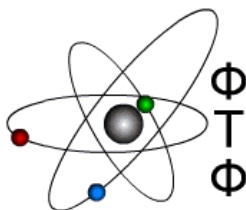


**Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна
Фізико-технічний факультет**

**Студентська наукова конференція
з прикладної фізики**

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

до 105-річчя О. І. Ахієзера



Харків

2016

УДК 53.(082)
ББК 22.3я43
С 88

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету – Гірка Ігор Олександрович, професор, декан ФТФ
Заступник голови – Денисенко Ігор Борисович, доктор фіз.-мат. наук,
професор, заст. декана ФТФ

Члени комітету ФТФ:

проф. Баранник С.О., проф. Бізюков О.А., проф. Лісовський В.О., проф.
Ходусов В.Д., доц. Кириченко В.Г., доц. Шусь А.П.,

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Фізико-технічного факультету
(протокол № 9 від 08.11.2016 р.)*

С 88

Студентська наукова конференція з прикладної фізики „Актуальні проблеми сучасної фізики” до 105-річчя О. І. Ахісзера: Тези. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. - 76с.

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.

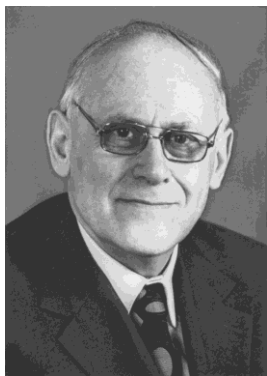
Матеріали подаються в авторській редакції.

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, 2016

Ахієзер Олександр Ілліч



Цього року виповнилося 105 років від дня народження всесвітньо відомого вченого, видатного фізика-теоретика і педагога Олександра Ілліча Ахієзера. Протягом 66 років він працював в Харківському фізико-технічному інституті і понад півстоліття викладав різні фізичні курси в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна.

О. І. Ахієзер народився 31.10 (18.10) 1911 року в м. Черікове Могилевської області (Гомельської губернії) в Білорусії в родині земського лікаря, помер 04.05. 2000 року в м Харкові.

Його батько Ілля Олександрович Ахієзер в 1898 році закінчив Імператорський Харківський університет і був «удостоєний ступеня лікаря з відзнакою». Хоча ні Олександр Ілліч, ні його старший брат, відомий математик Наум Ілліч Ахієзер, не закінчували Харківський університет, але майже все їхнє життя було тісно пов'язана з ним, вони внесли великий вклад в розвиток фізики і математики в ньому, своєю працею прославили його велич. І це не випадково, в цьому є прояв спадкоємності поколінь!

У 1929 році вступив на електротехнічний факультет Київського політехнічного інституту, а в 1934 році закінчив його, отримавши спеціальність радіоінженера. Ставши згодом фізиком-теоретиком, Олександр Ілліч зберіг інтерес до електро-радіотехніки і радіофізики. Надалі це позначилося на його діяльності: він займався теорією і розрахунком найбільшого в Європі лінійного електронного прискорювача на 2 ГеВ в Харківському фізико-технічному інституті (ХФТІ), викладав за сумісництвом в Артилерійській радіотехнічній академії ім. Маршала Л.А.Говорова, написав низку чудових навчальних посібників для студентів з електричних та магнітних явищ, електромагнітних хвиль.

За рекомендацією брата Наума Ілліча приїхав до Харкова в 1934 році і почав працювати в теоретичному відділі Українського фізико-технічного інституту (нині - ХФТІ), яким на той час керував майбутній нобелівський лауреат Л.Д. Ландау (Ахієзер був третім, хто здав йому знаменитий «теоремімум»). Любов і вдячність до свого вчителя О. І. Ахієзер проніс через

все життя. У 1936 році захистив кандидатську дисертацію. У 1938 р, після переїзду Ландау в Москву, очолив теоретичний відділ УФТІ і керував ним до 1988 року, в 1955-1959 роках був заступником директора з науки ХФТІ. У 1940 захистив докторську дисертацію. Під час Великої Вітчизняної війни О. І. Ахієзер працював в ХФТІ, евакуйованому в Алма-Ату. У 1944 році він був викликаний до Москви, де до 1952 року працював (за сумісництвом) у І. В. Курчатова в Лабораторії №2 (Інститут атомної енергії ім. І. В. Курчатова) і в Лабораторії №1 в ХФТІ над атомним проектом . З 1945 року він знову в Харкові, керує теоретичним відділом ХФТІ.

О. І. Ахієзер в 1958 році був обраний член-кореспондентом, а в 1964 році - дійсним членом Академії наук УРСР.

О.І. Ахієзер був справжнім науковим лідером, вчителем ряду поколінь фізиків-теоретиків, одним з творців великої і авторитетної харківської теоретичної школи. Деякі з його учнів самі є засновниками наукових шкіл. Серед учнів О. І. Ахієзера 33 доктора і 72 кандидата фізико-математичних наук, дев'ять членів Національної Академії Наук України (В. Г. Бар'яхтар, Я. Б. Файнберг, Д. В. Волков, С. В. Пелетмінський, О. Г. Ситенко, М.Ф. Шульга, О.С. Бакай, К. М. Степанов, П. І. Фомін). Завдяки ініціативі та зусиллям О. І. Ахієзера в Національному науковому центрі «ХФТІ» створений Інститут теоретичної фізики, зараз носить його ім'я, в якому продовжують працювати його учні.

О. І. Ахієзер - унікальне явище в теоретичній фізиці, його наукова творчість багатогранна та пронизана духом універсалізму. Для всієї його діяльності характерний найширший спектр досліджень. О. І. Ахієзер вніс видатний внесок у розвиток всіх областей фізики, він був воістину вчений енциклопедичних знань і геніальної інтуїції. Роботи його присвячені ядерній фізиці, квантовій електродинаміці, фізики елементарних частинок, фізики плазми, магнітної гідродинаміки, теорії твердого тіла, магнетизму, фізики взаємодії частинок великої енергії з речовиною.

О. І. Ахієзер розвинув теорію розсіювання фотона фотоном в області високих енергій і теорію когерентного розсіювання фотона в полі ядра (1936). У 1941-1947 спільно з І.Я. Померанчуком розглянув процеси розсіювання повільних нейтронів кристалами і незалежно від Е. Фермі передбачив можливість отримання «холодних» нейтронів, розвинув теорію резонансних ядерних реакцій (1948) і теорію дифракції при розсіянні заряджених частинок на ядрах (1949) (модель Ахієзера - Померанчука). У 1955 році з О. Г. Ситенко передбачив ефект дифракційного розщеплення дейтрона і дав його теорію. Зробив внесок у теорію і розрахунок лінійних прискорювачів електронів і

важчих частинок. Розвинув теорію радіаційних поправок до ряду квантовоелектродінамічних процесів (спільно з Р. В. Половіним, 1963). Виконав великий цикл робіт з електродинаміки адронів, зокрема, з М. П. Рекало сформулював правило еквідистантності для різних електромагнітних характеристик адронів (1964), модель кварків узагальнив на електромагнітні процеси за участю адронів.

Спільно з Я. Б. Файнбергом передбачив (1949) пучкову нестійкість плазми, з Г. Я. Любарським і Р. В. Половіним сформулював умову еволюційності і встановив критерій стійкості магнітогідродинамічних хвиль (1958). Вперше створив кінетичну теорію коливань електронної плазми в магнітному полі. Було передбачено явище електронного циклотронного резонансу (спільно з Л. Е. Паргаманіком, 1947). Їм було проведено дослідження розсіювання електромагнітних хвиль в плазмі на флуктуаціях електронів та іонів (спільно О. Г. Ситенко і І. Г. Проходою, 1957).

О. І. Ахієзер вперше сформулював концепцію взаємодіючих між собою магнонів, на основі якої розвинув загальну теорію релаксаційних процесів в магнетиках (1946), і передбачив спільно з В. Г. Бар'яхтар та С. В. Пелетмінським (1956) нове явище - магнітоакустичний резонанс, яка була визнана науковим відкриттям і занесена до Державного реєстру відкриттів СРСР під № 46 з пріоритетом від 1956 року, побудував (1959) теорію кінетичних, релаксаційних і височастотних процесів в ферродіелектриках.

Він виконав основоположні роботи з теорії поглинання звуку (механізм поглинання Ахієзера) в твердих тілах (1938), застосував її для розгляду поглинання ультразвуку в металах (спільно з Г. Я. Любарським і М. І. Каганова, 1957). Ці роботи поклали початок дослідженням з електронної акустики в СРСР. Подальший розвиток цих ідей було здійснено в побудованій газодинамічній теорії квазічастинок в конденсованих середовищах (спільно з В. Ф. Алексінім і В. Д. Ходусовим, 1994).

У 1974-1982 спільно з М. Ф. Шульгою і В. Ф. Болдишевим розглянув процеси випромінювання каналізованих електронів і позитронів в кристалах. У 1975-1995 спільно з М. Ф. Шульгой розробив теорію квантово-електродинамічних явищ в кристалах.

О. І. Ахієзер був надзвичайно талановитим педагогом, блискучим лектором. Його педагогічна діяльність продовжувалась без перерви понад півстоліття. Вона почалася в 1936 році в Харківському механіко-машинобудівному інституті (нині НТУ «ХПІ»). З 1936 по 1990 рік він викладав в Харківському університеті. З 1940 по 1955 роки завідував кафедрою теоретичної фізики, а потім, на створеній ним на її основі, кафедрою

теоретичної ядерної фізики Харківського університету до 1973 року. З лютого 2011 року рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна ця кафедра носить ім'я О. І. Ахієзера. Він був одним з творців фізико-технічного факультету університету, організував підготовку студентів за спеціальністю "теоретична фізика", блискуче втілюючи в життя всі ідеї свого вчителя Л.Д. Ландау по перетворенню системи підготовки фізиків і, особливо, фізиків-теоретиків. У червні 2000 року Вченою радою Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна було прийнято рішення про відкриття меморіальної аудиторії в університеті і заснування стипендії імені О.І. Ахієзера для кращих студентів фізико-технічного факультету.

Особливе місце в багатогранный діяльності О. І. Ахієзера займав інтерес до філософських і фундаментальних питань світобудови, що, зокрема, знайшло відображення в останній з написаних ним книг "Развивающаяся физическая картина мира". Всього О. І. Ахієзер написав 23 монографії з фізики. Серед них відомі в усьому світі монографії з теорії ядра, квантової електродинаміки, спінових хвиль, електродинаміки плазми, електродинаміки високих енергій в речовині, фізичної кінетики, теорії полів і їх фундаментальних взаємодій, підручники практично з усіх розділів загальної фізики. Ці книги відіграли визначну роль у підготовці висококваліфікованих фізиків у всьому світі. Перу О.І. Ахієзера належить понад 400 робіт.

За видатні наукові заслуги і організаційну діяльність О. І. Ахієзер був нагороджений орденами Трудового Червоного Прапора (1971, 1981) і орденом "Знак Пошани" (1954), Почесною грамотою Президії Верховної Ради України, відзнаками Президента України - орденами "За заслуги" III і II ступеня (1996, 1999), медалями. Йому присуджено звання "Заслуженого діяча науки України" (1986). О. І. Ахієзер був удостоєний академічних премій імені Л. І. Мандельштама (1949), імені К. Д. Синельникова (1978), імені М. М. Боголюбова (1995), імені І. Я. Померанчука (1998), імені О. С. Давидова (2000). Він також удостоєний Державних премій України в галузі науки і техніки в 1986 р. і 2002 р. (посмертно).

Людина талановита, величезної ерудиції, невичерпної енергії, оптимізму і працездатності, незвичайної чарівності і доброти, товариський і дотепний - таким він запам'ятався всім, хто мав щастя спілкуватися з ним.

Анализ дозного распределения при 2D и 3D планировании радиотерапии

Аналіз дозного розподілу при 2D та 3D плануванні радіотерапії

Гасаналієва А. Е. (науковий керівник - д-р мед.наук Старенький В. П.)

Одним из двух основных способов лечения больных онкологическими заболеваниями является лучевая терапия. Основной целью этого вида терапии является повреждение клеток опухолевых тканей. Процесс ионизации биологических макромолекул клеток замедляет или останавливает развитие новообразования и ухудшает трофические процессы в опухоли, что приводит к ее гибели [1].

Был проведен сравнительный анализ дозовых распределений традиционной (2D) и конформной (3D) лучевой терапии [1].

Актуальность исследования заключается в определении целесообразности использования 3D радиотерапии. В отличие от конвенционального (2D) облучения конформная лучевая терапия требует обязательного трехмерного планирования выбранного объема лечения, выполненного на основе пакета компьютерных или магнитно-резонансных томограмм, сделанных с шагом 2-5 мм [4]. Улучшенные планы 3D по сравнению с 2D облучением можно охарактеризовать следующими сравнительными вариантами: лучшие показатели равномерности облучения опухоли жизненно важных органов или снижение лучевых нагрузок на жизненно важные органы и ткани.

Традиционная лучевая терапия использует простые методики облучения больных (прямоугольные поля облучения с применением стандартных блоков, болусов, клиньев и др.). При топометрической подготовке выбор границ лечебного поля и центра осуществляется на основе проекции на кожу больного, а именно планирования облучения чаще выполняется на основе одного или реже – нескольких поперечных срезов, изготовленных на основе поперечных компьютерных томограмм.

Для проведения 3D терапии используют аппараты для дистанционной лучевой терапии с применением мультилепесткового коллиматора [2]. На выходе из аппарата форма пучка ионизирующего излучения корректируется по форме опухолевого очага в данной проекции, что обеспечивает минимальное облучение окружающих здоровых тканей.

При анализе исследовались гистограммы доза-объем (DVH) [3] полученные по разным типам планирования, в объемах органа риска и

планирующем объеме была дана оценка эффективности определенного типа. Планирование было рассмотрено на примере пациентов с опухолевым образованием в области шеи. Органом риска (сравнительным объемом здоровых тканей) был спинной мозг.

Для оценки результатов был проведен анализ планов для 40 пациентов. Доза облучаемого объема составила 16 Гр. Максимальная доля дозы приходящаяся на орган риска, при 3D планировании 65,7 %, а средняя – 26,01 %. При 2D максимальная доля дозы на ОР – 97,5 %, средняя – 77,9 %. Анализируя данные результаты можно сделать выводы, при близком расположении органов риска к опухоли лечение на основе 2D планирования существенно уступает 3D, а в отдельных случаях недопустимо.

Список літератури:

1. Труфанов Г. Е., Асатурян М. А., Жаринов Г.М. Лучевая терапия. Т.2. М.: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 195 с.
2. Климанов В.А., Крылова Т.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Часть 1. Дистанционная лучевая терапия пучками тормозного и гамма-излучения: учебное пособие. М.: МИФИ, 2007. с. 216.
3. Michael Joiner, Albert van der Kogel, Basic Clinical Radiobiology, an imprint of Hodder Education, an Hachette UK Company, 338 Euston Road, London NW1 3BH., p. 200, 2009.
4. M. Kara Bucci, Alison Bevan, Mack Roach, Advances in Radiation Therapy: Conventional to 3D, to IMRT, to 4D, and Beyond, (CA Cancer J Clin 2005;55:117–134.)© American Cancer Society, Inc., 2005, p. 11, 2005.

Властивості вольфраму після опромінення стаціонарними та імпульсними плазмовими навантаженнями

*С. С. Геращенко¹, М. М. Аксенов¹, І. О. Бізюков², О. І. Гірка²,
В. О. Махлай¹, С. В. Малихін³, С. В. Суровицький³, К. М. Середя²,
О. А. Бізюков², І. Є. Гаркуша^{1,2}*

¹Інститут фізики плазми, ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна;

³Національний технічний університет "ХПІ", Харків, Україна

Ефективність роботи термоядерного реактора (наприклад, Міжнародний термоядерний експериментальний реактор (ITER)) визначається цілою низкою економічних чинників. Одним з основних є термін роботи компонентів, контактуючих з плазмою. Ерозія таких компонентів обмежує час роботи термоядерного реактора, призводить до забруднення гарячої плазми важкими домішками та значною

кількістю пилу. Основним чинником, що призводить до руйнування компонентів, контактуючих з плазмою, є вплив стаціонарних потоків тепла і часток з об'єму утримання плазми, а також теплові навантаження під час перехідних явищ (зриви струму (disruptions), граничні локалізовані моди (Edge Localized Modes (ELMs)) і т. ін.). Проводити експериментальні дослідження ерозії матеріалів, що контактують з плазмою, в сучасних установках термоядерного синтезу досить проблематично з огляду на високу вартість та малу кількість експериментальних установок. Проте, ряд проблем, пов'язаних з матеріалами, що контактують з плазмою в термоядерному реакторі, потребують термінового вирішення протягом короткого періоду часу. Перш за все, необхідно оцінити внесок стаціонарних і імпульсних плазмових навантажень до ерозії матеріалів, що контактують з плазмою. Виходячи з цього, експериментальні дослідження матеріалів в умовах, наближених до умов ІТЕР, проводять із залученням інших установок.

В роботі показано продовження досліджень особливостей пошкодження поверхні вольфраму при комбінованому впливі. Опромінення стаціонарними водневими іонними потоками (2×10^{22} м-2с-1, $5-8 \times 10^{25}$ м-2, середня енергія іонів 2 кеВ) чергувалося з імпульсними плазмовими навантаженнями, які були обрані нижче порогу плавлення вольфраму (водневі плазмові потоки з густиною енергії 0.45 МДж \times м-2 та тривалістю імпульсу 0.25 мс). Стаціонарне бомбардування здійснене за допомогою джерела іонів FALCON, імпульсне плазмове навантаження виконано в квазістаціонарному плазмовому прискорювачі КСПП Х-50. Поверхні опромінених зразків досліджувались за допомогою оптичного мікроскопу ММР-4, обладнаного ССD камерою, та скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM-840. Дослідження структури, суб-структури та стану напружень виконані методом рентгеноструктурного аналізу (РСА). Також виконані виміри шорсткості опромінених поверхонь.

Дослідження показали, що симетричні термічні залишкові напруження в опромінених поверхнях створюються переважно імпульсним навантаженням. Вплив стаціонарних плазмових навантажень призводить до відпаду як лінійних, так і комплексів точкових дефектів. Як наслідок, залишкові напруження зменшуються. Детальні дослідження, проведені методами РСА, показали, що параметр ґратки збільшився несуттєво, тобто в кристалічну ґратку під час опромінення не були введені домішки. В результаті комбінованих плазмових навантажень розвивається шорсткість поверхонь вольфрамівих зразків. Зростання шорсткості поверхні обумовлено

утворенням тріщин та підняттям границь зерен на опромінених поверхнях.

Електрон-діркове спарювання в двошаровій графеновій системі. Електромагнітні властивості.

Гермаш К.В. (науковий керівник - пров. наук. співр., д.ф.-м.н. Філь Д.В.)

У двошарових електронних системах, в яких електронні шари паралельні один одному та просторово розділені, а також якщо один шар має надлишок електронів, а інший – дірок, електрони і дірки із протилежних шарів можуть об'єднуватися у пари, подібні до куперівських пар у надпровідниках [1]. У стані з такими парами електричні струми у шарах мають протікати без опору, якщо струм в електронному шарі є рівним за модулем, і протилежним за напрямком струму в дірковому шарі. В теперішній час особлива увага, як теоретиків, так і експериментаторів, прикута до можливості реалізації електрон-діркового спарювання (ЕДС) у двошаровій графеновій системі (ДГС) [2,3].

У доповіді представлені результати робіт, у яких розглядається вплив ЕДС на електромагнітні властивості ДГС.

Важливим питанням є можливість експериментальної реєстрації ЕДС. У роботі [4] показано, що хоча система має діамагнітні властивості, але ефект Мейснера у класичному розумінні відсутній. Магнітна сприйнятливість є малою ($\sim 10^{-6}$), а магнітний момент є пропорційним відстані між шарами. Внаслідок малості магнітного відгуку ефект не може використовуватися для реєстрації ЕДС. Нами було показано, що для реєстрації ЕДС може бути використаний ефект зменшення екранування в системі зі спарюванням. Показано, що екранування поля точкового заряду повністю відсутнє при нульовій температурі, та залишається сильно зменшеним при кінцевій температурі.

У роботі [5] показано, що у випадку нормального падіння електромагнітної хвилі на ДГС, у коефіцієнтах відбиття та поглинання на частоті, рівній щілині в енергетичному спектрі, виникає гострий пік. Коефіцієнт проходження на цій самій частоті має глибокий мінімум. Встановлено, що ЕДС суттєво впливає на розповсюдження поверхневих ТМ і ТЕ плазмонів. Симетрична ТМ мода в ДГС з ЕДС розщеплюється на дві гілки: нижню та верхню. Частота нижньої гілки менша за щілину, а верхньої – більша. Нижня гілка є слабо загасаючою, а верхня – сильно

загасаючою. Нижня гілка існує тільки при ненульових температурах. З ростом температури частота нижньої гілки збільшується. Встановлено, що у системі з ЕДС виникає низькочастотна область існування симетричної ТЕ моди. Ця область обмежена зверху щілиною.

Розглянуті також нелінійні електромагнітні властивості ДГС з ЕДС. Встановлено, що у цій системі можлива генерація третьої гармоніки. Нелінійна провідність третього порядку має особливості на частоті, рівній $(2/3)\Delta$, а також на частоті, рівній $(2/3)(\Delta^2 + \epsilon_F^2)^{1/2}$, де Δ - параметр порядку ЕДС, а ϵ_F - енергія Фермі. Інтенсивність випромінювання третьої гармоніки відповідно має піки на цих частотах.

Характерні значення частот, що відповідають особливостям у лінійній та нелінійній провідності, лежать у терагерцовій області.

Список літератури:

1. С. И. Шевченко, ФНТ 2, 505 (1976).
2. Sodemann, D.A. Pesin, A.H. MacDonald, Phys. Rev. B 85, 195136 (2012); Yu.E. Lozovik, S.L. Ogarkov, A.A. Sokolik, Phys. Rev. B 86, 045429 (2012).
3. R.V. Gorbachev, et al., Nature Physics 8, 896 (2012); J.I.A. Li, et al., Phys. Rev. Lett. 117, 046802 (2016).
4. K.V. Germash, D.V. Fil, Phys. Rev. B 91, 115442 (2015).
5. K.V. Germash, D.V. Fil, Phys. Rev. B 93, 205436 (2016).

Аналитичні вирази для функції розподілу електронів за енергією у запорошеній плазмі, що підтримується зовнішнім електричним полем

Глазков А. О. (науковий керівник - проф. Денисенко І. Б.)

Головною метою цієї роботи було поглиблене дослідження та детальний аналіз функції розподілу електронів за енергією (ФРЕЕ) у запорошеній плазмі. Ми ставили собі за мету отримання аналітичних виразів, які можна було б використовувати для розрахунків ФРЕЕ. Також у цій роботі був проаналізований вплив порошинок, що мають субмікронний розмір, на досліджувану функцію розподілу. Результатом цієї роботи є отримання аналітичних виразів для ФРЕЕ в аргонівій запорошеній плазмі. У роботі було показано, що отримані формули можуть бути використані для обчислення ФРЕЕ як для випадків високочастотного запорошеного газового розряду, так і для випадку розряду постійного струму. При отриманні аналітичних виразів для ФРЕЕ зіткнення між електронами не враховувалися. Також ми не враховували трансформацію електронів з високими енергіями у так

звані низькоенергетичні електрони, що має місце при непружних зіткненнях електронів з атомами. Але не зважаючи на зроблені припущення, отримані з аналітичної моделі у локальному наближенні функції розподілу електронів за енергією якісно узгоджуються з експериментальними залежностями та з результатами числових розрахунків [1-4]. Дослідження та порівняння отриманих параметрів з аналогічними величинами, що були отримані у результаті числових розрахунків, було зроблено для різних радіусів порошинок та різних їх об'ємних густин. Також були отримані залежності для ФРЕЕ для різних частот поля, об'ємних густин електронів та амплітуд височастотного поля. Було з'ясовано, в якому діапазоні параметрів плазми можливо використовувати спрощену аналітичну модель для знаходження ФРЕЕ. Проаналізувавши вплив порошинок на ФРЕЕ, ми також показали, що зростання концентрації порошинок в об'ємі плазми може привести до максвелізації функції розподілу електронів за енергією. Було з'ясовано як заряд порошинок та ефективна температура електронів, що були розраховані за допомогою аналітичної моделі, відрізняються від відповідних значень, що були отримані у результаті числових розрахунків.

Список літератури:

1. I. B. Denysenko, H. Kersten, and N. A. Azarenkov, Phys. Rev. E 92, 033102 (2015).
2. I. B. Denysenko, N. A. Azarenkov, S. Ivko, G. Burmaka, A. Glazkov, Problems of Atomic Science and Technology (2016), стаття прийнята до друку.
3. I. Denysenko, M. Y. Yu, K. Ostrikov, N. A. Azarenkov, and L. Stenflo, Phys. Plasmas 11, 4959 (2004).
4. N. Bilik, R. Anthony, B. A. Merritt, E. S. Aydil, and U. R. Kortshagen, J. Phys. D 48,105204 (2015).

Урахування внеску дози від діагностичних та топоетричних процедур при плануванні променевої терапії

Горюх Д.В. (науковий керівник - доц. Шеїна І.В.)

Променева терапія (ПТ) разом з хірургічним та лікувальним методами є одним з трьох провідних методів в лікуванні онкологічних захворювань. Основним принципом ПТ є створення достатньої для знищення пухлини дози іонізуючого випромінювання (ІВ) в патологічному осередку при толерантному рівні ушкодження навколишніх тканин і органів. Проведення ПТ складається з декількох

етапів: клінічної діагностики (комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ), позитрон-емісійна томографія (ПЕТ)), дозиметричного планування, іммобілізації пацієнта, симуляції геометрії опромінення і, власне, безпосереднє терапевтичне опромінення на лінійному прискорювачі.

Зараз при розрахунку дози, отриманої кожним органом, враховується доза, отримана лише на кінцевому етапі ПТ. Також в літературі відсутні кількісні дані про співвідношення доз, отриманих на різних етапах проведення ПТ. Знання повної дози, яку отримує пацієнт в ході ПТ, є актуальним для мінімізації впливу на критичні органи організму людини [1]. Метою цієї роботи була реєстрація поглиненої дози ІВ від діагностичних і топометричних процедур і урахування її вкладу при плануванні ПТ.

В ході виконання роботи антропоморфний гетерогенний фантом дорослої людини виробництва ТОВ «Атом» (Рига, Латвійська Республіка) пройшов повну передпроменеву підготовку і лікування в умовах, аналогічних реальному опроміненню пацієнта. З використанням термолюмінесцентного методу дозиметрії отримані дані про дози опромінення, поглинене різними органами фантома людини на етапі проведення КТ на апараті «Toshiba AQUILION 64», а також під час симуляції на променевому прискорювачі «Varian Clinac 600C». У кожному експерименті значення дози випромінювання, поглиненої органом становило близько 20 мГр. Дотримуючись створеного в системі планування «Varian ECLIPSE» багатопільного плану опромінення та маркерів з симулятора ПТ, була проведена процедура опромінення фантома на лінійному прискорювачі «Varian Clinac 600C». Доза, поглинена органом-мішенню, в ролі якого була обрана передміхурова залоза, була зареєстрована іонізаційним методом дозиметрії і становила 2,042 Гр. Експериментальні дані, зняті з іонізаційної камери, показали значну узгодженість зі значеннями, розрахованими в плануючій системі.

Проведена теоретична оцінка вкладу додаткової дози від КТ і процедур симуляції в сумарну дозу, поглинену в органі-мішені при проведенні ЛТ. Показано, що величина цього внеску є малою і становить близько кількох відсотків. Однак використання даних методів щодня при контролі укладання пацієнта може істотно збільшити дозу на здорові тканини внаслідок численних фракцій іонізуючого випромінювання. На основі літературних даних [2] виконано аналіз можливості коректного обліку додаткової дози від діагностичних

процедур і процедур топометричної підготовки пацієнта при розрахунку толерантних доз на критичні органи.

Список літератури:

1. Труфанов Г.Е. Лучевая терапия : учебник для вузов / М.А. Асатурян, Г.М. Жаринов, Г.Е.Труфанов. – М : ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 62 с.
2. Mayles P. Theory and Practice / P.Mayles A. Nahum, J.C. Rosenwald // Handbook of Radiotherapy Physics. - Taylor & Francis, 2007. – P. 89-91.

Дослідження спектрометричних характеристик малорозмірного сцинтиляційного детектора на основі монокристалу паратерфенілу

Гостиніна А.Д. (науковий керівник – д.ф.-м.н. Дудник О.В)

Сцинтилятори - це особливі речовини, які можуть випромінювати світло при поглинанні іонізуючого випромінювання, наприклад, гамаквантів. Збудження відбувається за рахунок іонізації, але не за рахунок механічного впливу. В основному випромінювання світла відбувається швидко у вигляді миттєвого для ока спалаху. Також особливістю сцинтиляторів є те, що для конкретного типу випромінювання кількість утворених фотонів майже пропорційна поглиненій енергії первинного випромінювання. Це дає можливість поділити енергетичні спектри випромінювання за енергіями спалахів.

Можна класифікувати сцинтилятори відповідно галузі їхнього застосування. Одні і ті ж речовини можна використовувати як домішки до полімерних і рідких сцинтиляторів, а також і до органічних кристалів. Одні і ті ж самі сцинтилятори з успіхом застосовують в зовсім різних сферах. У таких ситуаціях різні їхні характеристики можуть розглядатися як основні в одних випадках та другорядні – в інших [1].

Таким чином, вельми інформативною для експериментаторів є класифікація, що враховує можливість використання сцинтиляторів для конкретного класу задач.

Метою роботи є дослідження спектрометричних характеристик малорозмірного сцинтиляційного детектора та вибір оптимальної напруги зворотного зміщення кремнієвого фотоелектронного помножувача (ФЕП).

У лабораторних умовах проведено серію експериментів з вимірювання спектрометричних характеристик малорозмірного

сцинтиляційного детектора з використанням спектрометричного тракту й оригінального стенду термоелектричного модуля [2]. Як джерело бета-випромінювання використовувався радіоактивний ізотоп ^{137}Cs з моноенергетичною лінією конверсійних електронів $E = 624 \text{ keV}$.

У даній роботі показано можливість застосування багатопіксельних лічильників оптичних фотонів виробництва "Hamamatsu Photonics" для спектрометрії бета-випромінювання з органічним сцинтилятором на основі монокристалічного паратерфенілу, що мають малий світловихід (до 30 000 фотонів / MeV поглиненої енергії). Визначено діапазон робочих напруг зворотного зсуву на кремнієвому ФЕП з числом пікселів 57 600, при якому досягається найкраще енергетичне розділення.

Виходячи з результатів роботи, можна скласти рекомендації для вибору діапазону робочих напруг зворотного зсуву на кремнієвому ФЕП для роботи зі сцинтиляційними кристалами, а саме:

- напруга зворотного зсуву в межах 65-68 В є оптимальним вибором і дає можливість досягти найкращого енергетичного розділення для сцинтиляторів зі світловиходом більше 50 фотонів / keV поглиненої енергії.
- напруга зворотного зсуву в межах 68-70 В є оптимальним вибором і дає можливість досягти найкращого енергетичного розділення для сцинтиляторів зі світловиходом більше 30 фотонів / keV поглиненої енергії.

Список літератури:

1. Галунов Н.З. Радио-люминесценция органических конденсированных сред. Теория и применение / Н.З. Галунов, В.П. Семиноженко - К.: Наук. думка, 2015. – 463 с.
2. Дудник А.В. Детектор на основе монокристалла активированного паратерфенила и кремниевого фотозлектронного умножителя / А.В. Дудник, Л.А. Андрущенко, В.А. Тарасов, Е.В. Курбатов. // Приборы и техника эксперимента. – 2015. – № 2. – С. 41-46.

Плазмові технології в нанолітографії

Гречко Я.О. (науковий керівник - проф. Азаренков М.О.)

У сучасному світі плазмові технології знаходять широке застосування в багатьох областях науки, техніки і технології. Однією з ключових галузей використання плазмових технологій є мікронаноелектроніка. Один елемент електронного пристрою (процесор

комп'ютера, чіп пам'яті) вимагає близько 100 операцій плазмової обробки.

Основним моментом, що забезпечує протягом останніх років розвиток мікроелектроніки, була можливість безперервного зменшення розміру елементів інтегральних схем. Саме перехід від хімічного травлення до плазмового дозволив на три порядки зменшити розмір елементів. Також цей прогрес забезпечувався деякими удосконаленнями процесу фотолітографії, найважливішою перевагою якого є можливість одночасного і паралельного перенесення зображення, що складається з багатьох мільйонів елементарних фрагментів. Аналіз тенденцій подальшого зменшення розміру елементів показує вихід в найближчі роки в нанометровий діапазон з розмірами елементів $\sim 10 \dots 60$ нм. Однак можливості оптичних систем обмежені дифракційною межею і подальше зменшення довжини хвилі світла наштовхується на проблеми, пов'язані з поглибленням в екстремально ультрафіолетовий (ЕУФ) діапазон з довжиною хвилі $10 \div 50$ нм. Зокрема, існує проблема з відсутністю в природі оптично прозорих матеріалів, придатних для побудови оптичних систем і підкладок для фотошаблонів. Наступна проблема – це створення ефективних джерел випромінювання в цій області довжин хвиль.

В якості вирішення першої проблеми була створена оптична система на основі багат шарових брегговських дзеркал, що володіють досить високим коефіцієнтом відображення в ЕУФ діапазоні електромагнітного випромінювання. На багат шарових брегговських дзеркалах *Mo-Si*, в даний час, досягнутий коефіцієнт відбиття $R = 70\%$ при довжині волни 13.5 нм (теоретичне $R_{max} \approx 74-78\%$). [1]

На сьогоднішній день найбільш ефективним джерелом ЕУФ випромінювання є синхротронне випромінювання, що генерується в прискорювачах заряджених частинок з накопичувальними кільцями. Однак громіздкість і дорожнечу синхронних накопичувальних кілець можна розглядати як великий недолік і перешкода до широкого промислового застосування.

Альтернативою синхронним накопичувальним кільцям служать плазмові джерела ЕУФ випромінювання. Компанія *Philips EUV* та *XTREME* група розробили плазмовий джерело *SoCoMo*, на основі *Sn* та *Xe*, для створення випромінювання в діапазоні екстремального ультрафіолету з довжиною хвилі 13,5 нм. [2] В джерелі на основі *Sn* випромінювання генерується в плазмовому пінчі з багатократно іонізованими атомами олова. Недоліком джерела *SoCoMo* є низький коефіцієнт конверсії енергії, що підводиться, в енергію

випромінювання, який досягає $\sim 2\%$.

В роботі [3] була показано можливість генерації ЕУФ випромінювання в сильноточному плазмовому діоді з обмеженою робочою поверхнею високовольтного електрода. Особливістю такої системи є утворення подвійного еклектичного шару об'ємного заряду в плазмі багатократно іонізованих атомів олова. Подвійний шар відповідає за генерацію потужного електронного пучка, який розігріває плазму. Було показано, що така система дозволяє генерувати потужне направлене випромінювання з довжиною хвилі 13,5 нм у вигляді пікових імпульсів тривалістю 100-200 нс. При цьому коефіцієнт конверсії енергії такої системи досягає $\sim 7-9\%$.

Список літератури:

1. Р. Сейсян. Нанолітографія ПБІС в екстремально далекому вакуумному ультрафіолеті (Огляд) // Журнал технічної фізики.– Т. 75, №. 5.– 2005.– С. 1-13.
2. M. Yoshioka et al. Tin DPP Source Collector Module (SoCoMo): Status of Beta products and HVM developments // Proc. of SPIE.– Vol. 7636.– 2010.– P. 1-12.
3. A. Tseluyko et al. Experimental study of radiation in the wavelength range 12.2-15.8 nm from a pulsed high-current plasma diode//Plasma Physics Reports.– Vol. 34, No. 10.– 2008.– P. 963-968.

Нанесение вольфрамового покрытия на графит

Нанесення вольфрамового покриття на графіт

Дзюба А.В. (науковий керівник - доц. Бобков В.В.)

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств поверхности графитовых изделий в установках термоядерного синтеза является покрытие их защитным слоем вольфрама или композитным покрытием с внешним вольфрамовым слоем.

В качестве метода нанесения покрытий выбран метод магнетронного нанесения, так как он позволяет осуществлять нанесение однородных по толщине покрытий с высокой адгезией на функциональные элементы сложной пространственной геометрии.

Нанесение покрытий проводилось на установке с магнетронной распылительной системой планарного типа косвенного охлаждения мишени. Диаметр мишени составлял 180 мм. Использовались мишени из чистого вольфрама. Расстояние между столом и мишенью

составляло 150 мм, что обеспечивало равномерную толщину покрытий на образцах.

Эксперименты показали, что вольфрамовая пленка при нанесении на холодную подложку оказывается сильнонапряженной и это вызывает разрушение покрытия. В работе определен допустимый диапазон температур подложки для нанесения покрытий на основе вольфрама.

Объекты для нанесения покрытий изготавливались из пирогرافита и терморасширенного графита. Исходя из требований к обработке поверхности, объекты предварительно полировались. Для устранения внутренних напряжений образцы из терморасширенного графита проводился отжиг в вакууме с продувкой аргона при температуре 800-850°C, давление в камере составляло 1.3 Па. Образцы остывали в высоком вакууме до комнатной температуры.

Подготовленные объекты загружались в камеру, которая откачивалась диффузионным насосом до $6.4 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Мишень и подложка предварительно очищались в тлеющем разряде в среде аргона.

Для того, чтобы определить оптимальные параметры, мы варьировали температуру подложки, отрицательное смещение на подложку и условия горения разряда. Было установлено, что при определенных параметрах газового разряда: $I = 2.5 \text{ A}$, $U = 500 \text{ B}$, температуре подложки 300 - 350°C и отрицательном смещении потенциала на подложку 600 В полученные покрытия вольфрама имели адгезионную прочность сравнимую с прочностью материала подложки.

Так как конструкционные элементы термоядерных установок имеют достаточно сложную геометрию, была разработана технологическая оснастка вакуумной камеры, которая позволяла наносить покрытия на объекты сложной формы. При указанных экспериментальных режимах проведено нанесение вольфрама на графитовые подложки. В результате получены покрытия на конструкционных элементах лимитера антенны ICRF установки ASDEX Upgrade с толщиной 10 мкм.

Синтез функціональних покриттів для імплантології

Єфименко Н.О. (науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук Зиков О.В.)

У роботі була проведена розробка технологій нанесення захисних та електричних покриттів та плівок для медичних імплантів. Актуальність роботи стоїть в тому, що у медицині існує багато проблем, які можна

вирішити за допомогою нанесення на імпланти високоякісних плівок та покриттів. Одною з таких проблем є корозія. Вона має місце тоді, коли метали та сплави використовуються як імпланти в тілі. Через рідку середу організму з цих металів та сплавів зростає звільнення іонів заліза, хрому, титана, які є сильними алергенами. Вони сприяють погіршенню росту кістяної тканини, а також розхитуванню самого протезу [1].

За допомогою електретного покриття Ta_2O_5 ми можемо звести до мінімуму відторгнення імпланту та прискорити регенерацію пошкодженої тканини. Для стоматологічних протезів використовують сплави металів. Щоб покращити їх твердість та стійкість до корозії, на ці метали наносять оксидні багат шарові покриття [2].

Нанесення оксидних покриттів проводилося на кластерній системі іонно-плазмового синтезу покриттів, на базі магнетрону, джерела плазми та джерела іонів. При реактивному нанесенні хімічно активний газ реагує з розпорошеними атомами матеріалу мішені магнетрона на поверхні, що обробляється, після чого утворюється хімічне з'єднання.

Для того, щоб обрати оптимальні технологічні параметри для нанесення оксидних покриттів за допомогою реактивного іонно-плазмового синтезу, ми використовували вольт-амперні характеристики (ВАХ), які вимірювались за допомогою такої схеми: за допомогою дільника напруги та послідовно під'єданого резистора з малим опором з магнетрону знімались значення напруги і току. Отриманий сигнал оброблювався АЦП, а потім надходив до комп'ютера.

Були виміряні ВАХ магнетронного розряду з мішенню із алюмінію для чистого аргону та для різних потоків кисню. Було виявлено, що на кривих залежності напруги від току, при наявності кисню, присутній ефект гістерезису S-типу. З ростом газопотоку кисню криві зміщуються в область більшого току. Також були отримані ВАХ магнетронного розряду в аргоні з мішенню із танталу. При наявності кисню присутній ефект гістерезису N-типу. З ростом газопотоку кисню криві зміщуються в область великої напруги і малих токів.

Параметри синтезованих покриттів були досліджені різними методами. Рентгенівська дифрактограма показала, що покриття мають низьку степінь кристалічності. Але після отжигу при $800^\circ C$ у Al_2O_3 з'явилася кристалічна фаза.

Вивчення трібіологічних властивостей показало, що найбільш стійким к зносу є композиційне покриття з AlN/Al_2O_3 , а також, що Ta_2O_5 має високі діелектричні параметри та однорідну структуру поперечного перерізу з гладким рельєфом. Покриття Al_2O_3 та Ta_2O_5

мають високу поверхневу та фракційну полярність, що покращує ріст кліток з'єднувальної тканини.

Список літератури:

1. Zykova A. Corrosion properties of nitride, oxide and multilayer coatings on stainless steel and titanium-based substrates / [A. Zykova, V. Safonov, J. Walkowich, R. Rogowska and S. Yakovin] // Journal of Physics. - 2010. - № 223. с. 1-4.
2. Zykova A. Surface parameters modification by multilayer coatings deposition for biomedical applications. / [A. Zykova , V. Safonov , O. Virva , V. Luk'yanchenko , J. Walkowich , R. Rogowska, S. Yakovin] // Journal of Physics. - 2010. - № 223. с. 1-4.

Optimal efficiency of thermoelectrics based on one-dimensional transport of spin-polarized electrons in external magnetic field **Оптимальна ефективність термоелектричної істери на основі** **одновимірного транспорту поляризованих за спином** **електронів у зовнішньому магнітному полі** *Зубов Ю. Д. (науковий керівник – І. В. Криве)*

At present, in order to solve the climate crisis, thermoelectrics might be adequate replacement of steam engines. Efficiency of thermoelectric systems drastically increases as the size of the system decreases. Thus, molecular transistor as a spintronic device might be an acceptable model of high efficient thermoelectric system.

In this model, the quantum dot is coupled to two magnetic leads where electrons are partially spin-polarized. The source and drain electrodes have different chemical potentials (due to bias voltage) and are kept at different temperatures. When electrons in the electrodes are fully spinpolarized (what is the case of half-metals), the electron one-dimensional transport in this system is possible only in the presence of external magnetic field that induces spin precession. If spin polarization is partial, there are two electron transport channels, (i) “direct” (without spin-flip) and (ii) arising due to spin-flips caused by magnetic field.

We analytically calculated dependences of Onsager matrix coefficients on the parameters of the system (external magnetic field, molecule/electrode coupling energies $\Gamma_{S/D}$, and gate voltage). This new type of thermoelectric systems have been compared with traditional transistors which have Breit – Wigner transmission coefficient. We found optimal conditions on model parameters under which the system attains the high thermoelectric efficiency.

References:

1. A.V. Parafilo, O.A. Ilinskaya, I.V. Krive, Y.W. Park, Superlattices and Microstructures 88, 72 – 79 (2015).
2. A.N. Pasupathy, R.C. Bialczak, J. Martinek, J.E. Grose, L.A.K. Donev, P.L. McEuen, D.C. Ralph, Science 306, 86 (2004).
3. U. Sivan, Y. Imry(1986) Phys. Rev., B33,551, DOI:http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.33.551
4. Cronin B. Vining, Nature Materials 8, 83 - 85 (2009), doi :10.1038/nmat2361
5. Joseph P. Heremans ; Mildred S. Dresselhaus ; Lon E. Bell ; Donald T.Morelli, Nature Nanotechnology 8, 471– 473 doi:10.1038/nnano.2013.129
6. Gerrit E. W. Bauer, Eiji Saitoh & Bart J. van Wees, Nature Materials 11, 391–399, doi:10.1038/nmat3301
7. D.M.Kennes, D. Schuricht, V.Meden, EPL 102 (2013) 57003, arXiv:1301.3355v2
8. Dmytro Fedorets, Quantum Theory of Nanoelectromechanical Shuttling, Göteborg Chalmers University of Technology and Göteborg University, Department of Applied Sciences, 2004
9. Hongkun Park et al, Nature 407, 57-60 (7 September 2000), DOI: 10.1038/35024031
10. Electronic Transport in Mesoscopic Systems, Purdue University, Indiana,ISBN-13: 9780521599436.

Інтерферометрія наномеханічного резонатора

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

Нещодавно виник великий інтерес до вивчення так званих наномеханічних резонаторів [1], тому що за деяких умов вони себе поведуть аналогічно квантовій дворівневій системі. А саме, за умови зосередження енергії в основній моді коливань наномеханічний резонатор можна описати як систему із двох зв'язаних осциляторів зі слабким зв'язком. Така система в свою чергу аналогічна квантовій дворівневій системі, що дозволяє використовувати її для моделювання динамічної поведінки квантової системи, відомої як кубіт [2]. Динамічна поведінка кубіта включає в себе такі квантово-механічні явища, як неадіабатичне тунелювання Ландау-Зінера та осциляції Рабі, які були вивчені як теоретично так і експериментально [3,4]. Кубіт це квантова дворівнева система, що є основним компонентом для створення квантового комп'ютера, тому вивчення різних видів кубітів, а також, систем які ведуть себе аналогічно кубітам є дуже актуальним.

Ці явища виникають при параметричному резонансі зв'язаних осциляторів. Попередні автори вивчали в наближенні малої амплітуди параметричного збудження (осциляції Рабі) або в наближенні малої частоти параметричного збудження (перехід Ландау-Зінера) [2,3]. Ми розглянули випадок, коли параметричне збудження має велику частоту та велику амплітуду. Ця ситуація відома як проблема Ландау-Зінера-Штюкельберга-Майорана (ЛЗШМ) [5]. Ми чисельно отримали аналог ЛЗШМ інтерферограми на системі з двох зв'язаних осциляторів, яка моделює наномеханічний резонатор.

Список літератури:

1. Я. С. Гринберг, Ю. А. Пашкин, Е. В. Ильичев, Наномеханические резонаторы, УФН 182, 407 (2012).
2. L. Novotny, Am. J. Phys. 78, 1199 (2010); M. Frimmer and L. Novotny, Am. J. Phys. 82, 947 (2014).
3. T. Faust, J. Rieger, M. J. Seitner, J. P. Kotthaus, and E. M. Weig, Nature Phys. 9, 485 (2013).
4. M. J. Seitner et al., arXiv:1609.05023; arXiv:1602.01034.
5. S. N. Shevchenko, S. Ashhab, and F. Nori, Phys. Rep. 492, 1 (2010).

Моделювання кривих блиску астероїдів

Кокорев А.Э. (науковий керівник – доц. Голубов О.А)

За останні 30 років в астрономії астероїдів склалася наступна ситуація: в Сонячній системі були виявлені десятки тисяч астероїдів і обчислені їх параметри орбіти. Однак дані про форму, полюси й періоди обертання наявні тільки для невеликої кількості цих астероїдів (менше 1000), причому в безпосередній близькості візуально спостерігалися лише приблизно 15-ти астероїдів. Дані для інших були отримані шляхом використання різних методів моделювання.

Мета нашої роботи - коротко розглянути деякі з методів, за допомогою яких можна заповнити цю прогалину в наших даних, а також розробити програму з вирішення прямої задачі - побудови модельної кривої блиску за вже відомою формою й оптичними властивостями поверхні астероїда.

Методи моделювання форми астероїдів, розглянуті в роботі:

- 1) Метод покриття зірок [1].
- 2) Радарний метод [2]
- 3) Метод інверсії кривих блиску [3]

Також розглянуті можливі варіанти закону розсіяння світла для використання у останньому методі. Вибір був зроблений на користь комбінації законів Ломмеля-Зеелігера та Ламберта [4] як компромісного варіанту між простотою та реалістичністю результатів.

Ми представляємо нашу програму для перевірки відповідності модельної форми астероїда реальним даними, отриманим спостереженням за астероїдом. Необхідні наступні вхідні параметри: сама форма астероїда як набір координат всіх вершин і спосіб комбінації їх в трикутні фасетки; координати полюса обертання, період обертання, ефемериди Сонця і Землі. На виході ми отримуємо модельну залежність освітленості астероїда від часу, у порівнянні з реальною кривою блиску.

Для всіх астероїдів, що ми відібрали для перевірки роботи програми було отримано задовільне узгодження модельної й реальної кривої блиску за амплітудою, для більшості кривих блиску - також збіг за фазою обертання. Деякі невідповідності за фазою спостерігалися для кривих блиску, що були зняті при великих фазових кутах і кутах аспекту. Як тільки ця помилка буде усунена, програма може бути використана для зв'язку будь-коли отриманих кривих блиску для даного астероїда в єдину шкалу часу. Отже, це дозволить уникнути калібрування кривих блиску при майбутніх спостереженнях цього астероїда.

Список літератури:

1. Āurech J., Kaasalainen M., Herald D., et al. Combining asteroid models derived by lightcurve inversion with asteroidal occultation silhouettes // Icarus, 214 – 2011. – p.652.
2. Ostro S.J., Hudson R.S., Benner L.A.M., et al. Asteroid Radar Astronomy // Asteroids III – 2002 – p.151.
3. Viikinkoski M., Kaasalainen M., Āurech J. ADAM: a general method for using various data types in asteroid reconstruction //Astronomy & Astrophysics, Volume 576 – 2015 – A8.
4. Kaasalainen M., Torppa J., Muinonen K. Optimization Methods for Asteroid Lightcurve Inversion II. The Complete Inverse Problem // Icarus 153 – 2001. – P. 37–51.

Рух швидких заряджених частинок в орієнтованому кристалі

Корюкіна В.Д. (науковий керівник – проф. доктор фіз.-мат.наук Шульга Н.Ф.)

У даній роботі розглянуті деякі теоретичні аспекти руху і розсіювання швидких частинок в безперервному потенціалі

кристалічної ґратки в наближенні класичної теорії. Зокрема, були вивчені:

- допустимість розгляду даного питання з точки зору класичної теорії [1,9];
- отримання рівнянь руху для часток у даній задачі [1,2,5-8];
- способи подання потенціалу кристалічної ґратки [1-3];
- райдужне розсіювання як явище, пов'язане з рухом і розсіюванням швидких частинок у кристалі [4, 10-12].

Як приклад було розглянуто проходження електронів енергії 10 МеВ крізь кристал кремнію, орієнтований віссю $\langle 100 \rangle$ під малим кутом до налітаючого пучку електронів.

З метою моделювання руху частинок в безперервному потенціалі кристала була написана комп'ютерна програма на основі адаптованого чисельного методу. У роботі наведений опис адаптованого чисельного методу і підстави для його використання. За допомогою комп'ютерного моделювання, були отримані характерні траєкторії руху електронів у кристалі та характерні функції відхилення. Аналіз результатів показав можливість явища райдужного розсіювання в розглянутій задачі.

Отримані в даній роботі результати можуть бути використані для подальшого дослідження особливостей руху та розсіювання швидких частинок у потенціалі кристалічної ґратки з позиції теорії катастроф [13-15].

Список літератури:

1. Ахизер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. – М.: Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1993. – 344с.
2. Шульга Н. Ф. Некоторые вопросы теории рассеяния быстрых частиц в веществе и во внешних полях. – К.: Изд. «Наукова думка», 2010.–197 с.
3. Линдхард, Й. Влияние кристаллической решетки на движение быстрых заряженных частиц. – УФН, 1969. т. 99, вып. 2, с. 249-296.
4. Neskovic. N. Rainbow effect in ion channeling. Physical review. В, Condensed matter 33(9):6030-6035 · June 1986
5. Джексон Дж. Классическая электродинамика / пер. с англ. Воскресенского Г. В., Соловьева Л. С., под ред. Бурштейна Э. Л., М.: Изд "Мир", 1965. - 703 с.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т.II. Теория поля. - 8-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 536 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т.I. Механика. - 5-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 224 с.

8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). - 4-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1989. - 768 с.
9. Бережной Ю. А. Лекції з квантової механіки: навчальний посібник / Ю. А. Бережной. – К.: Видавництво «Майстер-клас», 2008. – 448 с.
10. Миннарт М. Свет и цвет в природе / под ред. Куликова Г. С. М.: Изд. «Наука», 1969. – 360 с.
11. Солимено С., Крозиньяни Б., Ди Порто П. Дифракция и волновое распространение оптического излучения / пер. с англ. Московца Е.В., Тяхта В.В., под ред. Летохова В.С., М.: Изд. "Мир", 1989. - 664 с.
12. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве / пер. с англ. под ред. Яковлева В. П. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 760 с.
13. Арнольд В.И. Теория катастроф. - 3-е изд., доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 128 с.
14. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения - М.: Мир, 1980. — 607 с.
15. Кравцов Ю.А., Орлов Ю.И. Каустики, катастрофы и волновые поля. Успехи физических наук т. 141, вып. 4, декабрь 1983 г. - с. 591-624

Дослідження пептидного складу та спектрофлуориметричних властивостей екстракту кріоконсервованих фрагментів серця поросят

Крайня Т.О. (науковий керівник – н.с. Рогоза Л.А.)

На даний час накопичено значний матеріал, який свідчить про важливу роль низькомолекулярних пептидів у процесах регуляції гомеостазу. Також показана висока біологічна активність екстрактів кріоконсервованих фрагментів органів свиней та поросят при експериментальних патологічних станах. Однак для встановлення можливого механізму дії екстрактів необхідно визначити їх склад [1].

Мета роботи: дослідження екстракту кріоконсервованих фрагментів серця поросят на вміст речовин пептидної природи та одержання спектрофлуориметричних характеристик екстракту.

В роботі використовувались наступні методи дослідження: спектрофлуориметричний – для одержання спектрофлуориметричних характеристик про вміст речовин пептидної природи в екстракті; спектрофотометричний (адсорбційний) – для визначення особливостей складу досліджуваного екстракту; метод матрично-активованої лазерної десорбції/іонізації – для визначення молекулярно-масового розподілу пептидів в екстракті; метод електрофорезу в денатуруючих умовах – для

розділення екстракту на низькомолекулярні фракції за їх масами [2,3,4]. Екстракти одержували з кріоконсервованих в присутності ПЕО-1500 фрагментів серця поросят, інкубуючи їх в фізіологічному розчині 60 хвилин при кімнатній температурі. Для видалення термолабільних протеїнів супернатант прогрівали на водяній бані 15 хв і очищували, пропускаючи через фільтрувальний папір.

Після проведення електрофоретичного дослідження екстракту методом трицин-ДДС-На-ПААГ одержано чітке розділення фракцій складових екстракту по їх масам відповідно до їх рухливості в гелі. На електрофореграмах екстракту кріоконсервованих фрагментів серця поросят проведеного методом електрофорезу в ПААГ в денатуруючі умови зареєстровано 8 фракції пептидів в діапазоні м.м. від 1000 до 14 000.

За даними денситометричного аналізу електрофореграми ній було виділено 8 смуг, кожна з яких може відвідати як конкретним пептидам, так і цілому набору різних молекул, що зконцентрувались і в одній смузі (фракції) і мають приблизно однакову масу.

Мас-спектрометрично методом МАЛДІ зареєстровано іони речовин пептидної природи з m/z 4 739; 4 964; 5 890; 6 705; 7 505; 8 569; 9 813. При цьому іони вище 10 000 m/z не детектувалися.

Встановлено, що спектр флуоресценції екстракту знаходиться в області 290– 450 нм. Максимуми спектрів флуоресценції екстракту при збудженні світлом з довжинами хвиль 280 нм і 296 нм реєструються на довжинах хвиль 342 та 344 нм відповідно, а максимуми на спектрах поглинання в діапазоні сканування 200-600 нм відповідають пептидним зв'язкам та залишкам основних флуорофорів.

Одержані результати можуть бути використані для стандартизації екстрактів серця поросят та з'ясування механізму їх біологічної дії.

Список літератури:

1. Говорун В.М. Протеоміка и пептидоміка в фундаментальных и прикладных исследованиях / В.М. Говорун , В.Т. Иванов // Биорганическая химия. – 2011. – Том 37, № 2. – С. 199-201.
2. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии // М.: Мир, 1986. – 496 с.
3. Garfin D. E. One-dimensional gel electrophoresis / D. E. Garfin // Methods in Enzymology. – 2009. – V.463. – С. 497–513.
4. Лебедев А.Т. Основы масс-спектрометрии белков и пептидов / А.Т. Лебедев, К.А. Артеменко, Т.Ю. Самгина – Москва: Техносфера, 2012. – с.14 -176, ISBN 978-5-94836-334-9.

Природа гамма-спалахів

Кройс І.К. (науковий керівник – доц. Голубов О.А)

Описані результати спостережень гамма-спалахів та проаналізовані методи їх реєстрації. Також розглянуті деякі теоретичні моделі гамма-спалахів і їх післясвітіння. Гамма-спалахи вже майже півстоліття спостерігаються космічними телескопами як імпульси гамма-випромінювання тривалістю від долі секунди до декількох хвилин.[1]

Ізотропне розподіл гамма-спалахів на небесній сфері свідчить про їх позагалактичне походження. Ця гіпотеза була підтверджена, коли завдяки спостереженню рентгенівського післясвітіння вдалося зв'язати гамма-спалахи з певними галактиками. Джерела гамма-спалахів виявилися віддаленими від нас на величезні відстані, і велика видима яскравість гамма-спалахів означає, що виділяється в них колосальна енергія, порівнянна з енергією спокою зірки.

Основними теоретичними моделями гамма-спалахів в даний час вважаються дуже енергійні вибухи наднових (гіпернових) і злиття компактних об'єктів (двох нейтронних зірок або нейтронної зірки і чорної діри).[2] При цьому формується релятивістський фajerбол, випромінювання якого і породжує гамма-спалах. Скоріш за все, гіпернові відповідають за довгоперіодичні гамма-спалахи, а злиття компактних об'єктів - за короткоперіодичні.[3]

Одним з найважливіших етапів в розумінні досліджуваного явища можна вважати декілька необхідних умов, які були взяті до уваги при написанні даної роботи, а саме:

1) в момент генерації космологічного гамма-спалаху ми стикаємося з фізичними умовами, за своїми характеристиками, які нагадують умови в ранньому Всесвіті;

2) при гамма-спалаху виділяється енергія порядку $10^{51} - 10^{54} \text{ эрг}$ за характерний час порядку 10с , що в електромагнітному діапазоні є нетривіальним і вимагає спеціального пояснення.[4]

Спроби вирішення проблеми породили багато нових ідей і пропозицій, які можуть плідно розвиватися як стосовно гамма-спалахів, так і самі по собі. Все більш потужний арсенал засобів використовується для спостереження цього загадкового космічного явища. Гамма-спалахи є ще більш віддаленими, ніж квазари - вони дійсно «вибухи з минулого».

Список літератури:

1. Sokolov V.V., Fatkhullin T., Castro-Tirado A.J., *et al.*, 2001a, A&A, 372, 438.
2. Dezalay *et al.*, The Hardness-Duration Diagram of Gamma-Ray Bursts, 1996.
3. Woosley and Janka, The physics of core-collapse supernovae, 2005.
4. Meszaros P, ReesMJ Proc. of Gamma-Ray Bursts (EdsGJ Fishman *et al.*) (New York: AIP, 1994) Vol. 307, 505.

Описания катодного слоя тлеющего разряда с помощью законов Чайльда - Ленгмюра в углекислом газе

Опис катодного шару тліючого розряду за допомогою законів Чайлда - Ленгмюра в вуглекислому газі

Кроль Г.Г. (науковий керівник – проф. Лісовський В.А.)

Тлеющий разряд постоянного тока в CO_2 широко используется для накачки углекислотных газоразрядных лазеров. В последние годы наблюдается растущий интерес к плазменной конверсии парниковых газов, основным из которых является CO_2 . Кроме того, CO_2 входит в состав различных атмосфер на планетах Солнечной системы и спутников. В литературе рассматривается возможность использования CO_2 в качестве топлива для космических двигателей из-за его наличия в различных космических средах.

Целью работы было выяснить, какой из законов Чайльда-Ленгмюра [1–7] (бесстолкновительный, а также два столкновительных – с постоянными длиной свободного пробега и подвижностью положительных ионов) могут применяться для описания катодного слоя в CO_2 .

Эксперименты проводились в коротких трубках, в которых разряд состоял только из катодного слоя и небольшой части отрицательного свечения. Благодаря этому падение напряжения на катодном слое было примерно равно разности потенциалов между электродами, которая может быть легко измерена. Диапазон давлений газа составлял от 0,05 до 1 Торр

Все три закона Чайльда-Ленгмюра можно записать в общем виде

$$I = C \cdot \frac{U^m}{d^n},$$

где $I = J \cdot S$ - разрядный ток, S – площадь катода. Отметим, что показатели степени m и n в этих законах различны.

В данной работе одновременно были измерены разрядный ток I , падение напряжения на катодном слое U и толщина катодного слоя d для различных фиксированных значений давления углекислого газа. Далее с помощью полученных результатов были построены зависимости тока I от отношения U^m/d^n . Если для одной из пар показателей степени m и n зависимость $I(U^m/d^n)$ будет хорошо описываться прямой линией, проведенной из начала координат, то тот закон Чайльда-Ленгмюра, которому соответствует данная пара m и n , является пригодным для описания катодного слоя тлеющего разряда.

В результате получено, что во всем исследованном нами диапазоне разрядных условий характеристики катодного слоя подчиняются только закону Чайльда-Ленгмюра с постоянной подвижностью ионов.

Список літератури:

1. Langmuir I. The Interaction of Electron and Positive Ion Space Charges in Cathode Sheaths // *Phys. Rev.* – 1929. – Vol.33, No.6. – p. 954–989.
2. Lisovskiy V.A. Applicability of Child–Langmuir collision laws for describing a dc cathode sheath in N_2O / V.A. Lisovskiy, E.P. Artushenko, V.D. Yegorenkov // *J. Plasma Physics* – 2014. – vol. 80. – part 3, p. 319–327.
3. Lisovskiy V. Validating the collision-dominated Child–Langmuir law for a dc discharge cathode sheath in an undergraduate laboratory/ V. Lisovskiy, V. Yegorenkov // *Eur. J. Phys.* – 2009. – Vol. 30, No. 6. – p. 1345–1351.
4. Lisovskiy V.A. The Child-Langmuir collision laws for the cathode sheath of glow discharge in nitrogen/ V.A. Lisovskiy, V.A. Derevianko, V.D. Yegorenkov // *Vacuum* – 2014. – vol.103, p. 49–56.
5. Child C.D. Discharge From Hot CaO // *Phys. Rev.* – 1911. – Vol. 32, No.5. – p. 492511.
6. Budtz-Jorgensen C.V. Energy spectra of particles bombarding the cathode in glow discharges/ C.V. Budtz-Jorgensen, J. Bottiger, P. Kringhoj // *Vacuum* – 2000. – Vol. 56. – p. 9–13.
7. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука. – 1987. – 592 с.

**BYORP-эффект, вызванный затмениями асинхронных
двойных астероидов**
**BYORP-ефект, викликаний затемненнями асинхронних
подвійних астероїдів**

Луначек О.В. (науковий керівник – доц. Голубов О.А.)

Давление света даёт определённый вклад во вращательное движение астероидов. Имеет место так называемый YORP-эффект. YORP-эффектом для одного астероида называется явление, при котором собственная угловая частота астероида увеличивается, как следствие действия давления света на асимметричную поверхность. Простейшим примером такой асимметричности является пропеллер Рубинкама [1] – две треугольных призмы, стоящих основаниями на экваторе и ориентированных зеркально друг относительно друга, катеты основания которых направлены по меридиану и по экватору. YORP – эффект в этой модели возникает из-за того, что меридианальный катет создаёт в $\sqrt{2}$ раз больший момент сил относительно оси астероида, чем гипотенуза.

Существуют более сложные версии данного явления, например, BYORP (binary YORP). Этот эффект проявляется в изменении момента импульса двойных астероидов, также под действием сил светового давления [2]. Двойные астероиды классифицируются в зависимости от того, как соотносятся угловые скорости осевого вращения астероидов ω_1 и ω_2 и угловая скорость их взаимного орбитального вращения ω_{12} :

- 1) Дважды синхронный (бисинхронный): $\omega_1 = \omega_{12} = \omega_2$;
- 2) Синхронный (единожды синхронный): $\omega_1 \neq \omega_{12} = \omega_2$;
- 3) Асинхронный: $\omega_1 \neq \omega_{12} \neq \omega_2$ [3].

Обычно изучается BYORP, действующий на единожды и дважды синхронные системы, а для асинхронных систем его полагают равным нулю, так как он должен исчезать после усреднения по фазе вращения астероидов. Тем не менее, если брать в расчёт, что малый астероид некоторое время пребывает в затмении большего, получается, что средний момент силы, действующей на астероид на протяжении орбитального периода, является ненулевым.

В работе проведены теоретические расчёты по усреднению углов, задающих положение пропеллера, на астероиде, с целью получить среднее значение момента сил по каждому из них. Также проведена численная оценка момента сил. Хотя расчеты выполнены только в простейшей модели пропеллера Рубинкама, они уже сейчас позволяют установить существование BYORP для асинхронных двойных астероидов, а также выявить связь между моментами сил YORP-эффекта и асинхронного BYORP.

Список литературы:

1. Rubincam, D. P., “Radiative Spin-up and Spin-down of Small Asteroids” (2000). Icarus, 148, 2.
2. Cuk, M., Burns, J. A., “Effects of thermal radiation on the dynamics of binary NEAs” (2005). Icarus, 176, 418.
3. Margot, J. L., Pravec, P., Taylor, P., Carry, B., Jacobson, S. “Asteroid Systems: Binaries, Triples, and Pairs” (2015). Asteroids IV, 355.

Исследование процесса взаимодействия ультрарелятивистских нейтрино и реликтовых нейтрино в области Z-бозонного пика Дослідження процесу взаємодії ультрарелятивістських нейтрино та реліктових нейтрино в області Z-бозонного піку

Люль М.П. (науковий керівник – д. ф.-м н. Корчин О.Ю.)

Несомненно, в современной физике очень актуальными являются вопросы, связанные с эволюцией Вселенной и ее структурой. В свою очередь, исследование процессов взаимодействия нейтрино сверхвысоких энергий с космическим излучением могут ответить на многие из них. Целью данной работы является изучение реакций с участием ультрарелятивистских нейтрино в процессе их распространения во Вселенной. Для выполнения этой цели проанализированы существующие теоретические и экспериментальные данные в области физики нейтрино. Рассмотрены возможные процессы взаимодействия ультрарелятивистских нейтрино с реликтовыми фотонами. Согласно оценкам [1, 2], сечения таких реакций составляют:

$$\sigma(v + \gamma \rightarrow v + \gamma) \approx 10^{-66} \text{ см}^2,$$

$$\sigma(v + \gamma \rightarrow v + \gamma + \gamma) \approx 10^{-52} \text{ см}^2,$$

$\sigma(v + \gamma \rightarrow v + e^+ + e^-) \approx 10^{-47} \text{ см}^2$. Кроме того, проанализированы сечения процессов взаимодействия ультрарелятивистских нейтрино с реликтовыми нейтрино, которые на несколько порядков больше [3, 4, 5]:

$$\sigma_{asym}(v_i + \bar{v}_j \rightarrow l_i + \bar{l}_j) \approx \frac{\pi \alpha^2}{2 \sin^4 \theta_W M_W^2} \approx 10^{-34} \text{ см}^2,$$

$$\langle \sigma(v_i + \bar{v}_j \rightarrow Z^0 \rightarrow f_i + \bar{f}_j) \rangle \approx \frac{4\pi G_F}{\sqrt{2}} = 4.2 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2.$$

На основе проделанного анализа в этих работах сделан вывод о том, что именно взаимодействие с фоном реликтовых нейтрино имеет ключевое влияние на характер распространения ультрарелятивистских нейтрино во Вселенной.

С целью более глубокого анализа происходящих процессов проведен расчет дифференциального сечения взаимодействия нейтрино сверхвысоких энергий с фоновыми реликтовыми нейтрино с образованием фермион-антифермионной пары:

$$v_i + \bar{v}_j \rightarrow Z^0 \rightarrow f_i + \bar{f}_j.$$

В работе [6] было получено сечение:

$$\frac{d\sigma(v_i + \bar{v}_j \rightarrow Z^0 \rightarrow f_i + \bar{f}_j)}{d\cos\theta^*} = \frac{G_F^2 s}{4\pi} \frac{M_Z^2}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2} \cdot (g_L^2 (1 + \cos\theta^*)^2 + g_R^2 (1 - \cos\theta^*)^2).$$

Анализ размерностей данной формулы указывает на неточности, или ошибки. В связи с этим нами был проведен расчет сечения данного процесса, в ходе которого было получено следующее выражение:

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta^*} = \frac{G_F^2 M_Z^4 s}{16\pi} \frac{1}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2} \{g_L^2 (1 + \cos\theta^*)^2 + g_R^2 (1 - \cos\theta^*)^2\}.$$

Сравнивая формулу, полученную авторами работы [6] с выражением, рассчитанным нами, можно сделать вывод о том, что отличия состоят в наличии в нашей формуле дополнительного множителя M_Z^2 , благодаря которому размерность выражения становится правильной, и в числовом множителе.

Список литературы:

1. D. A. Dicus, W. W. Repko Phys. Rev. Lett. 79 569 (1997); hep-ph/ 9703210
2. E. Masso, F. Rota Phys. Lett. B 488 326 (2000); hep-ph/0006228
3. D. Fagrion, B. Mele, A. Salis Astrophys. J. 517 725 (1999); astro-ph/9710029
4. T. J. Weiler Astropart. Phys. 11 303 (1999); hep-ph/9710431
5. P. Bhattacharjee, Sigl. Phys. Rep. 327 109 (2000); astro-ph/9811011
6. S. Yoshida et al. Astrophys. J. 479 547 (1997); astro-ph/9608186

Формування та оптимізація радіаційно- та корозійностійких структур у гетерогенних матеріалах

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

Подальше використання ядерної енергії, розвинення ядерної енергетики та ядерної промисловості неможливі без модернізації паливних і конструкційних матеріалів активної зони ядерних реакторів [1, 2]. Одним з можливих шляхів створення нових атомних матеріалів є застосування нанотехнологій, які останнім часом все активніше застосовуються практично у всіх сферах новітніх технологій. Поширення наноматеріалів та нанотехнологій практично в усіх сферах науки і техніки дозволяє стверджувати, що ці напрями діяльності перетворилися на міждисциплінарну галузь.

Збільшення ефективності та терміну роботи перспективних реакторів на швидких нейтронах вимагає підвищення ступеня вигорання палива до 18-20 % без зниження параметрів теплоносія. При вирішенні цієї проблеми виникає необхідність створення нового класу радіаційно-стійких металевих матеріалів. Одними з таких матеріалів можуть бути сталі, що зміцнені наночастинками оксидів металів. Створення і використання нового класу феритно-мартенситних сталей, зміцнених частинками оксидів нанометрового розміру (ДЗО-сталі),

відповідає глобальному завданню створення конструкційних матеріалів ядерної енергетики з підвищеними властивостями.

Проблема отримання об'ємних ультрадрібнокристалітних матеріалів і тонкодисперсних порошоків металів, сплавів і сполук, що призначені для використання в різних галузях науки, техніки і виробництва, є досить актуальною, оскільки властивості наноструктурних матеріалів якісно різняться від аналогічних показників матеріалів з великими за розмірами структурними характеристиками [3].

Об'ємні наддрібнозернисті матеріали можна отримувати як безпосередньо з об'ємних кристалічних або аморфних матеріалів, так і методами порошкової технології (включаючи компактування і консолідацію) з ультрадисперсних порошоків. Фізико-механічні властивості матеріалів, що створюються за порошковими технологіями, залежать від складу (хімічного та мінералогічного) та структурних характеристик вихідних інгредієнтів (дисперсність частинок, їхня форма, гранулометрія, розподіл за розмірами), значення поверхневої енергії частинок різного розміру та складу.

На кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій (КМРБФТ) опановано низку технологій синтезу наносполук, зокрема нанопорошків. Найчастіше для створення наносполук на кафедрі використовують осадження з колоїдних розчинів та термічне розкладення складних сполук. В доробку науковців КМРБФТ – технології виготовлення нано- чи ультрадисперсних порошоків оксидів ітрію, алюмінію, цирконію, а також частинок суміші оксидів цирконію та ітрію. Ці оксиди останнім часом активно використовуються дослідниками при створенні нових матеріалів з підвищеними радіаційними та корозійними властивостями. В отриманих порошках розміри агломератів становили біля 200 – 250 нм, а розмір окремих частинок в них були в межах 10 – 30 нм.

Для відпрацювання технологій отримання наноматеріалів необхідне розуміння впливу характеристик факторів зовнішнього впливу на структуру одержуваного матеріалу. Експресним методом структурного аналізу може бути звичайна металографія, а також стереологія (кількісна металографія).

Список літератури:

1. Развитие атомной энергетики России и Украины – фактор устойчивого межгосударственного сотрудничества // Материалы совместного совещания-семинара РАН и НАНУ: 21-23 октября 2008 г., ЛОК «Колонтаево» (г. Электросталь). – М.: Наука, 2009. – 357 с.
2. В.Н. Воеводін, І.М. Неклюдов. Еволюція структурного стану і радіаційна стійкість конструкційних матеріалів // Київ.: «Наукова думка». - 2006. - 376 с.
3. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Воеводін В.М., Береснев В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболев О.В., Удовичський В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чижкало В.О. // Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. – 2014. – 323 с.

Optimization of electron storage ring focusing system for the maximum of injection efficiency

Оптимізація структури фокусування накопичувального кільця електронів для одержання максимальної ефективності інжекції

Макарчук О.П. (науковий керівник – к.ф.-м.н. Щербаків О.О.)

The using of intense X-ray beams offers great opportunities for investigations in a high energy physics, nuclear physics, medicine, biology etc. The such source is X-ray generator “NESTOR” [1] located in the National Science Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology”. The experimental facility is accelerating storage complex, which contains of a lot of systems and subsystems. The aim of this facility is to create an intensive source of gamma radiation by inverse Compton scattering of the laser beam on the relativistic electron beam [1].

This paper is devoted to study and optimize of the storage ring focusing system by computer modeling program – MAD-X [3]. As well the studying was satisfied to find out effect of errors in lattice of magnetic elements of the storage ring for the electron beam dynamics.

An electron beam is injected into the storage ring by pulsed magnet (indeflector) at the distance of 16 mm from the equilibrium orbit. Horizontal measure of physical aperture in the storage ring is ± 38 mm and vertical aperture is ± 13 mm. The gap between the indeflector electrodes is 8 mm.

Therefore vertical aperture in the injection point is ± 4 mm. In the injection point horizontal aperture is ± 20 mm, this leads to beam's shift and it's loss on the vacuum chamber.

Random errors were set for 20 quadrupole magnetic lenses and 4 bending magnets during the computer simulation. These errors led to some standard deviation of the beam relatively to the equilibrium orbit.

The simulation showed that with given errors about 70% of cases the storage of particles does not occur – particles are lost rather quickly (before the 60th turn) on physical apertures, including the aperture of inflector (80% of all lost particles). The storage exists in 30% of cases. The maximum achieved efficiency of storage is 25%, but on the average it is 12%.

The results of this work will be used to increase the electron injection efficiency into the X-ray generator “NESTOR”.

References:

1. Zelinsky, V. Androsov, O. Bezditko, et al, The First Results of the NESTOR Commissioning , <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC2013/papers/mopea063.pdf>
2. E.V.Bulyak, P.I.Gladkikh, Yu.Grigor'ev, et al, - “A Compact X-ray Source Based on Compton Scattering”, Nuclear Instruments & Methods, A467-468 (2001), 88-90
3. H. Grote, F. Schmidt “The MAD-X Program. User's Reference Manual”, CERN – AB-2004-027-ABP

Концепція реактору на швидких нейтронах з рухомих відбивачем

Маловиця М.С. (науковий керівник – канд. фіз.-мат. наук Фомін С.П.)

З кожним роком дедалі суттєвішим стає питання зменшення енергоресурсів, і одною з можливих відповідей є використання ядерного палива. Але низка катастроф світового характеру, які сталися на атомних електростанціях, показали, що при використанні енергії ядерного розпаду необхідно дотримуватись найсуворіших заходів безпеки, не тільки під час роботи, але і після закінчення паливного циклу оскільки існує небезпека викрадення радіоактивних продуктів.

Ядерні реактори можуть працювати на швидких ($E > 0.1$ MeV) і теплових нейтронах ($E \sim 0.025$ eV). В цій роботі мова йдеться про реактори на швидких нейтронах, оскільки вони більш перспективні для довгострокового використання і можуть мати порівняно невеликі розміри.

Група науковців з японської фірми Toshiba запропонувала проект реактору [1] на швидких нейтронах, в якому особлива увага приділяється запобіганню виникнення аварії за рахунок вибухової ланцюгової реакції. Для цього, вони планують використовувати декілька запобіжних заходів, одним з них є рухомі відбивачі нейтронів, які рухаються по вертикалі, і за рахунок їх підйому вгору, реактор доходить до критичності необхідної для роботи. У разі виникнення аварійної ситуації ці відбивачі пересувають у найнижчу позицію, таким чином реактор стає підкритичним і ланцюгова реакція гасне.

Слід зазначити, що використання рухомих відбивачів дає змогу не тільки запобігти виникненню значної аварії, але й робить можливим використання реактору на протязі 30 років без перезавантаження палива. Насправді, рухомі відбивачі компенсують реактивність реактору, таким чином можливо на протязі довгого часу компенсувати зменшення критичності при вигорянні за рахунок пересування відбивачів. Відсутність перезавантаження палива є важливим фактором оскільки це зменшує витрати доставки палива у віддалені регіони і зменшує вірогідність викрадання радіоактивних речовин.

Принципи і методи розрахунків, що використовуються у випадку реактору Toshiba можуть бути використані при розрахунку реактору працюючого у самопідтримному режимі на хвилі ядерного горіння [2, 3]. У цьому випадку виникає можливість керування потужністю реактора. Також цікавим є використання матеріалу HT-9 [4] у оболонках палива, оскільки розрахунки та експерименти [1, 4] показують, що цей матеріал може знаходитися у активній зоні на протязі значного часу без суттєвих деформацій.

Список літератури:

1. Design of the 4s reactor/ Yasushi Tsuboi et. al., Nuclear technology, vol. 178, may 2012

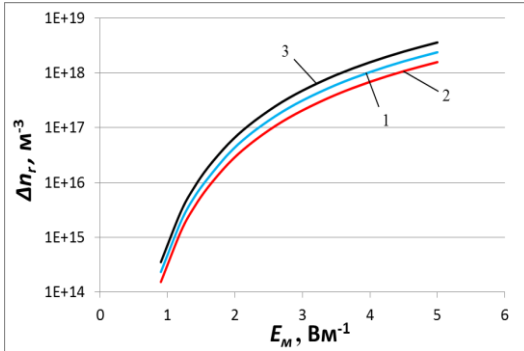
2. Л.П. Феоктистов, Анализ одной концепции физически безопасного реактора, Препринт ИАЭ-4605/4 (1988).
3. 10. S.P. Fomin, A.S. Fomin, Yu.P. Mel'nik, V.V. Pilipenko, N.F. Shul'ga, Safe Fast Reactor Based on the Self-Sustained Regime of Nuclear Burning Wave, Proceedings of Global 2009 Paris, France, September 6-11, 2009, Paper 9456
4. Irradiation effects of ht-9 martensitic steel/ Yiren Chen, Nuclear Engineering and Technology, Vol. 45, Iss. 3, June 2013, pp. 311–322

Феноменологічне моделювання генерації надтеплових електронів при перемиканні силових ліній магнітного поля в токамаці east
Марчук Ю.М. (науковий керівник – Панкратов І.М.)

Втікаючі електрони являють собою потенційну загрозу для безпечної роботи великих токамаків, особливо для токамака ІТЕР [1, 2].

В експерименті з електронами втікачами [3] на токамаці EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) у омічному розряді #28957 спостерігалось незвичайне явище, в якому практично миттєво змінювалась інтенсивність синхротронного випромінювання електронів втікачів та форма його плями, що співпадало з ступінчастим зростанням надтеплого випромінювання (ECE сигнал) та спалахами МГД активністю плазми ($m/n=2/1$ spikes, Mirnov coils). Максимальна енергія електронів втікачів у розряді досягала $E \approx 30$ МеВ. Параметри плазми: великий радіус плазми $R = 1,86$ м, малий радіус $a = 0,45$ м, тороїдне магнітне поле $B_0 = 2$ Т, струм плазми $I_p = 250$ кА, усереднена густина плазми $\langle n_e \rangle = 2,2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, температура електронів у центрі плазми $T_e = 0,55$ кеВ.

В експерименті [3] електрони втікачі були локалізовані біля $q = 2$ раціональної магнітної поверхні (q - запас стійкості плазми). В роботі [4] було продемонстровано, що генерація втікаючих електронів біля магнітної поверхні $q = 2$ була спусковим механізмом для розвитку МГД нестійкості («розривної» або по-іншому тірінг-моди) і миттєвих змін в поведінці самого пучка втікаючих електронів. Ступінчасті переходи в сигналах ECE були пов'язані з різким збільшенням надтеплових електронів під час спалахів МГД активності плазми. Пояснення в роботі [5].



В представленій роботі знайдена залежність миттєвих змін густини надтеплових електронів Δn_e від максимальної амплітуди електричного поля $E_{//\text{max}}$, яке індукується під час спалахів МГД активності (див. рис.). Наведені результати для трьох значень тривалості спалаха МГД активності, вони узгоджені з експериментальними значеннями [4]. (для кривої 1 час сплеску дорівнює 2.5 мс, для кривої 2 він дорівнює 1.7 мс, для кривої 3 - 3.75 мс). Отримані результати будуть використанні для подальших порівнянь з експериментами на токамаці EAST.

Список літератури:

1. ITER Physics Basis, Chapter 3: MHD stability, operational limits and disruptions, Nuclear Fusion 39, 2175 (1999).
2. Progress in the ITER Physics Basis, Chapter 3: MHD stability, operational limits and disruptions, Nuclear Fusion 47, S128 (2007).
3. R. J. Zhou, L. Q. Hu, E. Z. Li, M. Xu, G. Q. Zhong, L. Q. Xu, S. Y. Lin, J. Z. Zhang, and the EAST Team, Plasma Phys. Control. Fusion 55, 055006 (2013).
4. I. M. Pankratov, R. J. Zhou, L. Q. Hu, Phys. Plasmas 22, 072115 (2015).
5. D. Biskamp, Magnetic Reconnection in Plasmas (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).

Tumor and healthy tissues differentiation method in radiation therapy planning

Метод диференціації тканини пухлини та здорових тканин при плануванні променевої терапії

Мироненко А.І. (науковий керівник - д-р мед.наук Старенький В. П.)

One of the most important tasks in the field of diagnosis and therapy of cancer is the most accurate determination of localization of tumor and

anatomical structures, which are adjacent to the affected organ, on obtained CT-images. The more precisely will be differentiated the tumor, the more effective further radiation therapy will be planned and the less complications patient will receive in the future.

The main problem while planning radiation therapy after holding of radiation diagnostics is an objective evaluation of the obtained images. On CT-images it can be rather complicated to differentiate the biological structures and to assess the boundary between the pathological formation and the surrounding healthy tissues. This assessment is rather subjective and can vary while analyzing the images by different doctors.

Nowadays there are different mathematical methods for medical images segmentation to improve structures visualization on CT-images. The use of such methods can serve as a basis for creating of automated expert systems. Such systems are based on the use of information about the biological features of tumors and healthy tissues structure. With expert systems diagnosis and planning of radiation therapy can be carried out more objectively and accurately and the probability of errors that occurs when doctor only visually evaluates images can be excluded. In radiology segmentation is the main task for pathological and healthy areas isolation [1]. Segmented image is an image, which is divided into a certain number of areas that are homogeneous with respect to some criteria. All pixels in a dedicated segment are similar in certain characteristics or properties such as color, brightness or texture.

The main goal of the current work is considering the applicability of the Mean Shift method for medical images segmentation and biological structures contouring.

For achieving this goal the possibility of the Mean Shift method applying was analyzed and the main algorithms for the realization of CT-images segmentation and biological structures contouring procedure by the Mean Shift method were obtained. Algorithm of the Mean Shift method is based on the calculation of the gradient of point distribution density in space [2]. That is why its use for segmentation of CT-images which are grayscale and don't have sharp edges as usual images is very efficient in comparison with other methods for images segmentation and objects recognition.

Algorithms obtained in the current work can serve as a base for development of expert computer systems for making objective and accurate decisions in radiology. It will allow in the future carrying out the operational computer analysis of data on specific pathologies. Segmented image greatly simplifies recognition of objects and determination of the boundaries, therefore Mean Shift method which was analyzed in the current work can be very useful in radiology for the separation of normal and pathological regions.

References:

1. Låthen Gunnar "Segmentation Methods for Medical Image Analysis", Thesis № 1434. Linköping University. - Linköping. : LiU-Tryck, 2010. p. 43.
2. Копенков, В.Н. Современные методы и информационные технологии тематической обработки данных ДЗЗ: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 2010. – 50 с.

Моделирование источника плоской волны в плазме Моделювання джерела плоскої хвилі у плазмі

Наконецний М.О. (науковий керівник - доц. Павленко І.В.)

Метод Конечных Разностей во Временной Области (КРВО) широко используется для изучения распространения электромагнитных волн через разнообразные среды [5]. Этот метод популярен благодаря своей простоте и его способности точно моделировать распространение электромагнитных волн в режиме реального времени. Это может быть полезно при решении неоднородных задач или в случае моделирования широкополосных сигналов. Одним из недостатков метода является численная дисперсия, которая на практике ограничивает достоверный размер вычислительного объема. Волны, распространяющиеся через большое количество ячеек сетки, искажаются, что приводит к возникновению погрешностей моделирования. Задача минимизации искажения падающей волны и погрешностей численного моделирования, является очень актуальной [1-6].

В задачах, где используется падающая плоская волна, например для задачи рассеяния, поле падающей волны задается либо на

виртуальной поверхности, охватывающей объект, либо в качестве источников тока на виртуальной антенне. Обычная процедура в обоих случаях использует аналитическое выражение для падающего поля. Это аналитическое выражение не удовлетворяет дисперсионному уравнению разностной схемы, что приводит к остаточным ошибкам из-за дисперсии. Один из способов частично устранить эту погрешность – позволить плоской волне распространяться в одномерной (1-D) КРВО ячейке с фазовой скоростью, скорректированной в соответствии с законом дисперсии для КРВО и использовать процедуру интерполяции табличных значений [5], [6].

Помимо этого в нашей работе с методом КРВО используется поверхность Гюйгенса как виртуальный источник плоской волны. Эта поверхность позволяет разделить поля падающей волны и волны, рассеянной от объекта.

В работе получены аналитические поправки к дисперсионному уравнению при численном моделировании распространения электромагнитных волн в холодной плазме. Точность численной дисперсии получена как функция величин пространственного и временного шагов численной сетки. Выполнено сравнение аналитических и численных значений фазовой и групповой скоростей волны. Разработан механизм дисперсионной компенсации при моделировании распространения плоской волны под произвольным углом к осям числовой сетки. Создана численная модель плоской волны, которая распространяется под произвольным углом как к осям численной сетки, так и к границе раздела сред в задаче (плазма - диэлектрик в нашем случае).

Список литературы:

1. P. G. Petropoulos, "Phase error analysis control for FDTD methods of second and fourth order accuracy," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 42, pp. 859–862, June 1994.
2. J. Svirgelj and R. Mittra, "Grid dispersion error using the nonuniform orthogonal finite-difference—Time domain method," Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 10, no. 4, pp. 199–201, Nov. 1995.

3. J. A. Pereda, O. García, A. Vegas, and A. Prieto, "Numerical dispersion and stability analysis of the FDTD technique in lossy dielectrics," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, pp. 245–247, July 1998.
4. K. Yee, "A numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 14, pp. 302- 307, 1966.
5. Taflove and S. C. Hagness, Computational Electromagnetics: Finite-Difference Time- Domain Method, 3rd. ed. Norwood, MA: Artech House, 2005.
6. T. Kashiwa, N. Yoshida and I. Fukai, "The Phase Velocity Error and Stability Condition of the Three-Dimensional Nonstandard FDTD Method", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 36, pp. 661- 664, 2002.

Modeling the beam hardening effect CT in GEANT4 environment Моделювання ефекту збільшення жорсткості випромінювання РКТ у середовищі GEANT4

Овчаренко К. С. (науковий керівник – д-р мед. наук Старенький В. П.)

Methods for visualizing the internal structures in computed tomography (CT) are constantly being improved. Today there are many methods of suppression CT artifacts that help maximize image quality. However, the problem of occurrence of such artifacts have not yet been completely solved. There are many causes of artifacts, including computing error, imperfection of image reconstruction algorithms, the fault diagnostic equipment, staff mistakes or actions of the patient. Eliminating the effect of beam hardening is an actual task today, because it is one of the most common artifacts on CT images.

To be able to obtain a mathematical description of the effect of beam hardening simulated the appearance of an artifact in Geant4 environment. In the work were created conditions of appearance of artifacts – installed the source of ionizing radiation with a spectrum similar to the X-ray tube, scattering heterogeneous object, data held on the specified register in the virtual environment detector.

A computer model using Geant4 simulation environment in which scientist can change the geometry of the system, carried out work on the process visualization using OpenGL interface. Initialization of the program was successful, heterogeneous object consisting of soft and bone tissues was

subjected to irradiation of 10,000 gamma particles with energies of 50-100 keV range without the disruption of the program. With the virtual detector data recorded in a readable format of tables and graphs.

Analysis of the data showed that the model is working correctly and the shift of the spectrum is observed in the direction of high-energy radiation that corresponds to the manifestation of tightening effect. Based on the results of this work can be concluded that future data collected from this model will be useful for the improvement of algorithms to eliminate the effect of tightening the radiation.

References:

1. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: Recognition and Avoidance // RadioGraphics. – 2004.
2. Sureshbabu W., Mawlawi O. PET/CT Imaging Artifacts // Journal of Nuclear Medicine Technology. – 2005.
3. Strumas N., Antonyshyn O. et. al. Computered tomography artefacts: an experimental investigation of causative factors // Can J Plast Surg – 1998.
4. G. Herman and S. Trivedi, "A comparative study of two postreconstruction beam hardening correction methods," IEEE Trans. Med.Imaging 2,128-135 (1985).
5. <https://geant4.web.cern.ch/geant4/support/introductionToGeant4.shtml>

Фокусирование ультразвуковых волн по методу синтезированной апертуры

Фокусування ультразвукових хвиль за методом синтезованої апертури

Павлюк Д.С. (науковий керівник - проф. Баранник Є.О.)

Ультразвук представляет собой один из наиболее мощных инструментов в сфере медицинской визуализации и диагностики [1]. С момента своего появления передовые ультразвуковые технологии коренным образом изменили качество медицинской диагностики и заняли в этой области передовые позиции на рынке.

Ультразвуковая визуализация обычно выполняется посредством последовательного излучения в окружающую среду фокусированных ультразвуковых пучков волн. Каждый фокусированный луч позволяет построить одну линию изображения. Традиционной ультразвуковой

сканер генерирует луч, который фокусируется в определенной точке, где изображение получается максимально четким [2]. Однако такой подход имеет свои недостатки. Создать можно лишь ограниченное количество дискретных фокусных зон, и добавление каждой новой точки фокуса требует дополнительной энергии ультразвуковых волн и времени обработки сигналов. Это снижает частоту кадров, обновление изображения происходит слишком медленно, отстает от перемещения руки сонографиста и не дает возможности отслеживать динамические процессы в органах и тканях.

Технология многоэлементной синтезированной апертуры позволяет обойтись без физически сфокусированных лучей, она опирается на использование когерентных методов, основанных на совместном анализе не только амплитуды, но и фазы поля в большом количестве близкорасположенных точек в пределах значительной части пространства.

Целью настоящей работы является моделирование ультразвуковых полей в режиме излучения и излучения-приема волн, создаваемых фазированными решетками ультразвукового преобразователя при использовании технологии синтезированной апертуры.

Для достижения цели была разработана модель излучения фазированной решеткой ультразвуковых волн с разными направлениями распространения, которые соответствуют разным ракурсам облучения точечного отражателя без их фокусирования при излучении и с обычным фокусированием на приеме. Также была разработана физико-математическая модель апертурного синтеза сигналов, обеспечивающая фокусирование ультразвуковых волн на излучении путем такого когерентного сложения записанных сигналов отклика от разноракурсных плоских волн, при которых сигналы оказываются синфазными для любой наперед заданной точки пространства. В соответствии с этим создана компьютерная модель технологии метода синтезированной апертуры.

Показано, что при помощи фокусирования волн с частотой 3,5МГц можно добиться разрешающей способности по уровню бДБ не хуже 1,44мм, 2,6мм и 4мм на глубинах 32мм, 64мм и 96мм соответственно, что существенно выше, чем при фокусировании только на приеме. Ухудшение разрешающей способности с ростом глубины обусловлено тем, что радиус фокусирования на приеме соответствовал глубине 32мм. Установлено, что при фокусировании ультразвуковых волн по технологии синтезированной апертуры в режиме излучения-

приема уровень подавления боковых лепестков в среднем равен 31дБ, 25дБ и 19дБ на глубинах залегания точечного отражателя равных 32мм, 64мм, 96мм соответственно и незначительно увеличивается при увеличении числа ракурсов зондирования.

Список литературы:

1. Thomas L. Szabo. Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out / Thomas L. Szabo. – Boston: Boston University, 2014
2. G. Kossoff. Analysis of focusing action of spherically curved transducers / G. Kossoff. – Australia: Ultrasonics Institute, 2000.

Development of module of thermal neutron detection with possibility of dividing electron and gamma response. Розробка модуля реєстрації теплових нейтронів з можливістю розділення електронної і гама компоненти відгуку.

Петренко О.Д. (науковий керівник – Маслов М.І.)

Registration of thermal neutron fluxes is important for modern medicine, radiation dosimetry, experimental physics and many other applications. Thermal neutrons are dangerous to the human body, which causes the need for precise determination of the neutron flux intensity.

System based on the metal converters with great thermal neutron capture cross-section, which are located close to the surface of the semiconductor detector used in world scientific centers for registration of neutrons. Such systems have shown high reliability, durability, accuracy and authenticity of the received results [1]. The basis of this work is the use planar silicon detector with high energy resolution and converter made of gadolinium that has a record capture cross section of thermal neutron [2].

With help GEANT4 [3] package there were conducted calculations of spectrum distribution of conversion electrons, which irradiated from gadolinium converter under neutron radiation in wide energy diapason. The goal of these calculations was determination of neutron energy diapason in which the best effective output of secondary irradiation can be achieved. The output efficiency of characteristic electron was calculated for the task of converter thickness optimization for different matter thicknesses. Electron penetration coefficient (the ratio of the electron number radiated from gadolinium to the full number of electron formed in gadolinium) was calculated.

Thermal neutrons registration method that allows to share electronic and gamma response components was tested. The essence of this method is that in isotropic field of gamma radiation (background radiation + capture gamma radiation in gadolinium converter) in both of the detector (D1, D2) the same gamma-quants spectrum gets. Gadolinium internal conversion electrons get also in detector D1, while electrons don't get in protected of polyethylene screen detector D2. This method allows receiving the spectral distribution of the conversion electrons without gamma background by comparing the readings of the two detectors. Such a scheme will be proposed for implementation on the basis of existing planar silicon detectors with the gadolinium converter.

References:

1. Н.И. Маслов. Физические и технологические аспекты создания и применений кремниевых планарных детекторов // Вопросы атомной науки и техники. Серия «ФРПМ». 2013, № 2(84), с. 165-171.
2. Gamma rays rejection in a Gadolinium based semiconductor neutron detector. Dissertation. Praneeth Kandlahunta, M.S. Ohio State University. 2014
3. Geant4: a toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. CERN - the European Organization for Nuclear Research, 2011. <http://www.geant4.org/geant4>

Устойчивость модулированных структур параметра порядка

Стойкість модульованих структур параметра порядку

Рижов А.І. (науковий керівник - акад. Клепиков В.Ф.)

Вся современная теоретическая физика базируется на концепции спонтанного нарушения симметрии. В основе теоретического описания фазовых переходов 2-го рода также лежит концепция спонтанного нарушения симметрии.

Спонтанное нарушение симметрии означает, что симметрия лагранжиана (или гамильтониана) системы может быть выше, чем симметрия основного состояния системы. Переход из симметричного состояния в несимметричное при этом называется фазовым переходом 2-го рода. Симметрия означает неизменность системы как целого при изменении части переменных величин, описывающих систему. В случае, когда спонтанно нарушаемая симметрия является дискретной, включаются компенсаторные механизмы, которые аналогичны калибровочным полям (для непрерывных симметрий). Устойчивость

возникающих при этом пространственно модулированных структур полей параметра порядка есть главный признак равновесия системы.

Идеи и методы теории фазовых переходов нашли широкое применение в различных областях современной физики, к примеру, в теории поля и элементарных частиц.

В настоящей работе дан краткий обзор теории фазовых переходов. В оригинальной части было рассмотрено обобщение модели Михельсона, позволяющее описать переходы как первого так и второго родов. Были найдены решения, определяющие значения равновесных фаз вида $\varphi(x) = const$.

Список литературы:

1. Клепиков В.Ф. Фазовые переходы (несоизмеримые структуры) - Харьков. - 1996.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, часть I. - М.: Наука, 1976.
3. Толедано Ж.К., Толедано П. Теория Ландау фазовых переходов. Приложение к структурным, несоизмеримым, магнитным и жидкокристаллическим системам. - М.: Мир, 1994.
4. Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов. - М.: Наука, 1984.
5. Барьяхтар В.Г., Клепиков В.Ф. Влияние неоднородных состояний на фазовый переход ферромагнетик - парамагнетик. // Письма в ЖЭТФ. - 1972. - т.15.
6. Клепиков В.Ф., Березовский С.В. Модулированные структуры в системе с однокомпонентным параметром порядка // Препринт ХФТИ - 95-11. - Харьков. - 1995.
7. Klepikov V.F. Modulated structures of one-component order parameter.// J. de Phys. C8. - 1988. - v.49.
8. Олемской А.И., Клепиков В.Ф., Коплык И.В., Крутько О.Б., Хоменко А.В. Исследование фазовых портретов при превращениях систем с конкурирующим взаимодействием. // Металлофизика и новейшие технологии. - 1996. - т.18. - №2.
9. Лебедев В.В. Флуктуационные эффекты в макрофизике. - М.: МЦНМО, 2004. - 256 с.
10. Замолодчиков А.Б., Замолодчиков Ал.Б. Конформная теория поля и критические явления в двумерных системах. - М.: МЦНМО, 2009-168 с.

Химические потенциалы и уравнения состояния идеальных бозе- и ферми-газов в области квантового вырождения **Хімічні потенціали та рівняння стану ідеальних бозе- та фермі-газів в області квантового виродження**

Середа К.В. (научовий керівник – проф. Слюсаренко Ю.В.)

Само по себе понятие “квантовые газы”, подразумевающее квантовые системы многих тождественных частиц, стало уже привычным за почти столетнюю историю исследований, основным толчком к развитию которых оказались революционные работы Бозе и Эйнштейна [1, 2], а также Ферми и Дирака [3, 4], в честь которых впоследствии были названы две основные разновидности статистических распределений частиц с учетом их квантовой природы. Казалось бы, что за столь длительный период такие простейшие системы, как квантовый идеальный одноатомный газ в отсутствие каких-либо неоднородностей либо внешних полей, должны были предельно детально исследованы с теоретической точки зрения. Однако, при знакомстве с существующей литературой, даже считающейся в настоящее время учебной и рекомендованной на курсах статистической физики (см., к примеру, [5, 6, 7]), возникают вопросы, на которые хотелось бы иметь более определенные ответы. А именно:

- Газы считаются квантовыми вблизи характерных температур: температуры бозе-конденсации и температуры вырождения. Но насколько “вблизи”? При какой температуре классический газ “становится” квантовым с точки зрения наблюдателя, у которого имеются возможности измерять макроскопические характеристики газа с заданной точностью?

- Зависимость химического потенциала от температуры хорошо известна и изучена в области низких и высоких температур, где имеются надежные аналитические приближения. В то же время в промежуточной области данные приближения становятся сильно неточными.

Целью работы было, основываясь на теоретических аналитических и численных вычислениях, исследовать зависимости химических потенциалов от температуры одноатомных идеальных бозе- и ферми-газов в области квантового вырождения. Вне рамок каких-либо дополнительных приближений были проведены численные расчеты и построены явные зависимости химических потенциалов от температуры при фиксированной плотности числа частиц газов. Так же были

получены приближенные полиномиальные зависимости химических потенциалов от температуры, позволяющие использовать результаты в дальнейших исследованиях без привлечения задействованных численных методов.

Список литературы:

1. S. N. Bose, Zeitschrift für Physik 26, 178 (1924).
2. A. Einstein, Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1, 3 (1925).
3. E. Fermi, Rendiconti Lincei 3, 145 (1926).
4. P. A. M. Dirac, Proceedings of the Royal Society A112, 661 (1926).
5. L. D. Landau and E. M. Lifshitz, Statistical Physics, 3rd ed., Pergamon Press, Oxford (1980), Nauka, Moscow (1976).
6. F. Reif, Fundamentals of Statistical and Thermal Physics, Waveland Press, Illinois (2009).
7. R. K. Pathria and P. D. Beale, Statistical mechanics, Elsevier, Burlington (2011).

Люмінесценція кварцового скла, яка індукована рентгенівським випромінюванням з енергією до 60 кеВ.

Скиба Р.В. (науковий керівник – доц. Кононенко С.І.)

У роботі вивчалась люмінесценція плавленого кварцу, яка була індукована рентгенівським випромінюванням з енергією до 60 кеВ. Люмінесценція у зразку кварцового скла типу КВ-1 збуджувалась рентгенівським випромінюванням, яке генерувалося у лампі з катодом з міді і вимірювалась оптичним трактом з монохроматором з дифракційною ґраткою. Отриманий сигнал реєструвався фотоелектронним помножувачем і оброблявся на комп'ютері.

Виміряні спектри люмінесцентного випромінювання кварцового скла мають основний максимум на довжині хвилі 400 нм (3,1 еВ). Цю смугу пов'язують наявністю у кварцовому склі внутрішнього дефекту типу киснево-дефіцитного центру ODC (I) [1]. Слід зауважити, що для спектрів іоно- і катодолюмінесценції основний максимум для цього дефекту лежить на довжині хвилі 450 нм (2,7 еВ)[2]. Таким чином рентгенівське випромінювання збуджує дефект ODC (I) на довжині хвилі меншій на 50 нм ніж його індукують заряджені частинки.

Наявність цього факту пов'язана з втратами енергії іонізуючого випромінювання у кварцовій пластині. Густина втраченої енергії швидкими іонами значно перевищує рентгенівські втрати в зразку. Для швидких іонів електронні втрати значно перевершують ядерні і

останніми можна знехтувати. За рахунок електронних втрат створюються і збуджуються дефекти електронної структури, які є джерелами люмінесцентних смуг. Питомі енергетичні електронні втрати протонів з енергією 800 кеВ в кварцовому склі становлять близько $5\text{eV} / \text{\AA}$, а довжина їх пробігу у кварцу - 10,72 мкм. Вся енергія протонів (800 кеВ) поглинається в вузькому поверхневому шарі кварцової пластини, що призводить до модифікації дефекту типу ODC з максимумом 400 нм в ODC з максимумом 450 нм. Рентгенівське випромінювання поглинається значно слабкіше. Рентген проходить зразок наскрізь і густина втрат енергії в цьому випадку значно менше ніж у іонів. Таким чином, при опроміненні рентгеном люмінесценція кварцового скла збуджується в смугі з максимумом 400 нм (3,1 еВ), що пов'язано з немодифікованим дефектом ODC (I).

Крім того в спектрах радіолюмінесценції кварцу, спостерігалася особливість на довжині хвилі 286нм (4,4 еВ). Смуго люмінесценції з таким максимумом пов'язують ще з одним кисне-дефіцитним власним дефектом ODC (II). Спектри радіолюмінесценції містили смуги пов'язані з власними дефектами кварцу ODC (I) і ODC (II)[1].

Слід зауважити, що в спектрі радіолюмінесценції кварцового скла не спостерігалася смуги пов'язаної з дефектом немісткового кисню NBOHC[1], на відміну від іоно- і катодолюмінесценції. Це також пов'язано з малими питомими втратами рентгенівського випромінювання. Рентген проходить зразок наскрізь і густина втрат енергії мала, отже, енергії, яка була накопичена в пластині, не вистачає на збудження цього дефекту.

Список літератури:

1. Roushdey Salh. Defect Related Luminescence in Silicon Dioxide Network: A Review in Ion Implantation Edited by Mark Goorsky Published by InTech Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia Copyright 2012 InTech P.137-157.
2. S.I. Kononenko. Spectral and Angular Characteristics of Fast Proton-Induced Luminescence of Quartz/ O.V. Kalantaryan, V.I. Muratov, C. Namba/ nіvc 794/2004.

Дослідження впливу високотемпературного опромінення на матеріали ядерної енергетики

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

Експерименти показують, що при високотемпературному опроміненні сплаву відбувається просторовий перерозподіл

компонентів даного сплаву на мікроскопічному рівні. Дане явище називається радіаційно-стимульованою сегрегацією (РСС) і воно може призвести до збагачення або збіднення легуючих елементів в областях поблизу поверхонь, дислокацій, порожнеч, границь зерен та меж між фазами [1].

Різкі зміни на кордоні зерна, які виникають під впливом РСС, можуть викликати зміни деяких локальних властивостей твердого тіла, а також сприйнятливості до цілого ряду процесів, які можуть порушувати цілісність компонента [1], однак дані зміни не шкідливі по відношенню до механічних властивостей та корозійної стійкості [2]. З цієї причини розуміння механізму РСС має велике значення для продуктивності реактора.

Явище РСС виникає у зв'язку з тим, що рухомі точкові дефекти по-різному взаємодіють з різними компонентами сплаву [3]. Як наслідок, потоки точкових дефектів, які зберігаються біля стоків, при опроміненні викликають атомні потоки, які не пропорційні локальному складу сплаву, в результаті чого і виникають локальні зміни в положенні зерен [3]. Даний ефект має досить загальний характер і в певній мірі притаманний для всіх сплавів.

Технологічний інтерес викликають деякі види нержавіючої сталі, які використовуються під час реакторобудування. Теоретичні та експериментальні дослідження були виконані як для двокомпонентних сплавів, так і деяких простих трикомпонентних сплавів [3], у яких швидкості теплової дифузії двох компонентів мало відрізняються і набагато більші, ніж швидкість теплової дифузії третього компоненту, отже, в першому наближенні такі трикомпонентні сплави можна вважати двокомпонентними.

Важливим параметром являється коефіцієнт дифузії, оскільки відмінність між коефіцієнтами дифузії компонентів сплаву вводить перерозподіл розчиненої речовини в моделі, яку описали Марвік [3] і Відерзіч та ін. [1]. Підхід полягає в розв'язуванні системи кінетичних рівнянь, які базуються на основі першого та другого законів Фіка для концентрації дефектів та компонентів, з певними початковими та граничними умовами. Спостереження за системою при опроміненні проводяться від стану термодинамічної рівноваги до усталеного режиму, тобто моменту, починаючи з якого потоки дефектів та атомів розчиненої речовини дорівнюють нулю.

Метою роботи є розрахунок профілів концентрації легуючих елементів (ніобій в цирконії) при високотемпературному опроміненні.

Для спрощення розрахунків стоки дефектів розглядаються на поверхні фольги. Для числового інтегрування системи диференціальних рівнянь, що визначають часову еволюцію концентрацій дефектів та компонентів сплаву, використовується пакет прикладних програм MATLAB. Зручність розгляду стоків дефектів на поверхні фольги проявляється у можливості експериментальної результатів розрахунків методом RBS або PIXE.

Список літератури:

1. H. Wiedersich, P.R. Okamoto and N.Q. Lam, J. Nucl. Mater. 83, 98-108 (1979).
2. S. Watanabe and H. Takahashi J. Nucl. Mater. 208, 191-194 (1994).
3. A.D. Marwick, J. Nucl. Mater. 135, 68-76 (1985).

Розробка експериментального обладнання: від постановки задачі до практичного застосування

Сребнюк П.А. (науковий керівник – проф. Береснев В.М.)

Оскільки наука не стоїть на місці, розробка нового експериментального обладнання та модернізація вже існуючого є однією з основних робочих задач багатьох фізиків-експериментаторів у наші часи, і так буде залишатися і в майбутньому. В цій доповіді будуть розглядатися всі аспекти розробки обладнання – від отримання технічної задачі, до безпосереднього використання готового обладнання для вирішення існуючих науково-прикладних задач.

Як відомо, неможливо створити абсолютно універсальний пристрій, здатний поєднувати в собі всі необхідні для проведення експериментів властивості, і який, в той же час, не мав у своїй конструкції жодних недоліків. Необхідно зауважити, що розробка і модернізація будь-якого обладнання потребує від вченого значних теоретичних знань, вміння прогнозувати поведінку обладнання при роботі в різних умовах, вміння передбачити можливі недоліки обладнання та способи їх усунення, та багатьох інших. З цих причин процес розробки обладнання складається з декількох основних етапів, на кожному з яких доводиться робити вибір на користь тих чи інших властивостей, які будуть мати вирішальний вплив на вигляд готового пристрою, його функціональність, переваги та недоліки.

- Формулювання технічної задачі: обладнання буде створюватися заради кількох експериментів або для тривалого застосування; пристрій має бути універсальним, або вузькоспеціалізованим; пристрій буде

створений для використання безпосередньо розробниками, або для впровадження у масове виробництво і застосування.

- Вибір типу конструкції: обладнання буде створене «з нуля» або для використання на вже існуючій експериментальній установці; чи повинна бути у даного пристрою сумісність з іншим обладнанням; пристрій повинен бути створений у «фінальному» варіанті, або потрібно залишити можливість для внесення змін в конструкцію і подальшої модернізації.

- Розробка і моделювання: теоретичні розрахунки можливих технічних характеристик обладнання; вибір матеріалів та запчастин; розрахунки економічної та практичної доцільності різних типів конструкції; моделювання поведінки обладнання за межами оптимальних режимів роботи; формулювання технічного завдання для безпосереднього виробника обладнання.

- Випробування готового пристрою: базова перевірка працездатності пристрою; виявлення та усунення дрібних недоліків конструкції; виправлення і внесення змін в готову конструкцію в разі виявлення значних недоліків проблем в роботі; розробка документації для готового обладнання.

На кожному з етапів розробки нового обладнання існує досить багато речей, на які необхідно звертати увагу, оскільки помилки, які не були помічені на стадії проектування, можуть призвести до передчасної відмови або навіть повної непрацездатності пристрою. Окрім розгляду основних питань в загальному вигляді, всі етапи проектування і розробки експериментального обладнання також будуть розглянуті на конкретних прикладах, а саме – на прикладі оригінальної магнетронної розпилювальної системи, яка була розроблена і створена автором в рамках програми модернізації існуючої універсальної вакуумної установки ВУП-5М і яка успішно використовується у наукових дослідженнях при вирішенні науково-технічних та інженерних задач. Технічна задача, розробка конструкції розпилювальної системи, комп'ютерне моделювання, розробка креслень, вибір матеріалів, випробування пристрою та виправлення виявлених недоліків, технічні можливості пристрою та напрямки подальшої модернізації – детально розглянуті в доповіді.

Определение времени жизни ряда электронно-возбужденных состояний монооксида LaO методом ионно-фотонной спектроскопии

Визначення часу життя ряду електронно-збуджених станів монооксиду LaO методом іонно-фотонної спектроскопії

Ткаченко О.С. (науковий керівник – доц. Бобков В.В)

Данные о параметрах возбужденных молекулярных частиц необходимы при исследовании ряда молекулярных процессов в физике, химии и оптике газа, физике и химии плазмы, радиационной химии, физике твердого тела и в целом ряде смежных с ними областей науки и техники. Электронные возбужденные молекулярные состояния отличаются от остальных тем, что характеризуют совершенно иное электронное строение молекул и их химические свойства. Изменение электронного строения и химических свойств молекул и атомов при переходе в возбужденные состояния обуславливает возможность протекания быстрых фотохимических реакций, обладающих малыми энергиями активации, а также некоторых радиационно-химических и плазмохимических реакций.

В связи с этим большое значение приобретает информация о времени жизни различных возбужденных состояний молекул, поскольку им определяется эффективное время протекания вышеперечисленных реакций.

В данной работе для определения времени жизни ряда кантов возбужденной молекулы LaO использовался метод ионно-фотонной спектроскопии (ИФС). Этот метод основан на исследовании спектров свечения вторичных возбужденных частиц, распыленных с поверхности исследуемого материала ионным пучком. Возбуждение выбитых молекул осуществлялось в процессе бомбардировки ионами Ag⁺ (энергия 20 кэВ, плотность тока 15...20 мкА·см⁻², угол падения ионного пучка 45°) поверхности мишени, представляющей собой гидридообразующий сплав LaNi₅. Излучение возбужденных молекул LaO, выбитых с поверхности, регистрировалось и анализировалось с помощью фотоэлектрической системы, работающей в режиме счета отдельных импульсов.

Исследование спектрального состава излучения, возникающего при бомбардировке ионами Ag^+ поверхности сплава $LaNi_5$ показало, что наблюдаемая интенсивная полоса молекулы LaO , относится к синей системе, занимает спектральную область $\lambda\lambda 434.8 - 462.0$ нм и обусловлена электронно-колебательным переходом $C^2\Pi \rightarrow X^2\Sigma$.

Используемый в работе метод определения времени жизни электронно-возбужденных состояний двухатомной молекулы LaO основан на измерении пространственной протяженности ореола свечения возбужденных частиц, отлетающих от поверхности твердого тела. Пространственное распределение излучения измерялось для трех наиболее достоверно регистрируемых кантов полосы LaO : $\lambda 437.2$ нм, $\lambda 441.8$ нм и $\lambda 443.3$ нм. Вычисленное значение времени жизни τ составляет $4.2 \cdot 10^{-7}$ с, что сопоставимо с аналогичными данными для ряда двухатомных молекул.

Пружна взаємодія призматичної дислокаційної петлі, що лежить в базисній площині гексагонального кристалу, з радіаційними точковими дефектами.

Троценко О.Г. (науковий керівник – д.ф.-м.н. П.М. Остапчук)

Відомо, що дефектна структура гексагональних кристалів під опроміненням відрізняється від такої для сталей на основі ГЦК металів. В першу чергу, це відноситься до дислокаційної структури. Йдеться про співіснування міжвузельних і вакансійних петель під час досить тривалого інкубаційного періоду розпухання, наприклад цирконію і його сплавів. Згідно стандартним уявленням таке співіснування неможливо із-за так званого «bias» - фактора, тобто переважного поглинання дислокацією (неважливо міжвузельною чи вакансійною) міжвузельних атомів. У такій ситуації зародки вакансійних петель повинні зникати. А на експерименті вони прекрасно співіснують з міжвузельними петлями. Можлива причина в особливості пружної взаємодії ТД з дислокаціями різного виду ГПУ кристалів.

Ця взаємодія визначається моделлю ТД в наближенні центру дилатації і полем пружних напружень створюваних петлею в місці

розташування ТД. Згідно Ешелбі [1] енергія пружної взаємодії при цьому наступна:

$$E_{\text{int}}(\mathbf{r}) / P = -Spu_{ij}^D(\mathbf{r}),$$

де P – потужність центру дилатації, система відліку при цьому зв'язана з дилатацією, а \mathbf{r} - це координата точки знаходження ТД. Пружне поле дислокації u_{ij}^D можна розглядати шляхом рішення рівняння рівноваги чи з використанням функції Гріна (ТФГ) G_{ik} , згідно класичної формули :

$$u_i^D(\mathbf{r}) = C_{jklm} b_m^D \int_{S_D} n_l^D \frac{\partial G_{ij}(\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{\partial x_k} dS',$$

де b_m^D , n_l^D - компоненти вектора Бюргерса і нормалі до поверхні S_D , яка спирається на дислокаційну лінію; C_{jklm} - тензор пружних модулів середовища, моделюючий кристал.

У літературі цитується два варіанти аналітичного розрахунку ТФГ: метод Ліфшиця – Розенцвейга [2] і Кренера [3]. Перший справедливий для любого необмеженого пружно анізотропного середовища. Другий використовується до гексагональних кристалів. В рамках обох методів для гексагональних кристалів отриманий аналітичний вираз величини $Spu_{ij}^D(\mathbf{r})$ для базисної крайової дислокаційної петлі (с-петлі). Аналогічний вираз одержано також незалежним рішенням рівнянь рівноваги методом Еліота [4]. Чисельне порівняння отриманих виразів для цирконію показало повну ідентичність розглянутих підходів. Однак, з огляду на обмежену придатність [4], реальним розрахунковим методом залишається метод ТФГ.

Список літератури:

1. Дж Эшелби. Континуальная теория дислокаций. Наука. М. 1963,-215 с.
2. И.М. Лифшиц, Л.Н. Розенцвейг. ЖЭТФ 17, 783 (1947).
3. F.Kroupa. Czech. J. Phys. В 10, 284, 1960.
4. A. Elliott. Proc. Cambridge Phil. Soc. 44, 522 (1948); 45, 621 (1949).

Поляризационные эффекты в образовании пары $t\bar{t}$ кварков в электрон-позитронной аннигиляции

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

Трутеня І. В. (науковий керівник – доктор фіз.-мат. наук Корчин О. Ю.)

В работе рассмотрена задача об аннигиляции электрон-позитронной пары в пару поляризованных топ- и антитоп- кварков $e^-e^+ \rightarrow t\bar{t}$. Для изучения свойств топ-кварка и его взаимодействия с фотоном и Z-бозоном желательнее исследовать поляризационные эффекты для получения более полной информации. Поэтому актуальным является рассмотрение процессов аннигиляции электрон-позитронной пары в поляризованные топ- и антитоп- кварки. Поскольку топ-кварк является очень короткоживущим и быстро распадается, то обычно он детектируется за счет регистрации продуктов его распада. Скорость распада топ-кварка зависит от его начальной поляризации, поэтому угловое и энергетическое распределение продуктов распадов топ-кварков будет нести информацию о поляризации топ-кварков. На первом этапе можно рассчитать реакцию образования пары топ-кварков без учета их распадов, то есть считать их стабильными частицами. Этой задаче посвящена данная работа.

В работе применяется релятивистский формализм поляризационной матрицы плотности для частицы со спином 1/2, а также правила Фейнмана в квантовой электродинамике для построения матричного элемента реакции. Получены зависимости дифференциального сечения $d\sigma/d\Omega$ в системе центра масс от энергии электрон-позитронной пары и угла рассеяния, а также от векторов поляризации t и \bar{t} кварков. Проанализированы предельные случаи высоких и низких энергий.

Список литературы:

1. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1981. 432 с.
2. В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. Релятивистская квантовая теория. Ч. 1. М., «Наука», 1968.
3. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1989. 723 с.

4. Ф. Хелзен, А. Мартин. Кварки и лептоны. Введение в физику частиц. М.: Мир, 1987- 456с.
5. Дж. Д. Бьёркен, С.Д. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. Том 1. Релятивистские квантовые поля//М. Наука. 1978. 408 с.
6. М. Пескин, Д. Шредер. Введение в квантовую теорию поля//Москва-Ижевск. 2001. 784 с.
7. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Москва, Энергоатомиздат, 1991.

Модернізація установки ВУП-5М для проведення термічних процесів

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

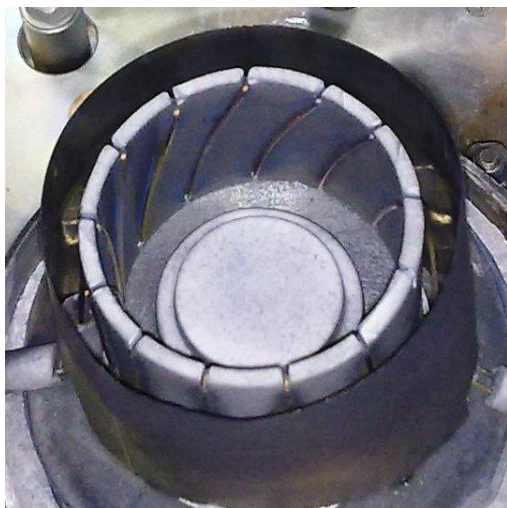
Ефективність наукових розробок в області фізичного матеріалознавства багато в чому залежить від можливостей застосованого технологічного і дослідницького устаткування, від розуміння можливостей регулювання властивостей матеріалів певним зовнішнім впливом, від знання потенційних і перспективних сфер застосування тих або інших матеріалів. Важливим чинником є створення технологій, де застосовується доступне устаткування та реалізуються технологічні можливості управління структурою і властивостями матеріалу в необхідних межах.

Роботу присвячено розширенню технологічних характеристик установки ВУП-5М для здійснення термічних процесів. Вакуумний універсальний пост ВУП-5М призначений для отримання плівок з різних матеріалів з високою продуктивністю методом магнетронного розпилення, а також підготовки об'єктів для подальших електронно-мікроскопічних досліджень чи досліджень на інших аналітичних приладах [1].

Незважаючи на порівняно широку багатфункціональність стандартного вакуумного універсального поста ВУП-5М, можливості здійснення в цьому приладі низки термічних процесів, наприклад, високотемпературних відпалів різного характеру, вельми обмежені як безпосередньо конструкцією камери, так і параметрами блоку електроживлення. При виконанні роботи були поставлені та вирішені завдання вибору конструкції печі, розрахунку нагрівального елемента і футерівки [2], виготовлення вузлів і елементів печі, монтажу печі, відпрацювання допустимих термічних режимів роботи,

експериментальна перевірка працездатності при термообробці конкретних виробів.

При виконанні роботи враховувалися обмеження, що накладаються базовою конструкцією приладу (температура ковпака вакуумної камери, можливості системи електрозабезпечення та ін). Для виготовлення термічних модулів були обрані метали молібден та нержавіюча сталь, а також керамічні матеріали на основі оксиду алюмінію.



Нагрівач був виготовлений з молібденового дроту діаметром 1 мм та зафіксований на керамічному стакані діаметром 40 мм (див. рис.). Нагрівач зверху накритий багатошаровою відбивною футерівкою, складеною з 5 окремих стаканів з молібденової фольги (товщина 0,2 мм). Для фіксації зразків в зоні нагріву був виготовлений столик з листового молібдену

товщиною 2 мм, який закріплений до основи печі через шар компактної керамічної теплоізоляції з пеношамоту марки ШПГТ-450. Між столиком та основою також розміщено п'ятишарову відбивну футерівку з молібдену.

Для електричного живлення печі виготовлено спеціальний блок потужністю 200 Вт, що одночасно має систему автоматичного регулювання температури. Датчиком температури є вольфрам-ренієвий термоелектричний перетворювач ВР5/ВР20. Максимальна температура печі становить 1000 °С. Для підвищення цього показника необхідно реалізувати примусове охолодження корпусу.

В результаті виконаної роботи з конструювання вакуумної печі функціональні можливості установки ВУМ-5М доповнилися операцією з високотемпературного нагріву досліджуваних зразків.

Список літератури:

1. А.И. Кузьмичёв. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1 : Введение в физику и технику магнетронного распыления. – Киев: «Аверс». - 2008. 244 с.
2. М.С. Лейканд. Вакуумные электрические печи. – Москва «Машиностроение», 1997. - 52 с..

Изучение схемы β -распада радиоактивного ядра ^{111}Sn .

Вивчення схеми β -розпаду радіоактивного ядра ^{111}Sn .

Чеховська А.В. (науковий керівник - с.н.с. Скакун Є.О.)

Експериментальні дослідження характеристик перетворень радіоактивних ядер (періоди напіврозпаду, типи та коефіцієнти розгалуження як самих розпадів, так і супроводжуючих їх гама-квантів) дають можливість винайти такі властивості станів дочірніх ядер, як енергії їх (станів) збудження та квантові характеристики (спіни та парності), що в свою чергу висвітлює їх природу та сприяє випробуванню передбачувальної спроможності тієї чи іншої теорії, що описує закономірності взаємодій нуклонів в ядрах.

Важливим застосуванням констант радіоактивних ядер є вимірювання поперечних перерізів та виходів ядерних реакцій активаційним методом. Зрозуміло, що чим достовірніші будуть значення періодів напіврозпаду та коефіцієнтів розгалуження, тим точнішими будуть отримувані експериментальні значення перерізів чи виходів реакцій.

Радіоактивне ядро олово-111 (^{111}Sn), період напіврозпаду якого ($T_{1/2}$) дорівнює 35,3 хв, шляхом захвату орбітального електрона (EC—electron capture) або випромінювання позитрона (β^+ -розпад) перетворюється в ядро індій-111 (^{111}In). В цьому процесі, окрім основного стану ядра ^{111}In , заселяється велика кількість збуджених станів, (серед яких є і довгоживучий ізомер $^{111\text{m}}\text{In}$ ($T_{1/2}=7,7$ хв)) пов'язаних прямими чи каскадними радіаційними переходами [1,2].

Експерименти проводились пучку гальмівного випромінювання з максимальною енергією 14 МеВ лінійного прискорювача електронів ННЦ ХФТІ. В якості мішені використовувалась фольга олова,

збагаченого ізотопом ^{112}Sn до 80%. Енергетичні спектри γ -випромінювання опроміненої мішені вимірювались спектрометром високого розподілу на базі детектора з надчистого германію фірми CANBERRA з задалегідь виміряною ефективністю за допомогою стандартних радіоактивних джерел.

Отримані експериментальні дані дозволили визначити відносні значення інтенсивностей десяти потужних γ -переходів в ядрі ^{111}In з енергіями $E_\gamma = 372,3; 457,1; 537,2; 564,3; 762,0; 954,1; 1101,2; 1153,0; 1610,0$ та $1914,7$ кеВ.

Інтенсивність γ -переходу $537,2$ кеВ, що відповідає “розрядці” ізомера ^{111m}In , визначена з врахуванням подвійного ланцюжка розпаду $^{111}\text{Sn}(T_{1/2}=35,3 \text{ хв}) \rightarrow ^{111m}\text{In}(T_{1/2}=7,7 \text{ хв}) \rightarrow ^{111g}\text{In}$ і дорівнює $0,22\%$, що на 13% менше базового значення [1].

З використанням отриманих значень коефіцієнтів розгалуження γ -переходів в ядрі ^{111}In винайдено відносні виходи фотонейтронної та фотопротонної реакцій на ядрі ^{112}Sn при максимальній енергії гальмівного спектру 14 МеВ:

$$Y[^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}] : Y[^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}] = 1 : 0,0065.$$

Список літератури :

1. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.
2. Jean Blachot. Nuclear data sheets for A=111. Nuclear Data Sheets 110, 1239 (2009).

Використання термолюмінісцентної дозиметрії у медицині

Шестопалов С.В. (науковий керівник – Зав. ЦЛРГМПП к.б.н. Стадник Л. Л.)

Дослідницька робота присвячена актуальній проблемі в галузі радіаційного захисту персоналу та пацієнтів при медичному опроміненні – вивченню фізичних властивостей термолюмінісцентних дозиметрів та їх використанню в медичній практиці.

В ході виконання роботи розібрані різні методи дозиметрії іонізуючого випромінювання, що використовуються в медичній радіології. Було визнано, що метод термолюмінісцентної дозиметрії має широкий діапазон вимірювання доз, низьку енергетичну залежність та є тканино-

еквівалентним, що дозволяє використовувати його як для контролю доз пацієнтів, так й медичного персоналу.

Було визначено, який матеріал найбільш підходить для індивідуального дозиметричного контролю персоналу та пацієнтів, а саме використання дозиметрів на основі фосфору LiF, завдяки тому, що фединг, який визначається втратою дозиметричної інформації за 1 міс., при кімнатній температурі становить близько 1%. Такий низький фединг і дає можливість використовувати дозиметри на основі LiF протягом декількох місяців, що суттєво збільшує їх область застосування.

Проаналізована методика визначення доз опромінення пацієнтів в рентгенодіагностиці, а також спосіб вимірювання поглинутої дози або вхідний керма за допомогою термолюмінесцентних детекторів.

Зіставлені дозові навантаження пацієнтів при рентгенографії органів грудної клітини та поперекового відділу хребта на трьох апаратах з різними приймачами зображення (цифрові, плівкові) і з різним терміном експлуатації.

Встановлено, що на сучасних рентгенографічних апаратах з цифровим приймачем зображення значення доз пацієнтів не перевищують рекомендованих рівнів, що пов'язано з правильним підбором режимів і задовільним технічним станом апарату.

Список літератури:

1. Иванов, В.И. Курс дозиметрии [Текст] / В.И. Иванов. - М., 1988. - 74 с.
2. Франк, М. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения [Текст] : пер. с нем. / М. Франк, В. Штольц. - М. : Атомиздат, 1973. - 248 с.
3. Шварц, К.К. Термолюминесцентная дозиметрия [Текст] / К.К. Шварц, З.А. Грант, Т.К. Межс, М.М. Грубее. - М.: Изд-во «Зинатне», 1968.–192 с.
4. Термолюминесцентные монокристаллические детекторы ДТГ – 4. Паспорт, ТУ 952511. - г. Ангарск, 2001. - 14 с.
5. Дозиметр термолюминесцентный ДТУ. Паспорт и инструкция по эксплуатации. - ТУ 42-2-562-89. [Текст] - 11 с.
6. Стадник, Л.Л. Организация и проведение централизованного индивидуального дозиметрического контроля медицинского персонала Украины с использованием термолюминесцентных дозиметров. Ведомственная инструкция [Текст] / Л.Л. Стадник. - К., 2003. - 35 с.
7. Вимірювання рівнів опромінення пацієнтів за допомогою термолюмінесцентних детекторів при проведенні рентгенодіагностичних процедур: метод. рекомендації / Укл.: М. І. Пилипенко, Л. Л. Стадник, О. М. Гур та ін.; ДУ Інститут медичної

- радіології ім.С.П.Григор'єва АМН України. – Харків, 2008. – 16 с.
8. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, safety series № 115. – Vienna: IAEA, 1996. – 354 p.
 9. Порядок встановлення національних діагностичних рекомендованих рівнів опромінення пацієнтів для рентгенографічних досліджень: інформаційний лист № 273–2012 / Укл.: М.І. Пилипенко, Л.Л. Стадник, В.В. Корнеєва та ін. Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва АМН України. – Київ, 2012. – 4 с.

Ємнісна складова струму подвійного шару в плазмі *Шовкун М.О. (науковий керівник – доц. Целуйко О.Ф.)*

Сильнострумові імпульсні розряди широко використовуються в різних областях науки і техніки. На їх основі розроблено потужні джерела пучків заряджених частинок, рентгенівського і нейтронного випромінювання. Унікальні можливості таких розрядів обумовлені формуванням в струмопровідній плазмі подвійних шарів об'ємного заряду, в яких відбувається зустрічне прискорення електронних та іонних пучків.

Подвійний шар потужного сильнострумового імпульсного розряду є нестійкою динамічною системою: напруга на шарі постійно змінюється. І це накладає певні труднощі при розрахунку активної потужності, що виділяється в розряді. Зміна напруги на шарі викликає зміну об'ємного заряду в шарі, а це в свою чергу, веде до появи ємнісного струму. Оцінки показують, що ємність подвійного шару може доходити до 1 мкФ, тому ігнорування ємнісної складової розрядного струму може призводити до значних похибок при розрахунку розрядних параметрів.

Метою роботи було, на основі теоретичних та експериментальних даних виділити в загальному струмі розряду ємнісну складову заряду-розряду ємності подвійного шару. Для цього подвійний шар представлявся як сукупність включених паралельно резистора і конденсатора, опір та ємність яких змінюються в часі по заздалегідь невідомому закону.

В роботі на підставі теоретичних розрахунків було отримано аналітичний вираз для ємності сильного подвійного шару:

$$C_{DL} \approx \sqrt{m_e/2e} \cdot |i_{DL}| \cdot |I(T_{ic}, T_{ea})| / |V_{DL}|^{3/2}.$$

де поправочний інтеграл $I(T_{ic}, T_{ea})$ визначається електронною T_{ea} та іонною T_{ic} температурами. Використовуючи вираз для ємності подвійного шару і рівняння ланцюга для еквівалентної електричної схеми шару, було отримано інтегро-диференціальне рівняння для ємнісної складової струму. Рішення цього рівняння дає аналітичний вираз для ємнісної складової струму:

$$i_C(t) = \exp\left\{-\int_0^t \kappa(\tau) \cdot d\tau\right\} \cdot \int_0^t F(\tau) \cdot \exp\left\{\int_0^{\tau} \kappa(\xi) \cdot d\xi\right\} d\tau,$$

$$\text{де } \kappa(t) = \frac{1}{2V_{DL}} \cdot \left(\frac{2}{A} \cdot |V_{DL}|^{3/2} - \frac{dV_{DL}}{dt}\right); \quad F(t) = \frac{d|i|}{dt} - \frac{1}{2V_{DL}} \cdot \frac{dV_{DL}}{dt} \cdot |i|.$$

Динаміку ємнісної складової струму можна отримати виходячи вже з конкретного розрядного струму чисельними методами.

Отримані теоретичні рішення були використані для визначення ємнісної складової струму потужного імпульсного плазмового діода з обмеженою робочою поверхнею потенційного електрода. Особливість такого діода полягає в тому, що тут відносно легко формуються подвійні шари, а активна потужність може сягати сотень мегават. На діод подавалася напруга від 4 до 14 кВ від конденсаторної батареї ємністю 2 мкФ. В експериментах фіксувалася динаміка повного розрядного струму за допомогою багатоканального швидкісного цифрового осцилографа.

Проведені експерименти показали, що отримані в роботі аналітичні вирази з хорошою точністю описують динаміку струму в розряді. Порівняння теоретичних і експериментальних значень ємності подвійного шару дало гарну відповідність. Проведена верифікація ємнісної складової струму виявила добре узгодження експериментальних і теоретичних даних. Розроблене у процесі роботи програмне забезпечення дозволяє адекватно розраховувати ємкісну складову струму в сильнострумівих імпульсних розрядах.

Growth and segregation of intermetallic phases in zirconium alloys

Рост та сегрегація включень інтерметалевих фаз у цирконієвих сплавах

О.О. Ямпольський, (науковий керівник – доц. В.Г. Кіріченко)

Zirconium alloys and the processes of their formation are widely investigated using various methods, for example [1-3]. Under creation of heat-resistant zirconium alloys it is necessary to take into account not only structural factors but it is consider the heterogeneity of the structure and dispersion strengthening phases. The main problem of zirconium alloys under service conditions as the material of shells of fuel elements of the active zone of the nuclear reactors are radiation growth and radiation creep due to anisotropy of α - zirconium. An important problem is the study of the processes of intermetallic phases formation in zirconium alloys of complex composition.

The aim of this work is to research the combined processes of growth and surface segregation of intermetallic particles in binary and ternary alloys based on zirconium.

Research of the following alloys: Zr-1.03at.%Fe; Zr-0.51at.%Fe; Zr-0.51at.%Fe-M (M = Nb, Sn, Ta, Cr) were made. We used mössbauer spectroscopy on the ^{57}Fe nuclei in backscattering geometry with the registration of internal conversion electrons (CEMS). X-ray spectral analysis of the surface using the spectrometer "Camebax MBX 268". X-ray using the DRON-3.0 in Cu- k_{α} radiation, transmission electron microscope EM-200 and scanning electron microscope JEOL JSM-840.

According to microstructural data we estimated the size of the inclusions, and the average distance between them in alloys for different temperatures of annealing on electron microscopic data observed abnormal grain growth and subgrain zirconium matrix alloys, since the temperature $T=720$ K. The average size of the included values, which in the deformed alloys 100–200Å, increases with annealing in 3–4 times, and the average distances between inclusions from values of 300–400 Å increase in 3–5 times, depending on the composition of the alloy.

The increase of surface concentration of iron atoms in the composition of the intermetallic particles correlates with the increase in the size of inclusions with increasing the annealing temperature of the alloys. It is seen that a significant increase in the degree of enrichment takes place, starting from annealing temperatures of 900 K while increasing the size of inclusions starting with 45 nm.

To determine the diffusion coefficient of iron in migrating and growing intermetallic particles may be used the data about the increase of the concentration of iron, since the decrease of the concentration of zirconium is due to the partial substitution of the surface layer of zirconium matrix alloys. As a result of simple calculations we will receive the value of the diffusion coefficient of iron atoms in intermetallic phase $D_{Fe}=3.5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$, lower than the diffusion coefficient of Fe atoms in the alpha- zirconium ($2.5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$). Given the structure of Zr_3Fe phases ($Zr_{0.75}Fe_{0.25}$), Zr_2Fe ($Zr_{0.67}Fe_{0.33}$) we can assume that the diffusion of iron atoms occurs in the directions [100] and [001], respectively. Perhaps the inclusion of intermetallic phases are oriented in these directions, and the process of segregation of intermetallic inclusions in subsurface layer during the annealing of deformed alloys is reversible.

References:

1. K.P. Gupta. The Nb-Ni-Zr System (Niobium-Nickel-Zirconium) // Journal of Phase Equilibria. 2000, v. 21, N 5, p. 485-493.
2. B. Cox, V.G. Kritsky, C. Lemaignan, V. Polley, I.G. Ritchie, H. Ruhmann, V.N. Shishov, Yu.K. Bibilashvili, A.V. Nikulina. IAEA-TECDOC-996, Waterside Corrosion of Zirconium Alloys in Nuclear Power Plants. Vienna: IAEA, 1998, p. 313.
3. A.K. Shikov, A.D. Nikulin, V.A. Nikulina i dr. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva tsirkoniya i ego splavov i izdeliy iz nikh // Fizika i khimiya obrabotki materialov. 2001, N 6, p. 5- 14 (in Russian).

**Зі стенограми виступу академіка О.І. Ахисєра
на 85-літньому ювілеї в ННЦ ХФТІ 31 жовтня 1996 року
(мовою оригіналу).**

Я должен начать с одной цитаты из «Фауста»: «Насущное уходит вдаль, а давность, приблизившись, приобретает явность». Как вы понимаете, в моем состоянии на хвосте Максвелловского распределения, если выразаться по статистике, приходится вернуться, рассказать что-то из давних времен, как все было. На все слишком много времени надо, поэтому я расскажу только о некоторых основных моментах. Прежде всего, я хотел бы вспомнить своих родителей. Мой отец был земским врачом долгие годы. Закончил он Харьковский университет в 1898 году, получил звание лекаря с отличием, но не старался остаться там ассистентом или еще как-то. Он мог бы это сделать, потому что был очень способным человеком, и вы это сами понимаете: он окончил с золотой медалью старую царскую гимназию и по процентной норме поступил в Императорский университет. Он был именно народным, народником он был. Ему нужно было поехать и быть земским врачом там, где его знали на многие километры от того места, где я родился и где он жил - в Черикове, в Белоруссии - и очень его уважали. Он участвовал и в холерной эпидемии, потом он много нам рассказывал, какой это кошмар. Люди не верили врачам, думали, что они хоронят живых. И моя мама, Наталья Григорьевна, она во всем помогала отцу. У нас дома был в каком-то смысле культ - родителей. Я это специально говорю потому, что это очень важно - отношение к родителям. Это первое. Но тут было еще одно. Какие ценности духовные были! Ну, во-первых, исполнение долга, тут разговора нет. Второе - труд. И третье - образование. Он был великий труженик и старший сын его, то есть мой старший брат. У меня был еще один брат, который трагически погиб. Наум Ильич, которого многие знают и многие у него учились, тоже прошел тяжелую жизнь, между прочим, и был величайшим тружеником. И он, собственно говоря, в каком-то смысле был моим первым учителем, вот почему. Потому что (я потом уже заметил) это не только в нашей семье по стопам родителей дети не всегда идут. А старший брат, он как-то указывал, чем нужно заниматься. И он, собственно говоря, привил мне любовь к математике. Он привил! Причем, так как я очень долго болел и лежал в постели, у меня нефрит был тяжелый, и не знали - я выживу или не выживу, так он привозил мне книги и я, например, изучил в постели дифференциальное

и интегральное исчисления. Я как-то не считал это великим делом, по глупости, а больше интересовался задачами на построение. И через много лет я говорил о человеке, который не умел решить задачу на построение, что это ерундист, а не математик! А Наум всегда смеялся. Далее, физики я не любил! Дело в том, что в школе, где я учился, учитель физики был плохой, и я любил математику: у пас был первоклассный учитель. ... Дальше я не буду вам детально рассказывать, как все происходило, но получилось так, что Наум Ильич и его жена определили будущее для меня и моих товарищесверстников. Для нас Наум Ильич был буквально кумиром, его все очень любили и уважали. Они сказали, что математика это сухая наука, нельзя сушить мозги, нужно заниматься чем-то более практичным. У Наума Ильича была такая мысль, что математика должна быть прикладной. Но у него прикладная математика это не методы вычислений, как сейчас. Для него идеалом был академик Крылов - кораблестроитель, адмирал. Он считал, что молодой человек должен быть кораблестроителем, тогда и теория колебаний будет у него и теория устойчивости Ляпунова. Но мне нельзя было ехать, так как я был больным... А мне пришлось уехать в Киев. Это длинное дело, и я поступил в политехнический институт. Поступил, хотя был тогда 29-й год, поступить было трудно, но я был приравнен, как говорится, к рабочему классу, потому что считали раз отец - земский врач да еще из братской республики, значит все! И меня приняли. Приняли меня на электротехнический факультет, потому что так определили мы. Я очень увлекся электротехникой. И я до сих пор всегда, когда думаю о том, что люди додумались до трехфазного тока или до асинхронного мотора, то у меня как-то душа радуется. Но потом я под влиянием брата хорошо изучил электродинамику и решил, что я вообще соображаю. Но дальше я увидел, что у меня, как говорят, руки не с той стороны растут. Я хотел быть экспериментатором, хотел быть инженером, но ничего не получилось. Ну, я видел, что с меня толку не будет...

И вот постепенно, когда Наум Ильич переехал в Харьков, подумали и решили попробовать здесь, в физико-техническом институте, по теории заняться. Тем более что мы думали, что я уже много кое-чего знаю. Конечно, я эту историю рассказывал, поэтому сейчас ее в сокращенном варианте дам. Было старое здание УФТИ, которое все знают. Оно еще пахло запахом красок. Это здание мне тогда понравилось с первого дня. И до последнего дня сейчас, когда я

поднимаюсь по лестнице, у меня как-то сжимает вот тут. Антон Карлович берет меня за руку, он был секретарем ученым, и ведет наверх к Ландау. Я толком не понимал что к чему. Вижу там надпись: «Осторожно, кусается!» Ну, кусается, так и кусается. Я не понял, кто кусается. Захожу к Ландау: «Здравствуй». Отвечает: «Здравствуй». Он сидит на диване в таком хорошем костюме, в белой рубашке с красным галстуком, а ноги у него на письменный стол поставлены. Я стою возле доски. После чего он начинает меня экзаменовывать. Задает вопросы. Два вопроса он задал. Первый вопрос. «Напишите уравнения Максвелла в четырехмерной форме». А чёрт - их душу знает, что это за четырехмерная форма. Я же знаю уравнения Максвелла. «Нет, это не то», говорит. Ну не то, так не то. Второй вопрос: «Напишите распределение Гиббса для переменного числа частиц». Черт его знает. Максвелла знаю распределение, Больцмана - тоже знаю. Потом он говорит: «Ну, давайте я посмотрю, что вы по математике собой представляете?». И дает мне интегралы. Но интегралы у нас же дома были как зверь, как кошка своя, как собака своя. Поэтому, когда он мне дал интегралы, то я их решал не стандартным путем, а решил их такими красивыми подстановками. Тривиальные интегралы были, чепуховские. Он посмотрел: «Ну, все! Что касается физики, то где вы учились?». - «В Киеве». «Так там разве есть физики? Там дантисты есть, а не физики!». Я молчу, думаю, что из этого получится. Я уже вижу, что он ко мне как-то благоволит. Я уже это почувствовал. Я, понимаете, психологией всегда интересовался, очень интересовался. Следующий момент: «А как вы одеты, молодой человек?». А я был как одет? У меня был военный китель брата, потому как тогда с костюмами не было легко, как сейчас. Да еще, чтобы шили их из того материала или из другого, так же не было! И был в сапогах. Он говорит: «Как вы одеты?». Ну, я как-то смекнул, не знаю почему, я возьми и скажи: «Я одет под товарища Сталина!» (Смех). Смотрю, что будет дальше, а он мне отвечает: «А я одет под товарища Ленина!» (Смех). После чего он говорит так: «Ну все, я иду к Саше». А Саша - это был директор Лейпунский. Тогда Обреимова уже сняли и был Александр Ильич Лейпунский. «Мы вас зачислим в теоротдел. Но, поскольку у вас знаний нету никаких толковых, то вам надо будет сдавать экзамены» Я говорю: «Ну, это я сделаю, конечно». Экзаменов много, десять или девять, я уже забыл. В то время термин какой был - теорминимум. Сдал теорминимум, тогда, ты становишься как бы его подмастерьем, и он разрешает обращаться к себе, к нему, то есть, на, «ты». Он мне говорит, меня по имени называя, а его я должен называть «Дау». Значит уже порядок. Экзамены я сдал.

Я, между прочим, был третьим, кто сдал экзамены. Первым был Компанец Александр Соломонович, царство ему небесное. Прекрасный теоретик был. Второй Евгений Михайлович Лифшиц, старший Лифшиц, брат Ильи Михайловича. И третий был я. Потом, после того, как экзамен сдан, дается тема. ... Дальше началась у нас работа с Ландау, потом приехал Померанчук. Это был мой первый большой друг. И мы с ним до конца его дней были большими друзьями. Это первая веха очень важная. И мы с ним работали не покладая рук. Померанчук очень любил Ландау, и я очень любил Ландау, и, хотя Ландау иногда бывал резок, мы его боготворили. Дело дошло до того, что когда позже Ландау вынужден был уехать из Харькова (я сейчас к этому вопросу еще вернусь), то он, Померанчук, сказал на комсомольском собрании: «Я за Ландау пойду на каторгу». Вот так и заявил прямо. Что получилось дальше? Дальше получились тяжелые страницы, хотя это сейчас кажется просто. Наступили тяжелые дни, когда 37-й год начался. ...Так что же было в эти тяжелые годы с Ландау? Тут не место все рассказывать, это известно уже сейчас, разобрано. Ну, ему тоже пришлось уезжать отсюда. Благо приехал Капица, который очень его ценил, и отсюда забрал. ...Первое ужасное событие в моей жизни - это был расстрел Шубникова, Розенкевича и Горского, людей, которых я знал, уважал, ценил, особенно Льва Васильевича. Мы думали, что вообще уже и лаборатория пропадет, и все. И потом уже, слава богу, через какое-то время получилось так, что здесь начал работать Борис Георгиевич Лазарев. Он заменил Шубникова и руководил этим отделом. И он не пропал, он наоборот развивался и это тоже огромное достижение. Но тогда думали, что вообще конец. Ландау уехал в Москву. Мы были оставлены как-то сами по себе. Капица, который взял Ландау, дал только одно место. Ландау взял с собой Евгения Михайловича Лифшица. Вот так было дело. Ну, а я начал здесь снова работать, имея связь с Ландау, и так дальше....

Теперь о книгах. Вы тут указывали, что мне довелось, слава Богу, участвовать в написании книг. И мне помогали, и я участвовал, но Вы не думайте, что все было без сучка и без задоринки. Я и хотел показать эти задоринки. Тут было так - теорфизику писал Ландау с Лифшицем Евгением Михайловичем, а курс общей физики он поручил писать мне. Значит, первый раздел - механика и молекулярка, мы эту книгу написали. Конечно, главная роль была Ландау, потому что он говорил, как надо делать, как излагать и т.д. Я хочу сказать для тех,

которые, может быть, не знают, что эта книга сейчас переведена на польский, немецкий, французский, испанский. А недавно я еще получил экземпляр японский. И вот эта книжка, что с ней делается? Авторы там трое. Значит, по разделам писали мы ее, трудный материал был. Потому что это ж общая физика, как ты напишешь? Это ж надо объяснить аккуратно. А Ландау только и говорит: «Суконный язык! Переделать, переделать!». Но мы ж не обижались. Ландау же мы боготворили. вот, получилась такая картина, что когда книжку сдали в Гостехиздат, в Московию, то Ландау на минутку, как говорится, был арестован. Вы это знаете. Просидел он год. И в это время вышла верстка, и уже нужно было подписывать ее к печати. Присылают ее нам, и мы видим, что там написаны фамилии Ахиезер и Лифшиц, а имя Ландау - вымарано! Мы пришли в ужас, что делать? Ну, как-то я не помню, куда мы позвонили, но, короче говоря, в Москве тоже знали. И после того, как пришла книга в таком виде, меня и Евгения Михайловича Лифшица вызвали в Центральный Комитет, я не помню как называлось тогда - или ВКП(б), или КПСС. По-моему, ВКП(б). Нам дали пропуска. Это было на Старой площади. Вы знаете, где это, там был еще один раз, когда уезжал за границу. И сказали подняться на такой-то этаж. Мы поднялись, сидит человек очень интеллигентного вида - в пенсне, с бородкой такой. Не поймешь, или революционер старый, или не поймешь что... И разговор такой: «Вот, товарищи, такая вещь, книжка. Она нужна нашему студенчеству. Нам надо по ней учить людей. Но здесь фигурирует враг народа. И поэтому мы просим, чтобы Вы подписали сейчас заявление такого масштаба: что мы просим вымарать фамилию Ландау». Переглянулись мы с Женей и думаем, как же нам и этого положения выйти? Подумали и тогда оба, почти в один голос, говорим: «Извинит нас, пожалуйста, но Вы подумайте, ведь он еще не осужден. Он жив, здоров. Вот, предположим, завтра его освободят, и он приедет, или мы к нему приедем. И какими же мы будем глазами смотреть на нашего учителя, который говорил, как эту книгу писать. Ну, как же мы можем это дело сделать?». А он отвечает: «Вы не беспокойтесь, если Ландау будет реабилитирован, если его освободят, то мы сделаем сразу второе издание - все будет в порядке». Мы говорим: «Оно-то так, Вы все правильно говорите, но, все же, нам неудобно, ну никак это нам не подходит». Он посмотрел на нас через пенсне, как сейчас помню, я тогда ведь видел очень здорово, и я очень любил смотреть на физиономии, такое у меня было желание всегда. Посмотрел: «Да, я вас понимаю. Дайте ваши пропуска». Дали пропуска, их подписали, мы попрощались. Правда, должен повторить, вскорости вышеупомянутого

начальника тоже расстреляли. Это точно. И так оставалось. Этот экземпляр, единственный, с вымаранной фамилией, как верстка, хранился, как реликвия, у Евгения Михайловича. Сейчас я не знаю у кого он. А потом, когда Ландау вернулся, книга пошла, пошла, пошла и пошла... Это я вам хотел сказать, что вроде вот, смотри, книгу человек написал, и легко писать. Теперь приведу еще один пример, который тоже вот тут, а? Что?.. Нет, Боже упаси, - Ландау, Ахиезер, Лифшиц - только так! И никакая гайка! Не сбили нас никак! Я вам говорю, что человек то был приличный, но его-то расстреляли тоже. Дальше, все знают книжку, эта книга написана была с Ландау. А потом все знают, что есть книжка такая «Некоторые вопросы теории ядра». Ахиезер и Померанчук. Ну, Померанчук очень мало писал по причинам семейного порядка. По все равно писали мы вместе, разбирались. Потом в Москве студенты называли ее «Ах и Помер». Книжку эту все знают, наверное, и знают, что очень хорошая книжка. А вот тоже думают: взял и написал. Подумаешь, большие дела. А как было на самом деле? Тут я опустил уже из своей, выражаясь языком Гамова, мировой линии, как все происходило у меня, как я попал к Курчатову: это через Померанчука. Он меня туда сосватал, и Курчатов меня приютил, приласкал и делал очень многое для меня, и для моей семьи. Замечательный человек был Курчатов Игорь Васильевич. И мы начали большой материал собирать под названием «Теория нейтронных мультиплицирующих сред». Это, грубо говоря, реакторы. Но какой формы они могут быть, как идет там размножение нейтронов. И там еще были очень важные вещи, связанные с границей. Ведь если есть граница, то граничные условия должны быть. А с этим была очень интересная ситуация. Словом, большущая, огромная книга. Отдали ее Курчатову Игорю Васильевичу и думаем, что дальше из нее получится.... Но книжку издать нельзя было. Но, царство ему небесное, Гуревич Исаяи Сидорович, многие может быть его знают, помнят, прекрасный физик был. Он работал у Курчатова. Он приходит к Игорю Васильевичу, говорит: «Игорь Васильевич, но ведь учить-то не по чем. Давайте сделаем так. Давайте из этой книги по нейтронным мультиплицирующим средам выберем хоть какую-то часть, и пусть Ахиезер и Померанчук ее опубликуют». Ну, сказано, сделано. Так возникла эта «теория ядра». Название придумали не мы. А сделали мы вот что. Дело в том, что просто «теория ядра» мы не могли написать, потому что она же неполная. У нас был советник главный - Наум Ильич. Он был человек остроумный и в то время, как вы знаете, у товарища Сталина был какой труд «Некоторые вопросы ленинизма». Был такой труд? Или вы вообще уже ничего не

знаете? Надо знать. Историю надо знать. Тогда Наум и говорит: «Знаете что, хлопчики, вы придумайте так, напишите «Некоторые вопросы теории ядра». Так книга и возникла. И поскольку она нужна была, то мы ее сдали в Гостехиздат, а рецензентами были Игорь Евгеньевич Тамм, покойный, и Владимир Александрович Фок. Они дали блестящие отзывы, и буквально тем же летом ее издали. Книга была настолько хорошей, правда тут нам помогли Леонтович и кто-то другой, что они ее представили на премию имени Мандельштама. Это была очень престижная премия и мы получили ее за эту книжку. Так что, как видите, все было не так просто...

...Я надеюсь, что наша страна, Украина, в конце концов экономически поднимется, потому что если она не поднимется экономически, то ей трудно будет создавать свою науку и образование. Но если говорить о науке и образовании, то они абсолютно необходимы для будущего. Если мы хотим, чтобы это государство было сильным, цивилизованным, то оно должно обязательно руководствоваться или делать так, чтобы фундаментальная наука и образование были на высоте. Мы хотим, чтобы наша республика стала великой республикой, великим государством. Тогда, мы надеемся, что и наш институт; который как, вы видите, находится не в самом лучшем виде, восстановится, возродится и приобретет славу тридцатых годов. Благодарю вас.

Список авторів

Гасаналієва А.Е.....	7
Герашенко С.С.....	8
Гермаш К.В.....	10
Глазков А.О.....	11
Горох Д.В.....	12
Гостініна А.Д.....	14
Гречко Я.О.....	15
Дзюба А.В.....	17
Єфименко Н.О.....	18
Зубов Ю.Д.....	20
Іваненко О.В.....	21
Кокорев А.Е.....	22
Корюкіна В.Д.....	23
Крайня Т.О.....	25
Кройс І.К.....	27
Кроль Г.Г.....	28
Лунячек О.В.....	30
Люль М.П.....	31
Мазілін Б.О.....	33
Макарчук О.П.....	35
Маловиця М.С.....	36
Марчук Ю.М.....	38
Мироненко А.І.....	39
Наконечний М.О.....	41
Овчаренко К.С.....	43
Павлюк Д.С.....	44
Петренко О.Д.....	46
Рижов А.І.....	47
Середа К.В.....	49
Скиба Р.В.....	50
Скороход Р.В.....	51
Сребнюк П.А.....	53
Ткаченко О.С.....	55
Троценко О.Г.....	56
Трутень І.В.....	58
Усатова О.О.....	59
Чеховська А.В.....	61
Шестопалов С.В.....	62
Шовкун М.О.....	64
Ямпольський О.О.....	66

Наукове видання

**Студентська наукова конференція
з прикладної фізики
„Актуальні проблеми сучасної фізики”
до 105-річчя О. І. Ахієзера
Тези конференції**

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. Б. Денисенко*
Комп'ютерне верстання *О. Г. Носова*

Формат 60x84/16. Умов. друк. арк. 4,1. Наклад 50 прим. Зам. № 189/16

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