have been used for calculations within the Standard Model. Calculations in the helicity formalism have been done according to [2] and expression for the spin density matrix of the polarized baryon is taken from [1]. The main complication in the work is that Δ^{++} has

spin 3/2, thus it is necessary to use a spin-vector structured wave function for description of the Delta resonance [2, 3].

In the work theoretical investigations are orientated especially on the properties of polarized charm baryon, because physicists are interested in measurements of the charm quark magnetic dipole moment. The latter is directly related to the magnetic moment of the charm baryon Λ_c^+ .

The main results are the calculations of the total width of the decay and the angular distribution which are given by the following expressions, respectively:

$$\Gamma_{tot} = \frac{M_\Delta p_{23}^2}{6 \pi m_\Delta} (|A|^2(\varepsilon_\Delta - m_\Delta) + |B|^2(\varepsilon_\Delta + m_\Delta)) \Big|_{q=p_{23}} \quad (1)$$

or, in terms of helicity amplitudes:

$$\Gamma_{tot} = \frac{p_{23}}{8 \pi m_\Delta^2} (|T_+|^2 + |T_-|^2), \quad (2)$$

$$I(\Omega) = \frac{1}{4\pi} \{1 + \alpha(P_z \cos\theta + P_x \sin\theta \cos\varphi)\}, \quad (3)$$

where the asymmetry parameter is determined as the dimensionless combination of two helicity amplitudes

$$\alpha \equiv \frac{|T_+|^2 - |T_-|^2}{|T_+|^2 + |T_-|^2}, \quad (4)$$

and \mathbf{P} is the polarization vector of the charm baryon Λ_c^+ .

The expressions for the helicity amplitudes have been obtained during the calculations as a part of solution in order to find relations between the helicity matrix elements and the invariant amplitudes. It is shown that α , the coefficient in the angular distribution, and both $|T_+|^2$ and $|T_-|^2$ can be expressed in the following way through the invariant amplitudes A and B:

$$\alpha = \frac{2 \operatorname{Re}(AB^*) \sqrt{\varepsilon_\Delta^2 - m_\Delta^2}}{|A|^2(\varepsilon_\Delta - m_\Delta) + |B|^2(\varepsilon_\Delta + m_\Delta)} \quad (5)$$

$$T_\pm = \frac{p_{23}}{\sqrt{6}} \frac{M_\Delta}{m_\Delta} \left\{ B \pm A \frac{\varepsilon_\Delta - m_\Delta}{\varepsilon_\Delta + m_\Delta} \right\}. \quad (6)$$

It is notable that the precise values of A and B amplitudes can only be found after calculations of the quark interactions in framework of electroweak theory and QCD.

References:

1. Берестецкий В.Б. Квантовая Электродинамика /Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. 3-е изд., испр. - Москва: Наука. Гл.ред. физ.-мат.лит., 1989. - 728 с. - ISBN 5-02-014422-3 (Т.IV)
2. Пилькун Х. Физика релятивистских частиц / Пер. с англ.- Москва: Мир, 1983, - 542 с, илл.
3. Haberzettl H., Propagation of a massive spin 3/2 particle, e-Print: nuclth/9812043
4. <http://pdg.lbl.gov/>

Процеси гальмівного випромінювання та утворення пар у полі атому та ланцюжку атомів

Луначек О. В. (науковий керівник – проф. Шульга М. Ф.)

Головною метою цієї роботи були дослідження процесів гальмівного випромінювання та утворення електрон-позитронних пар у полі атому та ланцюжку атомів. Спочатку була розглянута теорія випромінювання електрона на одному атомі у борнівському наближенні. Для цього у рівнянні Дірака був модифікований імпульс таким чином, щоб він враховував електро-магнітне поле ($\mathbf{p}_R \rightarrow \mathbf{p}_R - e\mathbf{A}_R$). Далі було враховано, що потенціал не залежить від часу, тому у рівнянні Дірака стало тепер залежним лише від координат. Потім, виконуючи певні алгебраїчні дії та застосовуючи перетворення Фур'є для координатної хвильової функції були отримані вирази для хвильових функцій в імпульсному представленні. У підсумку,

зворотне перетворення Фур'є було застосовано для отриманих виразів для хвильових функцій та їхні координатні прообрази були підставлені у відому формулу для матричного елемента:

$$M_{fi} = \int dt d^3r \bar{\Psi}_f(\mathbf{r}, t) \hat{e}^+ e^{i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})} \Psi_i(\mathbf{r}, t)$$

Варто також відмітити, що і у вищевказаній формулі, і при описаній роботі із рівнянням Дірака для хвильової функції брався борнівський ряд, тобто ряд, у якому n-ий доданок відповідає n-разовій взаємодії із полем. Принцип отримання даного виразу може бути взятий із [1,2].

Було отримано вираз для матричного елемента даного процесу у борнівському наближенні, після чого за допомогою отриманого виразу для M_{fi} було знайдено переріз процесу гальмівного випромінювання електрона у полі атома.

Далі, користуючись перехресною симетрією для діаграм Фейнмана даного процесу та законами збереження енергії та імпульсу, базуючись на отриманій формулі для перерізу процесу гальмівного випромінювання, було отримано формулу для перерізу процесу утворення електрон-позитронних пар. Вплив середовища на процес гальмівного випромінювання описаний у роботах [3-5].

Подальша робота складалась у розгляді поняття довжини когерентності у класичній і квантовій теоріях. Розуміння фізичного сенсу даного поняття дало можливість дослідити інтерференційні ефекти при розгляді гальмівного випромінювання на ланцюжку атомів.

Існує також інтерес у дослідженні результуючого перерізу в залежності від типу середовища (кристал або ж аморфне середовище). Структура атомів у кристалі має чіткий порядок, тому в цьому випадку відбуватиметься інтерференція хвильових функцій та результуючий переріз буде пропорційний квадрату кількості атомів у ланцюжку, що розглядається. В аморфному тілі розташування атомів є хаотичним, тому інтерференційні ефекти не спостерігатимуться, адже накладання хвильових функцій буде рівномірним, що таким чином, призведе до відсутності інтерференційних ефектів. Саме тому

в аморфному середовищі результуючий переріз буде пропорційним першій степені числа атомів у ланцюжку, що розглядається.

Список літератури:

1. Ахизер А. И., Шульга Н. Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1993.-344 с. – ISBN 5-02-014506-8
2. Ахизер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая Электродинамика.-М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
3. Тер-Микаелян М. Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1969.
4. Тер-Микаелян М. Л. Интерференционное излучение сверхбыстрого электрона в кристалле: Автореф. канд. Дисс. – М.: ФИАН СССР, 1952.
5. Bethe H., Heitler B. // Proc. Roy; Soc.-1934.-V. 146.-P. 83.

Високотемпературний синтез складних оксидів при нагріванні вихідних продуктів випромінюванням різної природи

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

Подальший прогрес ядерної галузі неможливий без застосування матеріалів, що мають підвищені експлуатаційні властивості. Одним із можливих шляхів удосконалення або створення нових радіаційно-стійких матеріалів є використання нанотехнологій. Перспективними матеріалами для ядерної індустрії є феритно-мартенситні ДЗО-сталі – сплави, матриця яких зміцнена наночастинками оксидів, зокрема такими, що мають структуру пірохлору [1]. У відомих технологіях синтезу пірохлорів застосовували високі температури (1400 - 1500 °С), а тривалість процесу становила десятки (до 100 і більше) годин. У деяких випадках термообробку поєднували з гарячим пресуванням [2, 3].

Прямий твердофазний синтез пірохлорів є одним за найпоширеніших методів формування таких сполук. Стандартний процес виготовлення виробів складається з трьох етапів. На першому отримують однорідну порошкову суміш необхідного складу та дисперсності. На другому здійснюють безпосередній синтез пірохлорної сполуки, після чого на третьому етапі

формують вироби з синтезованої речовини. В залежності від конкретної методики етапи можуть об'єднуватися або може змінюватись послідовність окремих операцій, зокрема можливо здійснення синтезу одночасно з формуванням кінцевих виробів.

Для отримання складного оксиду з пірохлорною структурою виготовляли суміш промислових порошків TiO_2 та Y_2O_3 у співвідношенні 1:1 (атомні %). Після гомогенізації суміші перемішуванням протягом 2–8 годин її компактували у таблетки в сталевій прес-формі при тиску до 1,2 ГПа, після чого таблетки піддавали термообробці. Одну частину таблеток нагрівали в камерній повітряній печі при 1150 °С (тривалість спікання 7–25 годин), другу – у модернізованій НВЧ печі при орієнтовній температурі 1300 °С з витримкою протягом 1–2 години, третю групу зразків – оплавлено в системі електронно-променевого випарювання з плазмовим емітером електронів.

Для здійснення синтезу сполук був створений високотемпературний тигель з вольфрамовим утримувачем речовини. Особливість тигля – в наявності інфрачервоних дзеркал і магнітного концентратора плазми. Інфрачервоні дзеркала використовувались для зменшення втрат енергії за рахунок випромінювання, оскільки густина потоку випромінювання при температурі ~ 3000 °С згідно закону Стефана-Больцмана становить 650 Вт/см². Магнітний концентратор плазми сприяв збільшенню електронного струму на тигель.

Фазовий склад синтезованих зразків визначали методом рентгенівської дифрактометрії (ДРОН-2.0 та ДРОН-4-07). Мікроскопічний аналіз отриманих структур проводили на сканувальному електронному мікроскопі GSM – 7001 F.

Аналіз засвідчив, що зразки першої та другої групи склалися з пірохлорної фази $Y_2Ti_2O_7$ та залишкових початкових фаз оксидів TiO_2 та Y_2O_3 у різному співвідношенні. Після 7 годин повітряного випалу вміст пірохлору складав ~ 20 %, подовження відпалу до 25 годин збільшувало вміст пірохлору до 90 %. При застосуванні НВЧ нагрівання вміст пірохлорної фази сягав 99 % вже через 2 години. Подальша інтенсифікація процесу синтезу можлива за рахунок застосування багаторазового короточасного НВЧ

нагрівання з подрібненням спеку після кожного циклу. Аналіз третьої групи зразків показав вміст тільки фази флюориту. Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що даний метод непридатний для отримання пірохлорної фази.

Список літератури:

1. С.В. Старостенко, В.Н. Воеводин, А.С. Кальченко и др. Влияние облучения тяжелыми ионами Cr^{3+} на микроструктуру стали 08X18H10T ДУО, механически легированной нанопорошком системы $Y_2O_3-ZrO_2$ // ВАНТ. – 2016, № 4. – С. 3-8.
2. L.F. He, J. Shirahata, T. Nakayama, T. Suzuki, I. Ihara, Y.W. Bao, T. Komatsu, K. Niihara. Mechanical properties of $Y_2Ti_2O_7$ // Scripta Materaila. – 2011 (64). – P. 548-551.
3. J.K. Gill, O.P. Pandey, K. Singh. Role of sintering temperature on thermal, electrical and structural properties of $Y_2Ti_2O_7$ pyrochlores // International journal of hydrogen energy. – 2011. – V. 36. – P. 14943-14947.

Aluminium and titanium alloys surface behaviour under argon and helium ion exposure

Myroshnyk M. (scientific supervisor – Girka O.)

Поведінка поверхонь алюмінієвих та титанових сплавів під впливом стаціонарних потоків іонів аргону та гелію

Мирошник М.О. (науковий керівник – ст.н.с. Гірка О.І.)

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]. Hillocked 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].

The two samples of 2024 aluminium alloy and two samples of titanium alloy Ti-6Al-4V are irradiated with steady-state He and Ar ion fluxes generated with FALCON ion source up to $9.75 \times 10^{25} m^{-2}$ of total fluence and 150 Coulomb of total charge per sample. SEM analysis shows cone-like structures formation everywhere apart from

the case of Ti-6Al-4V irradiation with He ions. Elemental analysis show that there are no impurities on the surface after ion beam irradiation and that cones composition is the same as target composition before irradiation. Investigation with confocal microscope shows that mean height of roughness elements of irradiated surface is higher after exposure to Ar ion beam as compared to He ion beam and is higher on Al alloy samples as compared to Ti alloy in both cases of Ar and He ion irradiation. Measured contact angle between irradiated surface and droplet of water as well as diiodomethane proves that method used in the experiment is effective way to change surface free energy. Due to the energy dissipation the temperature of the samples increased during the irradiation, which caused microstructural changes and hardness decrease except of the Ti-6Al-4V alloy irradiated with He ions case. Diffraction data corresponds to the hardness results and confirms the annealing of the materials' structure and reduction of the residual stresses for three mentioned samples [8].

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 cleanness, 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 Maezta, 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>

8. I. Bizyukov, O. Girka, Ł. Kaczmarek, M. Klich, M. Myroshnyk, B. Januszewicz, S. Owczarek. Aluminium and titanium alloys surface behaviour under argon and helium ion exposure. Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B, 436 (2018), p. 272–27. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.10.011>

Отримання та дослідження властивостей об'ємного металевих скла

Мус Ю.С. (науковий керівник – к.ф.-м.н. Ковтун К.В.)

Подальший прогрес різних галузей неможливий без застосування нових матеріалів, що мають підвищені експлуатаційні властивості та задовольняють сучасним вимогам. Одним із цікавих об'єктів у низці нових перспективних матеріалів є аморфні металеві стекла. Всі сімейства металевих стекел є маловивченими, хоча відомо, що майже всі вони мають унікальний комплекс властивостей та в перспективі можуть бути вельми вдалим конструкційними матеріалами для застосування в різних галузях науки і техніки. Однак остаточно структура металевих стекел на даний момент не є вивченою, проводиться багато досліджень таких матеріалів. Незважаючи на відносно велику кількість науково-технічних відомостей про різні металеві стекла, маловивченими залишаються питання термічного впливу на механічні властивості об'ємного металевих скла, відсутні дані з низькотемпературної релаксації, відсутній також достатній обсяг інформації про поведінку металевих скла під впливом різних опромінь (рентгенівського та ін.) [1].

Сімейство матеріалів Vitreloy, створених на основі багатоелементної системи Zr-Ti-Cu-Ni-Ve, вважається одним з найвдаліших і перспективних сплавів об'ємних металевих стекел. Одним з кращих представників цього сімейства є сплав Vitreloy-1 зі складом $Zr_{41.2}Ti_{13.5}Cu_{12.5}Ni_{10}Ve_{22.5}$ (атомні %), який виготовляють шляхом вакуумно-дугової плавки в інертній атмосфері аргону та наступним охолодженням сплаву у виливниці для формування аморфних стрижнів і зливків діаметром до 50-55

мм. Технологія побудована на тому, що критична швидкість охолодження цього скла є близькою до 1 К/с [2].

Для вивчення властивостей об'ємного металевого скла Vitreloy-1 ($Zr_{41.2}Ti_{13.5}Cu_{12.5}Ni_{10}Be_{22.5}$) застосовано розтягування з різною швидкістю при температурі 635 К. Аморфність матеріалу зразків підтверджена рентгенівською дифракцією (XRD) на дифрактометрі з використанням $Cu-K_{\alpha}$ випромінювання. Зі злиwkів були механічно вирізані зразки для механічних випробувань на розтягування. Перед випробуваннями зразки піддавали шліфуванню та хімічному травленню.

Результати випробувань свідчать, що в місці руйнування зразка локально збільшується температура, доказом чого є утворення крапельної фракції сплаву на поверхні руйнування, що не спостерігається у випадку випробувань кристалічних аналогів. Цей факт вимагає більш докладного вивчення. Природа цього явища є мало зрозумілою.

У перспективі планується дослідити зміни структури в глибині зразка та поблизу поверхні руйнування, дослідити вплив локальних температурних змін на процеси структурно-фазової перебудови, на зміну питомих часток аморфної та кристалічної фаз в різних ділянках зразків при переміщення від поверхонь руйнування до периферійних зон. Зміна перерахованих вище та інших властивостей зі зміною типу механічного навантаження також є цікавою задачею та потребує подальшого вивчення.

Список літератури:

1. H. S. Chen (1974). Thermodynamic Considerations on Formation and Stability of Metallic Glasses. - Acta Metallurgica, 22, 1505-1511 p.
2. Peker and W. L. Johnson (1993). A Highly Processable Metallic Glass - $Zr_{41.2}Ti_{13.5}Cu_{12.5}Ni_{10.0}Be_{22.5}$. - Applied Physics Letters, 63, 2342-2344 p.

Лазерна скануючи мікроскопія мікрохвильового відгуку в планарних RF-метаматеріалах НКВІДів

Обозний Ю. Д. (науковий керівник – к. ф.-м. н. Журавель О. П.)

Ми застосували метод низькотемпературної лазерної скануючої мікроскопії (ЛСМ) [1] для візуалізації просторового

розподілу розміру, форми, однорідності та положення резонуючих кластерів метаматеріалів, що формують глобальну мікрохвильову характеристику надпровідної метаповерхні [2]. Вони розроблені як звичайний масив номінально ідентичних метаатомів на основі ВЧ НКВІДів, розташованих у планарній матриці, що містить 27x27 елементарних комірок. Метод ЛСМ дозволяє нам досліджувати внесок окремих ВЧ НКВІДів в макроскопічний мікрохвильовий відгук у всій області метаповерхонь.

Ми показали універсальність цього методу за допомогою масиву НКВІДів, візуалізуючи його мікрохвильовий відгук на шкалі від усього масиву до окремих мета-атомів. За допомогою інструменту ЛСМ ми можемо прояснити перебудову когерентного відгуку зразка унаслідок резонансного перетворення частоти як функції постійного зовнішнього магнітного потоку та ВЧ зміщення. Переваги методу ЛСМ ілюструються на кількох прикладах надпровідних метаматеріалів, мікрохвильові властивості яких було досліджено у мікро-масштабному рівні роздільної здатності.

Ми показали, що розподіл ВЧ струму по масиву НКВІДів при нульовому постійному потоці, підтверджує високу ступінь когерентності всієї метаповерхні, що передбачає радіально анізотропний зв'язок між найближчим сусіднім ВЧ НКВІДом в двомірних масивах. Ми стверджуємо, що заселеність некогерентних НКВІДів через метаповерхню значно збільшилася при збільшенні прикладеного постійного потоку в результаті неоднорідного проникнення потоку. Навпаки, площа просторової когерентності відновлюється зі збільшенням ВЧ потоку. Ми обговорюємо походження ефекту таких змін когерентності.

Наші виміри показують, що методика ЛСМ є потужним інструментом для просторово-розподільної характеристики ускладнених метаматеріалів і може бути корисною для їх оптимізації. Цей метод можна розширити на різні надпровідні мета-поверхи, щоб виявити, і в остаточному підсумку подолати технологічні та експериментальні труднощі, властиві в цій технології.

Список літератури:

1. Laser scanning microscopy of HTS films and devices (Review Article) A. P. Zhuravel, A. G. Sivakov, O. G. Turutanov, and A. N. Omelyanchouk // Low Temperature Physics, 2006, vol. 32, p. 592-607.
2. A.P. Zhuravel, A.G. Sivakov, O.G. Turutanov, and A.N. Omelyanchouk, S.M. Anlage, A. Lukashenko, A.V. Ustinov, and D. Abraimov, Low Temp. Phys. 32, 592 (2006) [Fiz.Nizk. Temp. 32, 775 (2006)].

Радіолюмінесценція українського бурштину збуджена рентгенівськими фотонами з енергіями до 60 кеВ

Салмін О. М. (науковий керівник – доцент Кононенко С. І.)

В роботі приведені результати експериментальних досліджень люмінесценції українського бурштину, яка збуджувалась рентгенівським випроміненням з енергією до 60 кеВ. При довготривалому опроміненні зразків було виявлено зміни у спектрах люмінесценції та досягнення їх насичення з часом. Математична обробка продемонструвала наявність двох люмінесцентних центрів.

Отримані експериментальні дані математично оброблялися за наступним алгоритмом:

1. З спектра люмінесцентного випромінювання бурштину було віднято сигнал який відповідав темновому току і шумів нестабільності рентгенівського джерела.
3. Усереднення експериментальних спектрів.
4. Обчислення спектральної пропускну здатності оптичного тракту та помноження спектрів на апаратну функцію.
5. Отримана в експерименті залежність інтенсивності люмінесцентного випромінювання від довжини хвилі (спектр) була переведена в залежність від енергії оптичних фотонів.
6. Фітування отриманих даних за допомогою функцій Гауса.

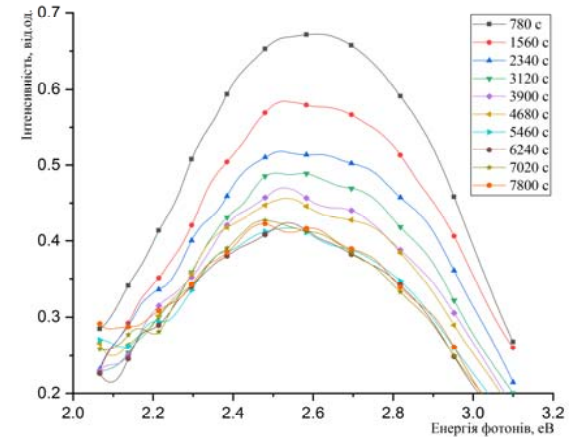


Рис. 1 Спектри люмінесценції польського бурштину.

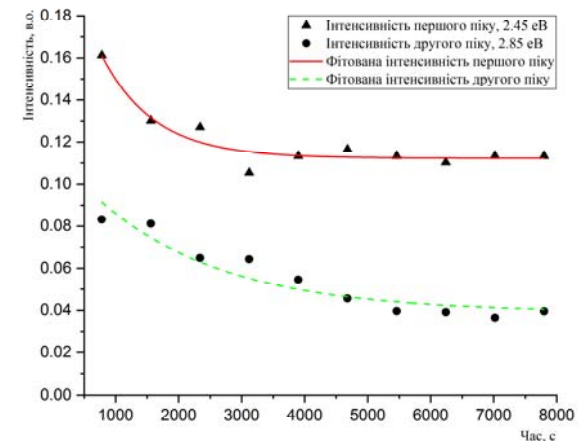


Рис. 2 Залежність інтенсивності люмінесценції з часом

На рис. 1 представлені виміряні спектри люмінесценції українського бурштину при різних часах опромінення. Як добре видно з рисунку інтенсивність люмінесценції зменшується з

часом опромінення, а максимумами зсуваються до червоної сторони довжин хвиль. Чотири останні графіки, які отримані після 5000 с опромінення практично не змінюються. Це є так зване насичення, яке пов'язане з досягненням балансу створення і відпалу дефектів (люмінесцентних центрів). Для дослідження структури змін люмінесцентного випромінення спектрів, представлених на рис. 1, ми провели процедуру фітування. Фітування – це подання у вигляді суми декількох піків, які описуються математичними функціями. В нашому випадку двома функціями Гауса. Всі графіки були профітовані з однаковими параметрами піків, окрім амплітуди. Результат з найменшою похибкою був для двох піків з максимумами для енергії фотонів приблизно 2,45 eV та 2,85 eV;. Зсув максимумів спектрів люмінесценції пояснюється зміною амплітуд двох піків. На рис. 14 представлено фітування експонентою центрів піків гаусіанів. Як добре видно з рисунку інтенсивність обох піків зменшувалась з часом експоненційно з постійними $837,5\text{с}^{-1}$ та 2000с^{-1} для першого та другого піків відповідно, що призвело до змін спектрів люмінесценції. Інтенсивність першого піку зменшується в 1,3 рази за час опромінення, а другого у 2 рази.

Список літератури:

1. I. Mysiura, O. Kalantaryan, S. Kononenko, et al., Photo- and radioluminescence of poleskiy amber, *Funct. Mater.* 23 (2016) 1–5.
2. Н.З. Галунов, В.П. Семиноженко, Радіолюмінесценція органічних концентрованих середовищ 92-98.
3. Н. Галунов, Особливості механізму формування імпульсів світла сцинтиляцій в швидкодіючих органічних сцинтиляторах 659-663

The transient electromagnetic field of the metallic antenna in uniform plasmas

Y. V. Susayev (scientific supervisor – I. V. Pavlenko)

Перехідне електромагнітне поле металевої антени в однорідній плазмі

Сусаєв Я. В. (науковий керівник – доц. Павленко І. В.)

If a monochromatic electric current is supplied to a metal antenna plate in vacuum a monochromatic plane wave starts to propagate away

from the plate immediately. But the same does not happens immediately in plasmas. Plasma oscillations accompanying the wave propagation require time to buildup. The monochromatic plane wave in plasmas will be seen in large time limit only (when plasma oscillations are locally saturated already) and its wavelength is known from analytical dispersion relation.

An initial stage of the wave excitation requires a consideration of the transient processes [1]: basically, anything that happened in plasma between antenna switching on and self-consistent particle oscillations in the electromagnetic field is related to them. The plasma wave theory is based mainly on the modal analysis and the transient processes of the monochromatic plane wave formation are usually outside of the theory.

The model of the plane wave formation in plasmas is built analytically in order to describe the processes of plane wave formation of launched electromagnetic wave propagating in semi- infinite plasma without external magnetic field. The idea of our research is to use the metal plate as an antenna with sinusoidal surface current [2], which provides the space periodicity which is required to excite the wave. The model provides exact and simplified expressions for time evolution and space distribution of the electromagnetic signal in homogeneous plasma subspace. In particular the description covers the transient processes during plasma oscillation buildup: obtained characteristics can be used in any numerical modeling [3], related to plasma electrodynamics.

References:

1. C. Case, “Transient reflection and transmission of a plane wave normally incident upon a semi-infinite anisotropic plasma”, *Physical Sciences Research Papers*, pp. 1–27, July 1964.
2. C. Knop, “Pulsed electromagnetic wave propagation in dispersive media,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-12, pp. 494– 496, July 1964.
3. J. Zhou, J. Fang, Q. Lu, and F. Liu, “Research on radiation characteristic of plasma antenna through FDTD method”, *The Scientific World Journal*, vol. 2014, no. ID 290148, 2014.

Термічний аналіз конвертора гальмівного випромінювання для виробництва ізотопу ^{18}F на лінійному прискорювачі електронів

Тільний А. В. (науковий керівник – доцент Малихіна Т. В.)

В представленій роботі проведено моделювання термічних навантажень, яким піддаються матеріали конвертора гальмівного випромінювання [1], для визначення технічних параметрів електронного пучка під час експерименту, що планується. Моделювання було здійснено за допомогою двох програмних засобів: SolidWorks [2] та COMSOL Multiphysics [3]. У якості досліджуваного був обраний матеріал конвертора, для якого отримано [1] максимальну кількість ізотопу ^{18}F , а саме свинець. Для проведення термічного аналізу матеріалу конвертора було здійснено кілька модельних експериментів та визначено оптимальну потужність пучка електронів, при котрій конвертор гальмівного випромінювання витримає теплові навантаження, і при цьому не відбувається зменшення кількості отриманого ізотопу ^{18}F .

Визначено, що оптимальною є потужність пучка 1 мкА з енергією електронів 30 МеВ. Результати термічного аналізу представлені на рис. 1.

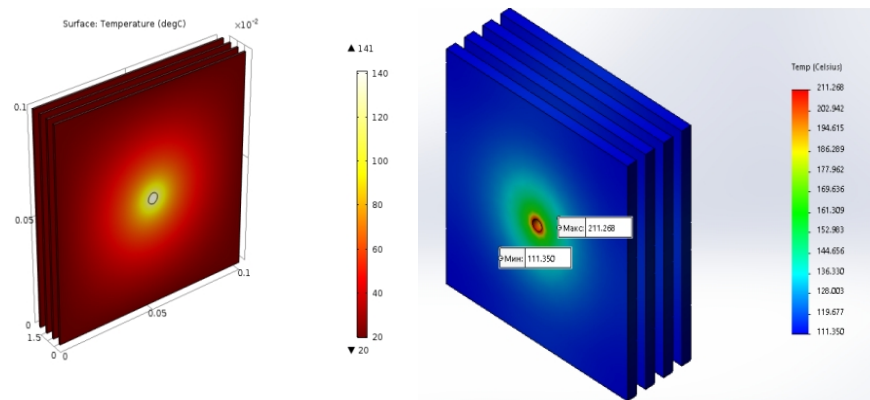


Рис. 1. Термічний аналіз для свинцевого конвертора в різних програмах: ліворуч – в COMSOL Multiphysics; праворуч – в SolidWorks.

Як видно з рисунка, найсильніше нагрівається центр пластини, через який проходить центр пучка електронів. Виходячи з температурних показників, температура в центрі збірки для свинцю в обох програмах дорівнює від 140°C до 211°C , що нижче температури плавлення свинцю.

Виходячи з отриманих результатів термічного дослідження для конвертора зі свинцю, можна зробити висновок, що під час опромінення експериментальної установки пучком електронів з енергією 30 МеВ та потужністю 1 мкА, конвертер не розплавиться і витримає теплові навантаження.

Список літератури:

1. Задворний А.С. Дослідження моделі конвертора гальмівного випромінювання для виробництва ^{18}F на лінійному прискорювачі електронів // А.С. Задворний, Т.В. Малихіна, А.В. Тільний. Тези доповіді на XVI Конференції з фізики високих енергій, ядерної фізики і прискорювачів, 20–23 березня 2018, Харків. – С. 72.
2. SOLIDWORKS 2017 // Довідкова інформація с використання пакету [Електроний ресурс]: <https://www.solidworks.com/sw/purchase/solidworks-trial.htm>.
3. Comsol Multiphysics // Довідкова інформація с використання пакету [Електроний ресурс]: <https://www.comsol.ru>.

Hydrodynamic simulations of black-hole-forming supernovae

Timchenko R. (scientific supervisor – Rodrigo Fernandez)

Гідродинамічне моделювання формування чорних дір під час вибуху наднової

Тімченко Р.М. (науковий керівник – проф. Rodrigo Fernandez)

To date, it is not known which part of the massive stars produces Black Holes (BHs), what the channels for BH formation are, and what relevant observational signatures are expected. To determine this formation, it is necessary to conduct computer simulations to predict Light Curves and Spectra of stellar explosions [1].

A few of the biggest problems in virtual experiment are computer facilities and limitation by the ambient medium into the supernova

explosion, which we need to calculate many times in the simulation. We need to make a number of approximations in order to decrease the computational cost and to efficiently explore processes.

Our current understanding of stellar core-collapse indicates that black holes can form in a failed explosion or by fallback accretion on to a neutron star in a successful core-collapse supernova

A transient associated with black hole formation in a failed supernova can still be generated due to the loss of gravitational mass to neutrinos after collapse. Below the onset of pair instability, black hole formation is always preceded by a proto-neutron star phase, in which 10% of the baryonic mass of the remnant is lost to neutrino emission [2-3].

The project aims at improving the equations of state used to describe ambient media, to allow for much lower densities and temperatures, so that supernova shocks can be followed for a longer time.

We model stellar collapse by solving the time-dependent hydrodynamic equations in spherical symmetry using FLASH4 with the Helmholtz equation of state (EOS). Unfortunately, it need table data that has limitations for temperature and density [4]. The Helmholtz EOS returns the scalar pressure, specific internal energy, and specific entropy as a sum over the fundamental species: radiation, nuclei, electrons, and positrons. All parts of the equation have an analytical form, except the electron part.

The project idea uses the free electron ideal gas approximation. We have compared our modified code results with the Helmholtz free energy table. The relative errors of the temperature and energy convergences are $2 \cdot 10^{-4}$ and 10^{-3} (%) respectively. It is enough to do the next steps in the simulation.

Now we are able to simulate the entire lifetime of the ejection after core-collapse supernova and layers near the stellar surface. It will help us to know how long the ejection and then predict light curves that we can observe on the earth to detect a Black-Hole formation.

In this way we can finally detect BHs directly without gravitational observation of other bodies.

References:

1. Rodrigo Fernández, Eliot Quataert, Kazumi Kashiyama, Eric R Coughlin; Mass ejection in failed supernovae: variation with stellar progenitor, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 476, Issue 2, 11 May 2018, Pages 2366–2383, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty306>.
2. Kochanek C. S., Beacom J. F., Kistler M. D. et al 2008 ApJ 684 1336.
4. Lovegrove, Elizabeth; Woosley, S. E., Very Low Energy Supernovae from Neutrino Mass Loss, The Astrophysical Journal, Volume 769, Issue 2, article id. 109, 8 pp. (2013).
5. F. X. Timmes and F. Douglas Swesty, The Accuracy, Consistency, and Speed of an Electron-Positron Equation of State Based on Table Interpolation of the Helmholtz Free Energy, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 126, Issue 2, pp. 501-516.

Контроль реактивності ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів» ННЦ ХФТІ

Черкашин В.І. (науковий керівник – к.ф.-м.н. Ушаков І.В.)

Для джерел нейтронів, які працюють в підкритичному режимі, як наприклад, установка «Джерело нейтронів» ННЦ ХФТІ [1] важливо визначати реактивність активної зони. Ця задача складніша ніж для критичних систем, оскільки потребує враховувати наявність зовнішнього джерела нейтронів (лінійного прискорювача електронів та нейтроноутворюючої мішені), а також зваження прояви просторових ефектів на тлі низького рівня щільності потоку нейтронів та високого рівня гамма-випромінювання.

Для оцінки критичності установки «Джерело нейтронів» ННЦ ХФТІ в роботі виконані розрахунки щільності нейтронного потоку в місцях розташування детекторів нейтронів, виходячи з наступних умов: тривалість електронного пучка $3 \cdot 10^{-6}$ с, частота їх проходження 2Гц, відстань мішень-детектор 55,3 см. Для різних значень струменів лінійного прискорювача (300, 400, 600 МА) значення щільності нейтронного потоку очікуються наступними: $5,84 \cdot 10^6$; $7,79 \cdot 10^6$; $1,16 \cdot 10^7$ н/с*см², відповідно.

Одержані результати можуть бути використані при плануванні й проведенні робіт по введенню в експлуатацію та подальшої

експлуатації ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів» ННЦ ХФТІ.

Список літератури:

1. Н.И. Айзацкий и др. Источник нейтронов ННЦ ХФТИ // Вопросы атомной науки и техники, 2012, №3(79), С. 3-9.

Інтегральні перерізи фотоядерних реакцій $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m,g}\text{In}$ для дослідження нуклеосинтезу p -ядер в зірках

Чеховська А. В. (науковий керівник – проф. Шульга М. Ф., ст. н. сп. Скакун Є. О.)

Переважає більшість хімічних елементів та їх стабільних ізотопів, що спостерігаються в природі та розташовані в області середніх та важких мас, синтезувалися в гарячих зірках в результаті ядерних реакцій. Процеси, що синтезують переважну більшість ядер цих ізотопів, називаються процесами швидкого (*r-rapid*) та повільного (*s-slow*) захоплення нейтронів, тобто (n, γ)-реакцій [1]. Проте в області середніх та важких мас існують 35 так званих p -ядер, до яких належить ядро ^{112}Sn , в утворенні яких переважну роль відіграють низькоенергетичні фотоядерні реакції типу (γ, n) , (γ, p) та (γ, α) . Щоб змоделювати природну розповсюдженість p -ядер, потрібні знання швидкостей великого масиву ядерних реакцій, які отримуються з поперечних перерізів або виходів.

Використовуючи гальмівні γ -кванти від танталового конвертору, опромінюємого пучком лінійного прискорювача електронів ННЦ ХФТІ (Харків), та застосовуючи активаційну методику з гамма-спектрометрією високого енергетичного розподілу, ми виміряли інтегральні виходи реакцій $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$, $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111g}\text{In}$ в області енергій від порога до 15 MeV. Результати експериментальних вимірювань порівнюються з існуючими в літературі даними, отриманими методом реєстрації випромінених нейтронів, та з розрахунками статистичної теорії ядерних реакцій, що імплементована в комп'ютерні коди NON-SMOKER [2] та

TALYS [3] з різними моделями щільності рівнів ядра та радіаційної силової функції.

Як додатковий результат визначено коефіцієнти розгалуження 9 самих потужних γ -переходів між збудженими станами ядра ^{111}In , що заселяються при радіоактивному розпаді ядра ^{111}Sn . Отримані дані відрізняються від прийнятих в даний час значень.

Список літератури:

1. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler and F. Hoyle. Rev. Mod. Phys. v.29, p. 547-650 (1957).
2. T. Rauscher, F.-K. Thielmann, *ADNDT* 80, 1 (2004).
3. A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, "TALYS-1.0", Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 22-27, 2007, Nice, France, editors O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge, R.Jacqmin, and S.Leray, EDP Sciences, p. 211-214 (2008).

Твердофазний синтез кераміки Y–Zr–O зі структурою пірохлору

Шовкопляс А.В. (науковий керівник – доцент Чушкала В.О.)

Для традиційних однорідних матеріалів максимально можливі фізичні властивості (механічні, термічні, корозійні, радіаційні та інші) вже практично реалізовані. Отримати новий рівень особливих, конкретно обумовлених властивостей можливо у матеріалах нової структурної будови, які здебільшого є структурно-неоднорідними. Прикладом таких матеріалів є ДЗО-сталі – сплави, матриця яких зміцнена нанорозмірними частинками оксидів, зокрема такими, що мають структуру пірохлору [1].

Визначення особливостей синтезу складних багатоеlementних оксидів на базі простих подвійних сполук (звичайних оксидів перехідних металів) є першим кроком у визначенні фізичних закономірностей створення певних структурно-фазових станів твердотільних композитів з новим комплексом властивостей, що забезпечуються цими станами (корозійної та радіаційної стійкості, жаро– та термостійкості, міцності). Наступний етап – опанування можливості керувати різномасштабними елементами структури твердотільних матеріалів, визначати оптимальну для умов використання будову матеріалів та реалізовувати її шляхом певних

технологічних прийомів. Кінцевим результатом повинна бути розробка методів керованого впливу на структурно-фазовий стан матеріалів, що надасть можливість отримувати матеріали з наперед заданими експлуатаційними властивостями.

Для отримання складного оксиду з пірохлорною структурою виготовляли суміш промислових порошоків ZrO_2 та Y_2O_3 у співвідношенні 1:1 (атомні %). Після перемішування суміші протягом 2–8 годин її компактували у таблетки в загартованій прес-формі під тиском до 0,5 ГПа, після чого таблетки піддавали термообробці. Одну частину таблеток нагрівали в камерній повітряній печі при температурі 1200 °С (тривалість спікання 20 годин), іншу – при температурі 1400 °С (тривалість спікання 2 - 5 годин), решту – при температурі 1500 °С (тривалість спікання 2 - 5 годин).

Фазовий аналіз синтезованих зразків визначався методом рентгенівської дифрактометрії (ДРОН-2.0 та ДРОН-4-07). Мікроскопічний аналіз отриманих зразків проводився на скануючому електронному мікроскопі GSM – 7001 F.

В результаті аналізу зразків з'ясувалось, що вони склалися з пірохлорної фази $Y_2Zr_2O_7$ та залишкових фаз ZrO_2 та Y_2O_3 у різному співвідношенні. Після 20 годин випалу в атмосфері повітря при температурі 1200 °С вміст пірохлору складав ~ 18 %, підвищення температури до 1500 °С (тривалістю 5 годин) збільшувало вміст пірохлору до ~ 41 %. Подальша інтенсифікація процесу синтезу можлива за рахунок підвищення часу (що не є раціональним) або температури випалу.

Список літератури:

1. С.В. Старостенко, В.Н. Воеводин, А.С. Кальченко и. др. Влияние облучения тяжелыми ионами Cr^{3+} на микроструктуру стали 08X18H10T дуо, механически легированной нанопорошком системы $Y_2O_3-ZrO_2$ // ВАНТ. – 2016, № 4. – С. 3-8.
2. L.F. He, J. Shirahata, T. Nakayama, T. Suzuki, I. Ihara, Y.W. Bao, T. Komatsu, K. Niihara. Mechanical properties of $Y_2Ti_2O_7$ // Scripta Materaila. – 2011 (64). – P. 548-551.
3. J.K. Gill, O.P. Pandey, K. Singh. Role of sintering temperature on thermal, electrical and structural properties of $Y_2Ti_2O_7$ pyrochlores // International journal of hydrogen energy. – 2011. – V. 36. – P. 14943-14947.

Нанесення функціональних покриттів методами фізичного розпорощення

Щибря А.В. (науковий керівник – професор Зиков О.В.)

Нанесення якісних тонкоплівкових покриттів є актуальним завданням в різних галузях науки, техніки та промисловості. Функціональні покриття надають можливість значно поліпшити фізичні та експлуатаційні властивості матеріалів. Наприклад, тонкоплівкові покриття товщиною 0,1÷2 мкм є основою сучасної мікро- та наноелектроніки, їх широко використовують в машинобудуванні, електронній та оптичній промисловості [1].

В даній роботі проведено огляд та порівняльний аналіз методів нанесення функціональних покриттів шляхом фізичного розпорощення металевих та складнокомпозиційних мішеней. Розібрано фізичний механізм взаємодії нейтральних частинок, що осаджуються, з підкладкою, що є типовим для всіх методів фізичного розпорощення. Проаналізована робота як окремих плазмових модулів, так і їхня взаємодія в процесах реактивного іонно-плазмового синтезу покриттів.

Презентована розроблена на кафедрі новітня універсальна розпорощувальна система для фундаментальних досліджень кінетики росту покриттів при іонному асистуванні.

Розібрано принцип дії серійного джерела іонів «Радикал» типу прискорювача іонів з прианодним електронним шаром, яка на зараз широко використовується в промисловості для травлення, очистки та

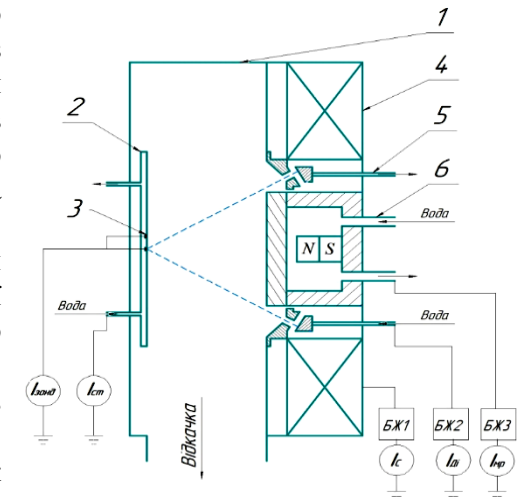


Рисунок - Принципова схема експериментальної установки з ГРС:

1 – робоча камера; 2 – столик для зразків, що охолоджується водою; 3 – плоский зонд для виміру густини струму іонів; 4 – соленоїд; 5 – анод джерела іонів; 6 – магнетрон.

активації поверхні перед нанесенням покриттів, а також для розпорошення композиційних, зокрема діелектричних, матеріалів [2].

Розглянуті планарні магнетронні системи (МРС), а саме, детально розібрані такі питання: механізм планарного магнетронного розряду; типові конструкції МРС; основні робочі характеристики МРС; особливості роботи МРС з хімічно активними газами.

Детально описано принцип дії кластерної вакуумно-технологічної системи для синтезу складнокомпозиційних покриттів, яка складається з кількох іонно-плазмових модулів, сумісних за робочими параметрами. [3]

На рисунку приведено принципову схему експериментальної установки з діагностичним устаткуванням для дослідження характеристик гібридно-розпорошувальної системи, яка конструктивно поєднує прискорювач іонів з анодним шаром електронів (ПАШ) та планарний магнетронний розряд (ПМР), для досліджень кінетики росту покриттів за різних умов іонного бомбардування.

Дослідження дали змогу виявити, що до основних переваг даної системи можна віднести: можливість незалежного керування параметрами потоків розпорошених атомів, які генерує магнетронний розряд, та пучка іонів, що створюються прискорювачем з анодним шаром; можливість формувати потік розпорошених атомів як з використанням ПМР, так і сфокусованим пучком іонів, що генеруються ПАШ; можливість поєднання у одному вакуумному циклі процесів очистки і активації поверхні; нанесення як однокомпонентних, так і композиційних покриттів з застосуванням реактивних газів.

Список літератури:

1. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
2. Гришин С.Д., Лесков Л.В., Козлов Н.П. Плазменные ускорители. – М.: Машиностроение, 1983, 231 с.
3. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. – М.: «Радио и связь», 1982, 72 с.

Список авторів

Арсланалієв А.М.....	7
Багнюк З. А.....	9
Бойченко А.П.....	10
Болото Д.О.....	12
Бондар Д. С.....	14
Бурлаєнко О.В.....	16
Буряк І. В.	18
Буряківська Д.Ю.....	19
Гончаров О.В.....	22
Дроздов Д. Р.....	23
Забрудська А.С.....	25
Ілюха Є.В.....	27
Квітка Н. М.....	29
Кондратенко В. М.....	31
Кононенко С.С.....	33
Корсун Б.О.....	35
Костиленко Я.О.....	36
Крупка А.А.....	38
Курило Д. В.....	39
Лега О.О.....	41
Лесюта М.В.....	43
Лобасенко А.В.....	44
Лук'янчук О.В.....	47
Лунячек О. В.....	49
Мазілін Б.О.....	51
Мирошник М.О.....	53
Мус Ю.С.....	55
Обозний Ю. Д.....	56
Салмін О. М.....	58
Сусаєв Я. В.....	60
Тільний А. В.....	62
Тімченко Р.М.....	63
Черкашин В.І.....	65
Чеховська А. В.....	66
Шовкопляс А.В.....	67
Щибря А.В.....	69

Наукове видання

«Актуальні проблеми сучасної фізики»

Наукова конференція студентів та аспірантів

з прикладної фізики

до 110-річчя з дня народження

академіка В. Є. Іванова

Тези конференції

Українською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. М. Середа*

Комп'ютерне верстання *О. Г. Носова*

Формат 60x84/16. Умов. друк. арк. 2,9. Наклад 60 прим. Зам. № 66/18

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