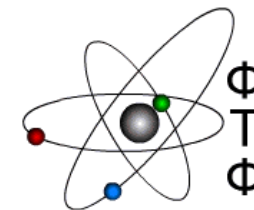


**Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна
Фізико-технічний факультет**

**Студентська наукова конференція
з прикладної фізики**

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

до 90-річчя Д. В. Волкова



**Харків
2015**

УДК 53.(082)
ББК 22.3я43
С 88

ВОЛКОВ

Дмитро Васильович (03.07.1925 - 05.01.1996)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету – Гірка Ігор Олександрович, професор, декан ФТФ
Заступник голови – Дудін Станіслав Валентинович, канд. фіз.-мат. наук,
доцент, заст. декана ФТФ

Члени комітету ФТФ:

проф. Баранник Є.О., проф. Бізюков О.А., проф. Лісовський В.О., проф.
Ходусов В.Д., доц. Кириченко В.Г., доц. Щусь А.П.,

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Фізико-технічного факультету
(протокол № 9 від 21.10.2015 р.)*

С 88 **Студентська наукова конференція з прикладної фізики „Актуальні проблеми сучасної фізики” до 90-річчя Д. В. Волкова:** Тези. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. - 72с.

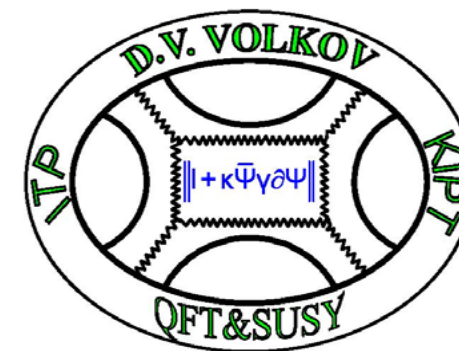
У збірнику приведені тези доповідей студентських наукових робіт з прикладної фізики у наступних напрямках: матеріалознавство та конструкційні матеріали; фізика плазми та плазмові технології; теоретична ядерна фізика; експериментальна ядерна фізика, медична та біологічна фізика. Роботи доповідалися на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

Матеріали подаються в авторській редакції.

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

Посилання на матеріали збірника обов'язкові.

© Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна, 2015



Д. В. Волков - видатний фізик-теоретик, академік Національної академії наук України, великий фахівець в області елементарних частинок, квантової електродинаміки, ядерної фізики, квантової теорії поля, фізики твердого тіла.

Народився в Ленінграді. У 1943 році був призваний в Радянську армію. У 1947р. вступив до фізичного факультету Ленінградського університету. В 1951р. переїхав на навчання до Харкова, де закінчив ядерне відділення фізико-математичного факультету Харківського державного університету в 1952 році. Після закінчення аспірантури в університеті під керівництвом академіка А. В. Ахієзера і захисту кандидатської дисертації, присвяченій скалярній квантовій електродинаміки.

У 1956 році, Д. В. Волков був направлений на роботу до нього в теоретичний відділ Харківського фізико-технічного інституту (нині це Національний науковий центр - ННЦ ХФТІ), де за майже сорок років роботи, пройшов шлях від наукового співробітника до начальника лабораторії, академіка. В 1959р. він запропонував нову схему квантування полів - так звану парастатистику або статистику Гріна - Волкова, яка зіграла важливу роль у розвитку уявлень про кварковий структури адронів.

Світову популярність Волкову принесло відкриття нового типу симетрії — суперсиметрії (1972р. у співавторстві з В. П. Акуловим). і побудова на її основі теорії супергравітації, узагальнюючої теорії тяжіння Ейнштейна (1973р. у співавторстві з В. А. Сорокою). В 1968 р. захистив докторську дисертацію. У 1976р. обраний членом-кореспондентом АН УРСР, нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора, в 1977 р. йому присвоїли звання професора. В 1988р. обраний дійсним членом Академії Наук України. Йому було присвоєно звання Заслуженого діяча науки України. В 1997р. (посмертно) була присуджена Міжнародна премія ім. Ст. Тіррінга за відкриття суперсиметрії і супергравітації, а в 2010 році (посмертно) - Державна премія України в галузі науки і техніки.

Багато років Д. В. Волков проводив семінари по суперсиметрії на фізико-технічному факультеті Харківського державного університету, в якому брали участь молоді вчені та студенти.

Одягнені частинки в квантовій електродинаміці

Арсланалієв А.М. (науковий керівник – проф. Щебеко А.В.)

Ми покажемо, яким чином концепція одягнення в квантовій теорії поля (КТП), що була запропонована Гринбергом і Швебером [1] і розвинута Широковим і Шебеко [2,3], може бути застосовувана не тільки в теорії взаємодіючих мезонних та нуклонного полів [3,4,5], але так само і в квантовій електродинаміці (КЕД). Як раніше, використовуючи миттєву форму релятивістської динаміці за допомогою методу унітарних одягаючих перетворень (УОП), ми отримали новий аналітичний вираз для гамільтоніана в КЕД. Кожне таке перетворення має метою переформулювати ту чи іншу польову модель у термінах станів одягнених частинок і взаємодій між ними. Так, наприклад, фізичний вакуум, будучи станом системи з найнижчою енергією, не містить одягнених частинок, в той час як одягнені одностинкові стани будуються дією відповідних операторів народження на фізичний вакуум. Не дивлячись на те, що первинна електромагнітна взаємодія була обрана в кулонівській калібровці з явним порушенням лоренц інваріантності, остання відновлюється скасуванням не коваріантного кулонівського внеску вже при першому одягаючому перетворенні.

Стартуючи з оператора взаємодії в КЕД (див., наприклад (ф. (8.4.3) та (8.4.23)) в [6]), ми будемо оператори, відповідальні за різноманітні фізичні процеси в системі взаємодіючих електронів, позитронів та фотонів.

В уявленні одягнених частинок оператор взаємодії набуває форми

$$K_I(\bar{b}_c) = K(e^-e^- \rightarrow e^-e^-) + K(e^+e^+ \rightarrow e^+e^+) + K(e^+e^- \rightarrow e^+e^-) + K(\gamma e^\pm \rightarrow \gamma e^\pm) + K(e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma) + K(e^-e^- \rightarrow \gamma e^-e^-) + \dots$$

У порядку e^2 оператор взаємодії між одягненими електронами

$$K^{(2)}(e^-e^- \rightarrow e^-e^-) = \int \sum_{\mu} V(1', 2'; 1, 2) b^{\dagger}(1') b^{\dagger}(2') b(1) b(2) dp_1' dp_2' dp_1 dp_2$$

з квазіпотенціалом

$$V(1', 2'; 1, 2) = V(\text{Feynman-like}) + V(\text{off-shell}),$$

$$V(\text{Feynman-like}) = \frac{e^2}{2(2\pi)^3} \frac{m_e^2}{\sqrt{E_{p_2'} E_{p_1'} E_{p_2} E_{p_1}}} \delta(p_1' + p_1' - p_1 - p_2) \frac{\bar{u}(1') \gamma^{\mu} u(1) \bar{u}(2') \gamma_{\mu} u(2)}{(p_1' - p_1)^2},$$

$$V(\text{off-shell}) = -\frac{e^2}{2(2\pi)^3} \frac{m_e^2}{\sqrt{E_{p_2'} E_{p_1'} E_{p_2} E_{p_1}}} \delta(p_1' + p_1' - p_1 - p_2) \frac{1}{2} \frac{\bar{u}(1') \gamma_{\mu} (P^{\mu} - P^{\mu}) u(1) \bar{u}(2') \gamma_{\nu} (P^{\nu} - P^{\nu}) u(2)}{(p_1' - p_1)^2 k^2} - \frac{\bar{u}(1') \gamma^0 u(1) \bar{u}(2') \gamma^0 u(2)}{k^2} \frac{(p_1' - p_1)^2 - (p_2' - p_2)^2}{(p_1' - p_1)^2}$$

Список літератури:

1. O.Greenberg, S.Schweber, Clothed Particle Operators in Simple Models of Quantum Field Theories In: Nuovo Cimento 8 (1958) 378;
2. Shebeko, A., Shirokov, M., Clothing Procedure in Relativistic Quantum Field Theory and Its Applications to Description of Electromagnetic Interactions with Nuclei (Bound Systems) In: Prog. Part. Nucl. Phys. 44 (2000);
3. Shebeko, A., Shirokov, M., Unitary Transformations in Quantum Field Theory and Bound States In: Phys. Part. Nucl. 32 (2001);
4. Korda, V., Canton L., Shebeko, A., Relativistic Interactions for the Meson-Two-Nucleon System in the Clothed-Particle Unitary Representation In: Ann. Phys.322 (2007);
5. Korda, V., Shebeko, A., Clothed Particle Representation in Quantum Field Theory : Mass Renormalization In:Phys. Rev. 70 (2004);
6. Bjorken J.D., Drell S.D., Relativistic Quantum Mechanics. McGraw-Hill, NewYork, 1964;
7. S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, vol. 1, University Press, Cambridge,1995.

Перші експерименти за допомогою діагностичного комплексу зондування плазми пучком важких іонів (зпві) на торсатроні ураган-2м

Байнаєв О.Х. (науковий керівник – кандидат физ.-мат. наук Комаров О.Д.)

Вперше в Україні введено в дію систему діагностики плазми за допомогою пучка важких іонів на торсатроні Ураган-2М. У перших експериментах з проведення зондувального пучка крізь магнітне поле торсатрона (0,39... 0,4 Т) застосовано первинний пучок іонів цезію з енергією 17...120 кеВ та струмом 10...150 мкА. Згідно з попередніми розрахунками проведено реєстрацію вторинного пучка на першу пластину, яка відхиляє іони у вторинному іонопроводі (струм 30...100 нА) а енергії первинного пучка 70...80 кеВ та струму іонів 100 мкА. Здійснено проведення первинного пучка з енергією 17...20 кеВ (струм 10 мкА) крізь магнітне поле торсатрона до детекторних пластин аналізатора.[1]

Список літератури:

1. А.И. Жежера, А.А. Чмыга, Г.Н. Дешко, Л.И. Крупник, А.С.Козачек, А.Д. Комаров, С.М. Хребтов, С.М. Мазниченко, Ю.И.Ташев, Г.Г.Лесняков, И.К. Тарасов, С.В. Перфилов, Перші експерименти за допомогою діагностичного комплексу зондування плазми пучком важких іонів (ЗППВІ) на торсатроні УРАГАН-2М, ВАНТ №1 2015г., (стр. 276-279)

Мониторинг тока пучка ускоренных частиц с помощью цилиндра Фарадея

Моніторинг току пучка прискорених частинок за допомогою циліндра Фарадея

Богровецька Л.І. (науковий керівник – ст. викладач Стервосдов С. М.)

Для измерения величины среднего тока пучка ускоренных частиц в экспериментальной технике уже более полувека используют в качестве коллектора заряда цилиндр Фарадея (ЦФ). Его работа основана на известном физически ясном принципе и все сложности его применения связаны с

организацией съема заряда с ЦФ для передачи в устройство измерения. Исторически первыми измерения производили баллистическими гальванометрами [1], затем появились схемы-интеграторы тока [2]. В современной экспериментальной технике функцию измерения выполняет амплитудно-цифровой преобразователь, на входе которого включен предусилитель для преобразования тока в напряжение [3].

Конструкция цилиндра Фарадея определяется требованиями конкретной физической задачи и может быть достаточно сложной, особенно для измерения интенсивности коротких сгустков или пучков частиц высоких энергий. Расчет цилиндра Фарадея проводится с учетом требуемой точности измерения. Главным критерием является допустимая утечка заряда за счет проницаемости цилиндра Фарадея для частиц пучка. Для минимизации утечки в конструкции обычно используют комбинацию легкого (графит, алюминий) и тяжелого (медь, свинец) материалов.

В настоящей работе решена задача по разработке и созданию аппаратно-программного комплекса для измерения тока пучка ускоренных частиц в диапазоне энергии 1-90 МэВ и величины среднего тока 1-1000 мкА на базе цилиндра Фарадея с использованием микроконтроллера PIC18F4520, а именно:

- ✓ разработана электронная схема сопряжения вращающегося цилиндра Фарадея с микроконтроллерным модулем в среде моделирования схем Proteus;
- ✓ собран и испытан макет прибора, пригодного для контроля тока пучка линейного ускорителя электронов;

Для создания и компиляции кода микроконтроллера была использована программная среда MPLAB.

Ток пучка в макете имитирует источник импульсов напряжения, вырабатываемый фотоприемником под действием лазерной засветки. Основные измерительные функции, так же как и индикацию результата, и соединение с ПК, выполняет микроконтроллер PIC18F4520. Назначение прибора может быть изменено сменой предусилителя, изменения программы

микроконтроллера и заменой исходного датчика, например, на радиационно-акустический или магнитоиндукционный.

Список литературы:

1. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. Измерение параметров пучка заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1980.
2. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. — 304 с.
3. Щагин А.В., Лысенко В.Ф. Широкодиапазонный преобразователь заряда пучка частиц, падающего на цилиндр Фарадея, в число импульсов. ПТЭ, 1985, № 5, с.120.

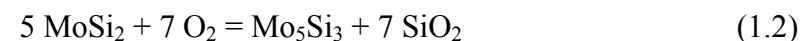
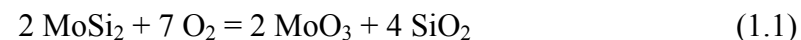
Формирование оксидного слоя SiO₂ на поверхности дисилицида молибдена.

Формування оксидного шару SiO₂ на поверхні дисиліциду молібдену

Бурковська В.В. (науковий керівник – проф. Литовченко С.В.)

В настоящее время силициды тугоплавких металлов, такие как MoSi₂, Mo₅Si₃, WSi₂ и другие, широко применяются в качестве высокотемпературных покрытий вследствие достаточно высокой коррозионной стойкости [1]. Данное свойство основано на формировании на их поверхности защитной пленки из двуокиси кремния SiO₂, которая препятствует проникновению кислорода к металлической подложке. Регулируя адгезию силицидных прослоек, фазовый состав защитного покрытия, его структуру, проницаемость и другие характеристики, можно управлять высокотемпературными свойствами изделий.

На дисилициде молибдена защитная пленка SiO₂ формируется в результате окисления в первоначальный момент времени по реакции (1.1) [2]. После формирования пленки SiO₂ на всей поверхности образца скоростноопределяющим процессом становится диффузия, и окисление дисилицида молибдена происходит по реакции (1.2).



При температурах 1550–1800 °С защитная пленка SiO₂ заполняет трещины в дисилицидном слое, увеличивая его жаростойкость. Уровень жаростойкости силицидов молибдена определяется скоростью формирования этой пленки, а эта скорость, в свою очередь, определяется температурой и концентрацией кремния, находящегося в пределах области гомогенности фазы MoSi₂ [3]. Содержание же кремния в силицидном покрытии зависит от способа и температуры его формирования.

При выполнении работы путем двухстадийного диффузионного насыщения с промежуточным вакуумным отжигом были получены образцы молибдена с дисилицидным покрытием толщиной 50–240 мкм. Для формирования на поверхности дисилицида молибдена оксидного слоя образцы подвергались косвенному нагреву в воздушной среде при температуре 500 – 1850 °С в течение 5–60 часов.

Электронно-микроскопический и рентгеновский анализ оксидного слоя, полученного на поверхности дисилицида в ходе низкотемпературного окисления, подтвердил присутствие в слое диоксида кремния, включений оксида молибдена и газонаполненных пор. При высокотемпературном окислении при T>1500 °С между слоями дисилицида и оксида кремния возможно образование низшего силицида Mo₅Si₃ в виде отдельной прослойки.

Вследствие диффузии кремния в молибден, усиливающейся с ростом температуры окисления, некоторое количество Mo₅Si₃ образуется и на внутренней границе молибденовой подложки и дисилицидного слоя, при этом в некоторый начальный период времени этот слой очень тонкий, и можно рассматривать границу между фазами MoSi₂ и Mo. В дальнейшем слой Mo₅Si₃ прирастает по классическому квадратичному закону, что хорошо согласуется с уже известными данными [4].

Список литературы:

1. Kurokawa Kazuya. Classification of Oxidation Behavior of Disilicides / Kazuya Kurokawa, Akira Yamauchi // Solid State Phenomena. – 2007. -

- V. 127. – P. 227-232.
2. Бялобжеский А.В. Высокотемпературная коррозия и защита сверхтугоплавких металлов / А.В. Бялобжеский, М.С. Цирлин, Б.И. Красилов. - М.: Атомиздат, 1977. - 224 с.
3. Нечипоренко Е.П. Область гомогенности MoSi₂ / Е.П. Нечипоренко, Н.С. Полтавцев, В.Л. Капустин, Ю.Т. Кондратов // Изв. АН СССР. Неорг. матер. - 1973. – Т. 9. - С. 1829-1830.
4. Нечипоренко Е.П. Защита металлов от коррозии / Е.П. Нечипоренко, А.П. Петриченко, Ю.Б. Павленко - Х.: «Вища школа», 1985. – 112 с.

Измерение тока пучка ускорителя с помощью радиационно-акустического датчика на базе микроконтроллера

PIC18F4520

Вимірювання струму пучка прискорювача за допомогою радіаційно-акустичного датчика на базі мікроконтролера

PIC18F4520

Вознюк Д.В. (науковий керівник – ст. викладач Стервоєдов С. М.)

Принцип работы акустических преобразователей основан на радиационно – акустических эффектах, возникающих в мишени при прохождении через неё пучка ускоренных частиц [1].

При умеренных плотностях выделившейся энергии, когда не происходит фазовых превращений в веществе, генерация звука происходит вследствие нагревания и теплового расширения среды, в области поглощения проникающего излучения. Это терморadiационный (термоупругий) механизм генерации звука [2].

Прямая зависимость между амплитудой сигнала выдаваемой датчиком и током пучка, в которую входит параметр Грюнайзена, дает возможность определить параметры пучка. Работа акустических датчиков основывается на преобразовании механических колебаний в электрический сигнал посредством пьезокерамики [3].

В данной работе разработана схема, собран и испытан макет прибора на основе радиационно – акустического датчика, пригодного для контроля тока пучка электронов

энергии 1-90 МэВ и величины импульсного тока до 20 А. Все измерительные функции, а также отображение промежуточных данных, обработку и передачу сигнала на ПК выполняет микроконтроллер PIC18F452, который был выбран как оптимальный вариант соотношения цены и технических характеристик.

Была проведена проверка работы измерительной системы имитацией звуковых волны механическим путем.

Достоинством схемы является универсальность и помехоустойчивость. Помехоустойчивость реализована выбором режима работы на резонансных частотах пьезокерамики, которая использовалась в датчике [4]. Ядро схемы спроектировано используя общие правила обеспечения работы микроконтроллера [5], поэтому заменяя блоки предварительной обработки сигнала, датчик и перепрограммируя микроконтроллер можно менять назначения прибора.

Отличием данной измерительной системы от аналогов, основанных на других принципах, является то, что измерение может проходить на пучках любых частиц, необходимо лишь подходящая энергия пучка, а также то, что данная система может быть использована как на прозрачных, так и на непрозрачных мишенях. Достаточно провести калибровку датчика и подкорректировать работу управляющей программы для получения работающего измерительного прибора.

Список литературы:

1. Аскарьян Г.А. // Атомная энергия 1957. Т. 5. Вып. 8. С. 152-153.
2. Лямшев Л.М. Радиационная акустика. М.:Наука-Физматлит, 1996. 304 с.
3. Армейский Е.Л. Приборы и техника эксперимента. / Армейский Е.Л., Емельянов В.Л., Рыбин В.М. 1973. № 2. С. 306с.
4. Москалев В.А. Измерение параметров пучков заряженных частиц./ Москалев В.А., Сергеев Г.Л. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
5. PIC18FXX2. Data Sheet, High-Performance, Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D

Коррозионные исследования образцов магниевого сплава Корозійні дослідження зразків магнієвого сплаву

Волкова А. Ю. (научовий керівник - проф. Папіров І. І.)

В настоящее время увеличивается применение магниевых сплавов в различных областях медицины, в частности – ортопедии и кардиологии. Исследование коррозии в условиях максимально возможного приближенных к реальным крайне важно, так как металлы выделяют токсичные металлические ионы и продукты коррозии, которые могут вызвать воспалительные реакции и повредить ткань.

Для большинства свойств магниевых сплавов определяющими являются условия получения сплава и методы обработки (температура, деформация, легирование и др.) Магний в чистом виде применяется очень редко, так как его недостатком является пониженная коррозионная устойчивость в присутствии влаги. В идеале сплав должен быть пластичным, нетоксичным и корродировать равномерно.

Различные виды полуфабрикатов магниевых сплавов (прутки, проволока, трубные заготовки, листы) получают с помощью пластической деформации, в результате которой удаётся повысить прочностные свойства сплавов.

Особенностью магниевых сплавов, в том числе легированных редкоземельными металлами (РЗМ), является наличие низкой пластичности при температурах близких к комнатной. С повышением температуры пластичность возрастает, и эти сплавы можно деформировать с большим коэффициентом обжатия.

В данной работе для коррозионных испытаний использовались две шайбы диаметром 12 мм слитка 88ИО сплава 33, вырезанные на разной высоте. Образцы данного сплава получались при выдавливании горячим прессованием при температуре 300°C на диаметр 12 мм. Степень деформации составляла 60%. После выдержки образцов №1 и №2 в физиологическом растворе в течение 29 и 24 дней наблюдалась коррозия, которая имеет межкристаллитный характер. Наличие

пор приводит к появлению язвенной коррозии при частичной пассивации прилегающих поверхностей.

Скорость коррозии для образцов составляла 0,201 мг/см²*сут и 0,265 мг/см²*сут соответственно. Весовые потери равнялись 13,2 мг и 14,4 мг. Величины скоростей коррозии слитка 88ИЮ, выдавленного горячим прессованием на диаметре 12 мм в растворе 0,9% NaCl, определяемые по результатам отслеживания количества магния, переходящего в раствор, являются сравнительными, численные значения скорости коррозии, рассчитанные по результатам весовых потерь, более высокие. Включения пор, неравномерность структуры и, возможно, состава приводят к более интенсивному образованию продуктов коррозии, получению более толстого слоя. Рыхлый толстый коррозионный слой не защищает поверхность образца, но удерживает все большее количество магния в оклюдированном осадке. Остаточные напряжения после выдавливания вносят определяющий вклад в ход коррозионного процесса на образцах при соблюдении одинаковых условий подготовки образцов.

Наряду с активными участками коррозии отмечено наличие катодных участков, расположенных по периферии прутка и по центрами вихревых деформационных линий, защищенных плотными беловатыми продуктами коррозии. Впервые определено повышенное содержание скандия в их составе, объяснено их пассивирующее воздействие.

Список литературы:

1. Портной К. И., Лебедев А. А. Магниево-алюминиевые сплавы. Свойства и технология — М. 1982 г
2. Справочник "Методы контроля и исследования легких сплавов" — М.: Металлургия. 1985г.
3. Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии / Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. — М.: Физматлит, 2002. 336 с.
4. Рохлин Л. Л. Магниево-алюминиевые сплавы, содержащие редкоземельные металлы — М.: Наука. 1980 г.
5. Пироженко Л. А., Сивцов С. В. Вопросы атомной науки и техники — Харьков: 2008г

Особенности определения активной мощности в сильноточных импульсных разрядах Особливості визначення активної потужності в сильнострумових імпульсних розрядах

Вусик М.М (научовий керівник - доц. Целуйко О.Ф.)

Сильноточные импульсные разряды активно используются в научных исследованиях, а также находят широкое применение в технике и технологиях. На их основе создаются мощные генераторы СВЧ излучения, генераторы излучения в диапазоне вакуумного ультрафиолета [1], мягкого и жесткого рентгеновского излучения. Особенностью таких разрядов, является относительно простое получение импульсной мощности в десятки, сотни и тысячи мегаватт, что абсолютно недостижимо в стационарных системах. Таким образом, актуальным является вопрос о правильном определении динамики вводимой в разряд активной мощности.

В данной работе теоретически исследуются особенности определения активной мощности, вводимой в сильноточный импульсный разряд. Расчет проводится с использованием интегро-дифференциального уравнения цепи с зависимыми от времени коэффициентами. В основе расчета лежат экспериментально полученные осциллограммы разрядного тока. Измерение разрядного тока производилось с использованием интегрирующего индукционного датчика тока.

Основная проблема при определении активной мощности связана с корректным восстановлением разрядного тока. Незначительные ошибки в 1-2 % могут привести к появлению на динамике активной мощности огромных отрицательных значений, особенно при переходе от высоковольтной к сильноточной стадии разряда. Как правило, осциллограмму тока, при использовании интегрирующего индукционного датчика тока, можно получить лишь с определенной степенью точности. Точность измерения определяется соотношением между индуктивным сопротивлением катушки и полным активным сопротивлением датчика. Показано, что при восстановлении токового сигнала необходимо учитывать не

только это соотношение, но и паразитную емкость измерительной цепи, которая включает в себя емкость катушки, измерительного кабеля и входной емкости осциллографа. В результате проведенных расчетов было получено и верифицировано уравнение для восстановления разрядного тока.

Еще одной особенностью определения активной мощности является то, что осциллограммы разрядного тока, полученные посредством цифровых осциллографов, имеют незначительный уровень шума, что делает не возможным прямое взятие производной разрядного тока. Таким образом, необходимо проводить очистку токового сигнала от шума. На базе проведенного анализа установлены наиболее приемлемые способы очистки осциллограмм от шумов. Показано, что для очистки исходного сигнала необходимо использовать метод параболической аппроксимации, а для получения производной по времени – метод Савицкого-Голея (аппроксимация полиномом n -степени).

Поскольку получение больших разрядных токов напрямую связано с уменьшением общей индуктивности разрядной цепи, то изменение индуктивности разрядного промежутка может оказать существенное влияние на получаемые результаты. Ввиду этого, следует выбирать наиболее достоверную математическую модель, отвечающую за изменение индуктивности разрядного промежутка.

Список литературы:

1. Yusuke Teramoto, Gohta Niimi, Daiki Yamatani et al. Development of Xe- and Sn-fueled high-power Z-pinch EUV source aiming at HVM // International EUVL Symposium.– SPIE No.30.– 2006.– p. 32-37

Розробка катодного вузла пенінговського джерела з поздовжньою екстракцією іонів H^-

Гетьман В.А. (науковий керівник - доц. Серета І.М.)

Використання негативних іонів водню H^- , наприклад, для нагріву плазми, корпускулярної діагностики плазми, а також для інжекції в прискорювачі циклотронного і тандемного типів,

обумовлює великий інтерес до пошуку ефективних методів їхнього отримання. Найбільш привабливим методом генерації іонів H^- для подальшого використання в плазмових пристроях є утворення їх в об'ємі плазми за рахунок процесу дисоціативного прилипання коливально збуджених молекул водню до низько енергетичних електронів [1]. Можливим шляхом забезпеченням інжекції коливально збуджених молекул водню в область з необхідною кількістю низько енергетичних електронів є використання розряду Пенінгу з металогідридним катодом. Десорбція водню з такого катоду в збудженому стані суттєво підвищує ефективність утворення іонів H^- , що зазвичай витягаються поперек магнітного поля із прикатодної області розряду [2]. З іншого боку, виявлений в роботі [3] ефект виходу електронів в аксіальному напрямку з розряду Пенінга з металогідридним катодом відкриває можливість значно спростити конструкцію джерела шляхом екстракції іонів H^- уздовж магнітного поля.

Робота присвячена розробці конструкції катодного вузла для ефективної сепарації іонів H^- у вихідному аксіальному потоці заряджених частинок. Враховуючи велику різницю в масі іона водню і електрона сепарація буде проводитися за допомогою неоднорідного магнітного поля, що створюється в області за катодом-відбивачем, за допомогою зустрічного включення додаткової котушки магнітного поля [].

Розрахунок додаткової котушки та топології магнітного поля виконано в програмі Femm4.0[©] на підставі траєкторій заряджених частинок, що були визначені шляхом чисельного рішення рівняння руху [4] методом Рунге-Кутти четвертого порядку в пакеті MathCad[©].

В результаті проведення чисельних розрахунків була побудована модель, що дозволяє обирати оптимальні зовнішні параметри для ефективної сепарації іонів H^- з аксіального потоку заряджених частинок. Експериментальна перевірка даної моделі проводилась шляхом ослаблення аксіального електронного пучка в побудованому магнітному полі. Гарний збіг експериментальних та розрахункових даних показала

можливість застосування моделі для інтерпретації наступних експериментів.

Список літератури:

1. K.N. Leung, C.A. Hauck, W.B. Kunkel, S.R. Walther. Optimization of H⁻ production from a small multicusp ion source. //Sci. Instrum., 60 (4), 531 (1989).
2. V.N. Borisko, S.V. Borisko, Ye.V. Klochko, D.L. Ryabchikov. Investigation of emission characteristics of H⁻ ion source on the basis of reflective discharge with metal-hydride cathode. The Journal of Kharkiv National University № 569, physical series Nuclei, Particles, Fields issue 3 /19/ 2002, p. 91-93.
3. Klochko Ye.V., Ryabchikov D.L., Sereda I.N., Tseluyko A.F. Influence of metal-hydride cathode on electron yield from PIG// Probl. of Atomic Sci. and Tech. Series: "Plasma electronics and new acceleration methods" (7). 2010, №4, p. 226-229.
4. Молоковський С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки // Ленинградское отд. изд. «Энергия», 1972 –С. 203–205.

Оптические свойства наноразмерных молекулярных кластеров Оптичні властивості нанорозмірних молекулярних кластерів

*к.ф.-м.н. І.І. Гранкіна (науковий керівник – к.ф.-м.н, с.н.с. О.В. Сорокін)
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України*

Высокоупорядоченные люминесцентные молекулярные ансамбли красителей, так называемые J-агрегаты, представляют большой интерес благодаря своим уникальным оптическим свойствам, таким как сверхвысокие коэффициенты экстинкции, эффективная миграция энергии, рекордно высокие коэффициенты кубической восприимчивости и др. Известно, что оптические свойства J-агрегатов связаны с коллективизацией электронных возбуждений, а также появлением экситонных состояний (френкелевского типа) за счет трансляционной симметрии в молекулярных цепочках [1]. Такое явление возможно только за счет высокой степени упорядоченности молекул в цепочках, что достигается благодаря плоскому строению молекул, из которых строятся J-

агрегаты, таким как цианиновые и порфириновые красители. Интерес к твердым образцам J-агрегатов связан в первую очередь с перспективностью практического использования тонкопленочных материалов. Например, пленочные образцы J-агрегатов могут быть использованы в качестве насыщающегося поглотителя лазерного излучения, элементов оптической памяти и нелинейной оптике. Это связано, в первую очередь, со значительным повышением стабильности при формировании J-агрегатов в пленках [2]. С другой стороны, при этом спектральные свойства J-агрегатов могут значительно измениться по сравнению с J-агрегатами в водных растворах. Поэтому в данной работе исследовано влияние условий формирования J-агрегатов в различных матрицах (полимерных пленках, матрицах анодного оксида алюминия и водных пулах обратных мицелл) на их экситонные характеристики, в частности на экситонную миграцию, которая привлекает внимание исследователей, из-за перспективы использования J-агрегатов в качестве аналогов светособирающих антенных комплексов (Light Harvesting Complex).

Список литературы:

1. Марков Р.В. Резонансный поглотитель на основе тонких пленок J-агрегатов псевдоизоцианина / Р.В. Марков, З.М. Иванова, А.И. Плеханов, Н.А. Орлова, В.В. Шелковников // Квант. электроника. – 2001. – т. 31, № 12. – С. 1063 – 1066.
2. Shelkovnikov V.V. Nanometer films of polymethine dyes in optical memory and nonlinear optics / V.V. Shelkovnikov, A.I. Plekhanov, N.A. Orlova // Nanotechnol Russia. – 2008. – Vol. 3. – P. 521 – 525.

Современные достижения и перспективы развития солнечных элементов на основе органических полупроводников

Сучасні досягнення та перспективи розвитку сонячних елементів на основі органічних напівпровідників

Гриценко В.В. (науковий керівник – к. т. н., с.н.с., Удовичький В.Г.)

Энергетика является основой развития производительных сил в любом государстве. В Украине, к сожалению,

энергетическая проблема сейчас также стоит особенно остро и поэтому является одной из наиболее важных и актуальных. Одним из наиболее эффективных и перспективных путей решения энергетической проблемы является использование возобновляемых источников энергии, в частности, энергии Солнца. В плане использования энергии солнца наибольший интерес представляет прямое преобразование солнечной энергии в электрическую, которое осуществляется в фотоэлектрических преобразователях - солнечных элементах. В течение последних 10 лет в мире наблюдается бурный рост инвестиций в разработку и создание солнечных батарей и, как следствие, значительно возросло количество получаемой с их помощью электроэнергии.

Эксперименты проводились в лаборатории наноструктур Научного физико-технологического центра МОН и НАН Украины. Для нанесения пленок использовалась установка "Вакуумный универсальный пост ВУП-5М", предназначенная для получения пленок из различных материалов с высокой производительностью. При нанесении пленок использовался метод термического испарения. Целью было получение тонких пленок оксованадийфталоциана методом термического испарения в вакууме. Выбор материала пленок (осованадийфталоцианина) обуславливался тем, что данный органический полупроводник по сравнению с другими полупроводниками фталоцианинового ряда имеет сильную полосу оптического поглощения в области красной части спектра солнечного излучения и это дает возможность расширения рабочего спектра солнечных элементов на данную область.

В работе проведено сравнение неорганических солнечных элементов и элементов на основе молекулярных органических соединений. Показана актуальность производства бездефектных пленок органических полупроводников с использованием фталоцианина и его производных. Выполнены экспериментальные исследования и методом термического испарения в вакууме получены бездефектные тонкие пленки

оксованадийфталоцианина. Методом электронной спектроскопии подтверждена идентичность химической природы исходного вещества и полученных из него термическим испарением пленок. Установлено, что в красной области спектра полученных пленок имеется сильная полоса поглощения (max. 730 нм), что дает возможность расширения спектра работоспособности солнечных элементов на основе таких пленок в длинноволновую область спектра солнечного излучения.

Список литературы:

1. HORIZON 2020, The framework programme for research and innovation. – электронный ресурс: <http://www.khnu.km.ua/root/dept/interdept/horizon-2020.pdf>.
2. Growth of photovoltaics. – электронный ресурс: http://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics.
3. Halls, J.J. and R.H. Friend, Organic Photovoltaic devices, in Clean electricity from photovoltaics, M.D. Archer and R. Hill, Editors. 2001, Imperial College Press: London.

Синтез нітридів перехідних металів у магнетронних розпилювальних системах

Домніч І. С. (науковий керівник – доц. Зиков О.В.)

В наш час отримання тонкоплівкових покриттів є актуальною задачею в мікроелектроніці, оптиці, медицині та машинобудуванні. Матеріалами для таких покриттів є метали, діелектрики, напівпровідники, складні композити. Завдяки застосуванню тонкоплівкових структур вдалося істотно зменшити розміри електронних компонентів, підвищити зносостійкість, корозійну стійкість і міцність виробів в машинобудівництві. До теперішнього часу розроблені і широко використовуються такі методи для осадження покриттів: хімічне парове осадження, хімічне парове осадження в плазмі, направлене випаровування, реактивне випаровування, магнетронне розпилення, реактивне магнетронного розпилення. Особливе місце в технології нанесення тонких

плівки належить методам фізичного переосадження у вакуумі в магнетронних розпилювальних системах (МРС)[1-3].

З 70-х років ХХ ст. завдяки розвитку методів МРС значно поліпшилися якість нанесених покриттів. У цих пристроях, завдяки магнітній системі, електрони, що емітуються з мішені, захоплюються магнітним полем і здійснюють складний циклоїдальний рух по замкнених траєкторіях поблизу поверхні мішені. Густина плазми у цих пристроях на порядок(и) більше ніж в жевріючому розряді, що дозволило збільшити густину іонного струму на катод і швидкість іонного розпилення; вдалося знизити тиск робочого газу та поліпшити робочі характеристики розряду. Метод МР успішно використовуються для нанесення плівок оксидів, нітридів, карбідів металів та їх композитів[4-5]. Перевагами методів МРС є: (1)Висока швидкість осаження;(2)можливість контролювання стану плазми в залежності від тиску і потужності джерела;(3)магнітне утримання плазми зменшує бомбардування підкладки зарядженими частинками, що знижує її нагрівання і робочий тиск, призводить до високих швидкостей осаження та слабого забруднення плівок[6-7].

В ході роботи була вивчена література по сучасним методам і проблем реактивного плазмового синтезу покриттів, розглянуто пристрій і принцип дії магнетронних розпилювальних систем, пристрій і принцип роботи експериментальної кластерної установки для синтезу складнокомпозиційних сполук на базі магнетронного і ВЧ індукційного розряду. Проведені експериментальні дослідження вольт-амперних характеристик магнетронного розряду на таких газах як аргон, кисень та азот для різних матеріалів мішені (алюміній, титан). Отримано, що для чистого аргону при всіх матеріалах мішені і при всіх досліджених тисках спостерігається однакова форма і поведінка ВАХ. При напуску кисню спостерігається яскраво виражений ефект гістерезису на всіх мішенях з алюмінію і цирконію – має місце S-подібна крива, а на мішені з титану –N-подібна крива. При напуску азоту ефект гістерезису присутній на ВАХ для

алюмінію (аналогічний такому для кисню) і титану. Таким чином, основними результатами роботи є: вивчена науково-технічна література(книги, огляди, оригінальні статті); вивчено пристрій і устаткування кластерної системи; вивчено принципи роботи МРС, переваги та недоліки; виміряні вольтамперні характеристики МРС при роботі в суміші газів Ar,N₂,O₂ при розпиленні мішеней з Al, Ti, Zr; проведено технологічний процес синтезу TiN, з протоколюванням даних на ПК.

Список літератури:

1. А. В. Кузьмичов. Магнетронные розпилювальні системи.//М.-Київ «Аверс».-2008.
2. Б. С. Данілін, В. К. Сырчин. Магнетронные розпилювальні системи. // М. - радіо і зв'язок.-1982.
3. С. Deshpandey, R. F. Bunshash. Plasma assisted deposition techniques and synthesis of novel materials. // Thin Solid Films.-163.1988.-P. 131-147.
4. J. Musil Low-pressure magnetron sputtering. // Vacuum/volume 50/N 3-4/1998.P.363-372.
5. J. Musil Reactive magnetron sputtering of thin films: present status and trends.// Thin Solid Films, 475 (2005) 208-218.
6. J. Musil. TiNx coatings prepared by DC reactive magnetron sputtering //Thin Solid Films, 136 (1986) 229 239.
7. J. Musil Hard and superhard nanocomposite coatings, Surface and Coatings Technology 125 (2000) 322-330.

The decays of the Higgs boson into two off-mass-shell Z or W bosons

Розпади бозона Хіггса на два Z- або W-бозона поза масовою поверхнею

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

In 2012 the ATLAS and CMS collaborations at the Large Hadron Collider detected [1] a neutral boson h with a mass of about 126 GeV with statistical significance of about five standard deviations. This particle is called the Higgs boson. At the present time detailed study of properties of the observed particle is an important task.

The Standard Model (SM) Higgs boson has the quantum numbers $J^{PC} = 0^{++}$, and all the available experimental data about

the properties of the particle h do not disfavor this scenario (see, for example, [2]). In particular, the spin of the boson h is equal to zero or two, and many hypotheses with spin two are excluded with a probability of 95% or higher [3]. At the same time, the CP properties are not ascertained, and some supersymmetric extensions of the SM assume [4] the existence of neutral bosons with negative or indefinite CP parity.

In order to clarify the CP properties of the Higgs boson we consider a neutral particle X with zero spin and arbitrary CP parity. We examine the decay of this particle into two off-mass-shell Z bosons each of which decays to a fermion-antifermion pair, i.e. the decay $X \rightarrow Z_1^* Z_2^* \rightarrow f_1 \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_2$. This process is considered for the non-identical fermions, $f_1 \neq f_2$. We study its differential width with respect to three angles of the fermions in the helicity frame and with respect to the squared masses of Z_1^* and Z_2^* . The most general $X \rightarrow Z_1^* Z_2^*$ vertex, which allows for all the possible CP properties of the particle X , is used.

Limits of applicability of an approximation $\Gamma_Z \approx 0$ are found for the presented calculation of differential widths of the given decay. By means of this approximation, we obtain a formula for the total width of the decay $X \rightarrow Z_1^* Z_2^* \rightarrow f_1 \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_2$ (the formula is valid in case $f_1 = f_2$ as well) and a formula for the total decay width of $h \rightarrow Z_1^* Z_2^*$. These formulas are more general and more precise than those derived in Ref. [5].

Using CMS data [3], we have found constraints on couplings which determine the interaction of the Higgs boson with two Z bosons (such couplings are called hZZ ones) and its CP properties. Comparison of our constraints with those reported in papers [6, 7] shows significant overlaps between the CMS, ATLAS and our results. Besides, we have constrained the values of a coupling ratio not studied in [6, 7]. Note that our constraints as well as the CMS and ATLAS ones are obtained in certain particular cases.

Moreover, observables measurement of which will allow one to investigate hZZ couplings in a more general way are defined and

analyzed. Thus, study of differential distributions of the decay $X \rightarrow Z_1^* Z_2^* \rightarrow f_1 \bar{f}_1 f_2 \bar{f}_2$ and of the considered observables can yield important information on the CP properties of the Higgs boson and its couplings to two Z bosons.

References

1. G. Aad et al. (ATLAS Collaboration), Phys. Lett. B 716, 1 (2012); S. Chatrchyan et al. (CMS Collaboration), Phys. Lett. B 716, 30 (2012).
2. S. Chatrchyan et al. (CMS Collaboration), Phys. Rev. Lett. 110, 081803 (2013).
3. S. Chatrchyan et al. (CMS Collaboration), Phys. Rev. D 89, 092007 (2014).
4. Pilaftsis and C.E.M. Wagner, Nucl. Phys. B 553, 3 (1999).
5. W.-Y. Keung and W.J. Marciano, Phys. Rev. D 30, 248 (1984).
6. V. Khachatryan et al. (CMS Collaboration), Phys. Rev. D 92, no. 1, 012004 (2015).
7. Aad et al. (ATLAS Collaboration), arXiv:1506.05669v1 [hep-ex].

Влияние спектроскопических параметров возбужденных атомов иттрия на вероятность их выхода при ионной бомбардировке иттрия и алюмо-иттриевых гранатов Вплив спектроскопічних параметрів збуджених атомів ітрію на вірогідність їх виходу при іонному бомбардуванні ітрію та алюмо-ітрієвих гранатів

Зеленина І.С. (научный руководитель – к.ф.-м. н., доцент Бобков В.В.)

Бомбардировка поверхности твердого тела ионами средних энергий сопровождается распылением частиц мишени в возбужденном состоянии с последующим испусканием ими электромагнитного излучения. Это явление получило название ионно-фотонной эмиссии (ИФЭ). Расширение базовых представлений об основных механизмах ИФЭ способствует дальнейшему развитию аналитических методов исследования твердых тел [1-2].

В данной работе исследовались основные параметры ИФЭ (спектральный состав, квантовый выход, пространственное распределение излучения), возникающей при бомбардировке ионами Ag^+ поверхности иттрия и алюмо-иттриевых гранатов

(АИГ) – $Y_3Al_5O_{12}$. Исследования проводились на экспериментальной установке, которая позволяет получать сепарированный по массам пучок ионов Ag^+ с энергией 20 кэВ и плотностью тока 15 мкА·см⁻². Спектры излучения исследовались в области длин волн 250 ÷ 800 нм.

В спектре излучения частиц, выбитых из АИГ, наблюдались линии, испущенные возбужденными атомами алюминия, атомами и ионами иттрия. В спектре частиц, выбитых из металлического иттрия, присутствовали атомные и ионные линии иттрия. Следует отметить, что распределение интенсивностей атомарных линий иттрия различное для АИГ и Y. Для линий спектра Y I, испущенных атомами иттрия, возбужденными в низколежащие возбужденные состояния, наблюдалось значительное (в 2–3 раза) увеличение значения квантового выхода для АИГ в сравнении с Y. Для линий спектра Y I, обусловленных переходами из высоколежащих состояний атома иттрия, практически не наблюдалось отличий в значении квантового выхода для случая АИГ и Y. Кроме того, в спектрах АИГ и Y присутствовал ряд кантов оранжевой системы полос молекулы YO [3].

В работе также проведена оценка скорости выбитых возбужденных атомов иттрия. Оказалось, что для большинства линий, вызванных переходами из высоковозбужденных состояний, наблюдался двухскоростной состав отлетающих возбужденных атомов иттрия: «медленные» частицы с энергией 100 – 300 эВ и «быстрые» – с энергией более 4 кэВ. В то же время для линий, вызванных переходами из низковозбужденных состояний, значение кинетической энергии атомов иттрия составляло доли эВ как для АИГ, так и для иттрия.

На основе полученных результатов, можно представить действие следующих механизмов образования возбужденных состояний атомов иттрия при ионной бомбардировке Y и АИГ. Частицы, излучение которых обусловлено переходами из высоковозбужденных состояний, выбивались в процессах кратных столкновений налетающего иона с атомами твердого

тела и развития каскада столкновений в твердом теле. Излучение очень медленных атомов в низковозбужденных состояниях можно объяснить развалом возбужденной молекулы YO при ионной бомбардировке АИГ и Y.

Список литературы:

1. Gritsyna V.V., Koval' A.G., Gokov S.P., Shevchenko D.I. Comparison of the main parameters of ion-photon emission from titanium and its compounds. Proceed. NAN Ukraine. V.5. p.83. 1999.
2. Afanas'eva I.A., Bobkov V.V., Gokov S.P., Gritsyna V.V., Kovtun K.V., Trembach O.V., Shevchenko D.I. Vacuum. V.84. p.1011. 2010.
3. Р.Пирс. А. Гейдон. Отождествление молекулярных спектров. Издательство Иностранная литература. Москва. 1949.

Исследование коррозии алюминия и его сплава САВ-1 со сплавом циркония Э110 и нержавеющей сталью Х18Н10Т для оценки их совместимости в условиях реакторных установок

Дослідження корозії алюмінію та його сплаву САВ-1 зі сплавом цирконію Е110 і нержавіючою сталлю Х18Н10Т для оцінки їхньої сумісності в умовах реакторних установок

Ллюшин Л.О. (науковий керівник – н. с. ННЦ ХФТИ Зуйок В.А.)

Атомная энергетика – энергетика будущего и настоящего. Одной из важнейших характеристик атомного проекта является безопасность, которая непосредственно зависит от используемых материалов. Поэтому актуальным является создание новых, модернизация существующих материалов и проверка их совместимости в реакторных условиях.

Существующие и проектируемые реакторы имеют водяное, газовое или жидкометаллическое охлаждение. Одним из основных факторов, определяющих совместимость реакторных материалов, является электрохимическая коррозия (электролитом выступает теплоноситель), а стойкость (химическая) – химической составляющей коррозии.

В конструкциях узлов и деталей, которые применяются в ядерных установках, наиболее часто используются такие материалы, как нержавеющая сталь, циркониевые и алюминиевые сплавы. Алюминий используется в экспериментальных реакторах (корпус, оболочки ТВЭЛ/ТВС), Zr и нержавеющая сталь – традиционные материалы для эксплуатируемых ядерных энергетических установок.

Для проектирования новой экспериментальной ядерной установки с алюминиевым корпусом было необходимо проверить возможность использования циркониевого сплава Э110 или стали в качестве оболочки ТВЭЛов данного реактора.

Автоклавные испытания показали, что для контактной пары Al+Э110 (с оксидной пленкой 50 мкм) динамика коррозии практически совпадает с эталонным испытанием алюминия (оценка химической составляющей), а в парах Al+Э110 и Al+X18H10T имеет значение примерно в 2 раза меньше (около 75 мг/дм² против 140 в эталонном испытании). Электрохимические испытания (измерение плотности тока коррозии) показали, что для контактной пары САВ-1+Э110 плотность тока коррозии настолько мала, что ее невозможно зафиксировать доступными измерительными приборами. Соответственно, и гальваническая составляющая в общей коррозии САВ-1 будет пренебрежимо мала. Контакт САВ-1 с нержавеющей сталью в водной среде вызывает более интенсивную коррозию анода, чем при его контакте со сплавом Э110. Плотность тока коррозии для контактной пары САВ-1+X18H10T составляет 17 мкА/см², а для САВ-1+Э110 - порядка 1 мкА/см².

Следовательно, в ядерных установках, где неизбежен контакт разнородных материалов, предпочтительнее использовать циркониевый сплав Э110, а не нержавеющую сталь.

Перспективными направлениями в области коррозионных исследований на данный момент являются модификация поверхностей оболочек ТВЭЛов и ТВС с целью увеличения коррозионной устойчивости; анализ коррозионных процессов в

свинцово-висмутовом расплаве; изучение парациркониевой реакции и принятие мер по её предотвращению; изучение количественного влияния излучения на проводимость теплоносителя; учет химического режима теплоносителя каждого энергоблока.

Список литературы:

1. Ядерная энергетика: учебное пособие для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников / [Н.А. Азаренков, Л.А. Булавин, И.И. Залюбовский, В.Г. Кириченко, И.М. Неклюдов, Б.А. Шилиев]. – Харьков : ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 480 с.
2. Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неклюдов, П.И. Стоев. Коррозия и защита металлов. Ч. 1. Химическая коррозия металлов. Учебное пособие. – Харьков: ХНУ, 2007, 187 с.
3. Good Practices for Water Quality Management in Research Reactors and Spent Fuel Storage Facilities. IAEA Nuclear Energy Series NP-T-5.2.

Signal amplification in the quantum hybrid system

Посилення сигналу у квантовій гібридній системі

Д.С. Карпов (науковий керівник – с.н.с д. ф.-м. н. С.М. Шевченко)

Superconducting electrical circuits containing Josephson tunnel junctions (JJ) have provided an ideal testing ground for investigating the quantum mechanics of macroscopic variables, starting with the observation of quantum coherence of the superconducting phase difference across a JJ and leading to the development of superconducting qubits.

One of the most intriguing and counterintuitive phenomena in the fields of atomic physics and quantum optics is lasing. Recently there have been a number of experimental demonstrations of lasing and population inversion in superconducting systems. We study lasing in the strongly driven qubit-resonator system.

We study the real solid-state hybrid systems, which consist of superconducting qubits and waveguide coplanar resonator as a measuring instrument. We considered the case, when the resonator is assumed to be driven by two signals. The first signal on interacting the system “dresses” it, that is the energy levels of the

qubit are renormalized. The second high-amplitude driving signal interacting with the “dressed” qubit is able to amplify or subside [1]. The qubit and resonator has been investigated in the framework of the doubly-dressed states [2].

We describe the time evolution of the system by Lindblad equation. It takes account of the influence of the dissipative environment on the system. The important characteristic of such system is transmission amplitude of the signal. The transmission signal carries information about qubit state. The qubit can influence on input signal. The influence is explained by the quantum nature of such system. It is possible to get the amplification or attenuation of the signal. The main objective of the work was to study the effect of various system parameters on the value of the transmission coefficient [3].

References

1. G. Oelsner, P. Macha, O. V. Astafiev, E. Il'ichev, M. Grajcar, U. Hübner, B. I. Ivanov, P. Neillinger, H.-G. Meyer, PRL 110, 053602 (2013).
2. S.N. Shevchenko, G. Oelsner, Ya.S. Greenberg, P. Macha, D.S. Karpov, M. Grajcar, U. Hubner, A.N. Omelyanchouk, and E. Il'ichev, Phys. Rev. B 89, 184504 (2014).
3. D. S. Karpov, G. Oelsner, S. N. Shevchenko, Ya. S. Greenberg and E. Il'ichev, in preparation.

Вплив плазми на амплітуду кільватерного поля збудженого в діелектричній структурі послідовністю електронних згустків.

Князев Р.Р. (науковий керівник – д.ф.м.н. Сотніков Г.В.)

В даній роботі досліджується вплив [1] плазми на амплітуду кільватерного [2] поля збуджуваного [3] в діелектричній структурі послідовністю [4] релятивістських електронних згустків [5]. Структура [6], що розглядається, являє собою діелектричний хвилевід [7] циліндричної конфігурації з осьовим каналом [8], який заповнюється плазмою [9].

Вивчаються залежності амплітуди кільватерного поля від густини плазми для трьох випадків:

1. параметри структури та згустків фіксовані;
2. змінюється внутрішній радіус діелектричної вставки в залежності від густини плазми;
3. змінюється зовнішній радіус діелектричної вставки в залежності від густини плазми.

Для 2 и 3 випадку частота інжекції згустків драйверної послідовності підбирається відповідною до частоти ленгмюрівської хвилі та до першої моди власної діелектричної хвилі.

Показано, що у разі тонкої настройки частот власних хвиль з частотою повторення послідовності зміною зовнішнього радіуса структури, інтервал густин плазми, де амплітуда збуджених кільватерних полів значно вище, ніж у вакуумній структурі, може бути збільшена в порівнянні з двома іншими аналізованими випадками.

Показано, що при високих густинах плазми багатомодова природа власної діелектричної хвилі переходить в одномодовий режим.

Список літератури:

1. Eric Esarey, Phillip Sprangle, Senior Member, IEEE, Jonathan Krall, and Antonio Ting, IEEE Trans. on Plasma Science, 24(2) (1996) 252
2. Vladimir D Shiltsev, Physics-Uspekhi, 55(10) (2012) 965.
3. Wei Gai, in: Proceedings of the AIP Conference, 2009, p. 311.
4. A.W.Chao, Physics of Collective Beam Instability in High Energy Accelerators(Wiley, New York, 1993), p.139.
5. C. Li, W. Gai, C. Jing, J. G. Power, C. X. Tang, and A. Zholents, Phys.Rev. ST Accel. Beams, 17,091302 (2014).
6. G.V. Sotnikov, R.R Kniaziev, O.V. Manuilenko, P.I. Markov, T.C. Marshall, I.N.Onishchenko, Nucl.Instr.andMeth.inPhys.Res.A,740(2014) 124.
7. R.R. Kniaziev, G.V. Sotnikov, J. Kharkov Natl. Univ. (Physical Series "Nuclei, Particles, Fields") 54 (2) (2012) 64.
8. V. A. Balakirev, V. I. Karas, A. P. Tolstoluzhskii, Ya. B. Fainberg, Plasma Physics Reports, V.23, No. 4, (1997) p.290–298.
9. R.R. Kniaziev, P.I. Markov, I.N. Onishchenko, G.V. Sotnikov, Problems of Atomic Science and Technology (Series "Plasma Electronics") 4(98) (2015) 105.

Газодинамика в объеме пор окисленного ядерного графита

Газодинаміка в об'ємі пір окисленого ядерного графіту

Комір А.І. (науковий керівник - к.т.н. Одейчук М.П.)

Национальный Научный Центр "Харьковский физико-технический институт"

В докладе рассмотрен вопрос определения коэффициентов газопроницаемости приповерхностного слоя ядерно-чистого графита при окислении.

Предыдущими исследователями были предприняты попытки определения профилей выгорания ядерного графита [1], из которых были получены полуэмпирические формулы для расчетов профилей окисления в среде водяного пара и кислорода.

В настоящем докладе для расчетов коэффициентов газопроницаемости использовался пакет для численной гидродинамики OpenFOAM [2]. Моделирование проводилось на размерах кубов с ребрами 500, 1000, 1500 мкм с величиной вокселя 10 мкм.

Поскольку разность давлений не установлена, имеется ряд ограничений: поток через пористую среду должен быть ламинарным; поток должен быть существенно больше потока проходящего через пристеночную область. Исходя из данных утверждений разница давлений была выбрана 1 Па, с вектором скорости в пристеночной области равен нулю.

Формула расчета коэффициента газопроницаемости K выводится из уравнения Дарси [3]:

$$K = \frac{Q \cdot \mu \cdot \Delta L}{\Delta p \cdot F},$$

где Q – объемный расход газа ($\frac{m^3}{c}$), F – общая площадь объекта (m^2), Δp – разница давлений на верхней и нижней границах ($Па$), μ – динамическая вязкость флюида ($Па \cdot c$), ΔL – ширина пористой среды (m). Динамическая вязкость среды принята $2 \cdot 10^{-5}$ ($Па \cdot c$).

Верификация результатов проводилась на неокисленном графите марки АРВ (значения газопроницаемости которого располагаются в диапазоне $0,53 - 1,4 \cdot 10^{-9}$ ($\frac{m^2}{c}$)).

Среднее значение газопроницаемости $1,86 \cdot 10^{-9}$ ($\frac{m^2}{c}$) – для окисленного до 33% слоя графита. Полученный результат может использоваться для уточнения скорости окисления приграничного слоя ядерно-чистого графита.

Список литературы:

1. Robert P. Wichner, Penetration depth and transient oxidation of graphite by oxygen and water vapor / Robert P. Wichner, Timothy D. Burchell, Cristian I. Contescu // Journal of Nuclear Materials, – 2009, – Vol. 393, – p. 518-521.
2. Open Source Computational Fluid Dynamics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cfd.direct/openfoam/>. – Заголовок с экрана.
3. Дахнов А.В., Повышение достоверности лабораторных определений коэффициента проницаемости по газу на образцах горных пород / Дахнов А.В., Крюкова И.Б. // Вести газовой науки. – № 3(11), – 2012. – с. 100-109.

Измерение тока пучка ускорителя магнитоиндукционным датчиком на базе микроконтроллера pic18f4520

Вимірювання струму пучка прискорювача магнітно індукційним датчиком на базі мікроконтроллера pic18f4520
Крижановський В.С (науковий керівник –ст. викладач Стервоєдов С. М.)

Магнитоиндукционные датчики (МИД), работающие в режиме трансформатора тока (ТТ), нашли широкое применение для измерения магнитных полей пучков различных ускорителей. МИД в режиме ТТ прямо пропорционально измеряет ток и скорость изменения тока пучка, обладает 100% прозрачностью [1-3].

В настоящей работе на базе МИД создано устройство для измерения тока пучка заряженных частиц. Для разработки устройства, его компоновки и моделирования использовалось программное обеспечение AltiumDesigner 14 [4]. Для упрощения и унификации структурной схемы устройства использован микроконтроллер pic18f4520 [5]. Разработанное

устройство, позволяет проводить измерения тока пучка заряженных частиц в диапазоне значений среднего тока от 20 мА до 20 А, с шириной полосы входного сигнала 300-500 Гц.

Для имитации пучка заряженных частиц разработан и изготовлен стенд: пучок заряженных частиц имитировался входным контуром, состоящим из толстого медного проводника и входной нагрузки. Имитирующий источник заряженных частиц - генератор униполярных сигналов Г5-54 и входной контур устройства. Основные измерительные функции, так же как и индикацию результата, и соединение с ПК, выполняет микроконтроллер pic18f4520.

Во всех видах ускорительных экспериментов неотъемлемым требованием является диагностика пучка. Поэтому правильное изготовление и настройка датчика позволяет существенно сократить время и затраты на проведения эксперимента. Наш подход решает вопросы тестирования и наладки МИД, для конкретно заданных источников заряженных частиц. Возможно использование для тестирования МИД в режиме ТТ, изготовив источник тока и макет с параметрами, который имитирует заряженный пучок действующих ускорителей. Это позволит с малыми затратами проверять, определять преимущества и недостатки МИД не только в режиме ТТ, но и в других режимах.

Список литературы:

1. Калинин А.С. Диагностика пучков заряженных частиц с помощью электромагнитных датчиков в ускорительно-накопительных установках и электронно-оптических каналах: Автореф. дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 1985.
2. Смалюк В.В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях. Новосибирск 2009 -296 с.
3. Москалев В.А., Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц - М.: Энергоатомиздат, 1991 240 с.
4. Статьи и уроки AltiumDesigner 14 <http://sapr-journal.ru/uroki-altium-designer-14/>
5. PIC18FXX2. Data Sheet, High-Performance, Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D

Дослідження механічних властивостей і акустичних параметрів високоентропійного сплаву CoCrFeNiMn

Левенець А.В. (науковий керівник - д.ф.-м.н., проф. Стоєв П.І.)

Металеві п'ятикомпонентні високоентропійні сплави – новий клас матеріалів [1, 2]. Висока ентропія зміщення у сплаві розглядається як міра ймовірності збереження системи в даному стані. Головна властивість високоентропійних сплавів полягає в формуванні однофазного стабільного термодинамічно стійкого і високоміцного твердого розчину заміщення переважно з ГЦК- або ОЦК-гратками [3].

Для дослідження властивостей високоентропійних сплавів треба детально вивчити залежності характеристик структури, що утворюється в матеріалі, від параметрів процесів деформації та руйнування.

Зливки високоентропійного сплаву CoCrFeNiMn були виплавлені у дуговій печі в атмосфері чистого аргону на мідному поду, що охолоджувався водою. Чистота металів, з яких складається сплав, становила не менше 99,9%. З отриманих злиwkів електроіскровим методом вирізалися прямокутні зразки розміром 4x4x3,8 мм² для проведення досліджень.

Проведені металографічні дослідження виявили дендритну мікроструктуру з середнім розміром гілки дендрита близько 30 мкм. Відпал при температурі 1000 °С протягом 24 годин призводить до повної гомогенізації та формування зеренної структури з середнім лінійним розміром зерна близько 350мкм.

Механічні випробування на стискання дозволяють визначити межу міцності, спираючись на побудовану криву зміцнення. Визначення механічних властивостей проводили на випробувальній машині У-10. Машина обладнана тензометричними силовимірниками і фотометричними датчиками переміщення, які дозволяють синхронно фіксувати параметри навантаження і деформації на двохкоординатному стані та на ЕОМ. Використовували прямокутні зразки розміром 4x4x3,8 мм³. Зразки розміщували на випробувальному опорному столі, який монтували на рухомій траверсі, і проводили стискання. Всі випробування проводились при кімнатній температурі при двох швидкостях (0,2 мм/хв. і 0,75 мм/хв.)

переміщення траверси. Максимальна загрузка варіювалася від 10 до 16 кН.

Акустична емісія визначалася на багатоканальному комплексі M400. В якості датчика-реєстратора емісії використовували п'єзокерамічний перетворювач з резонансною частотою 180 МГц.

Показано, що межа текучості сплаву становить 255-260 МПа і майже не залежить від умов деформації. Діаграма стискання сплаву CoCrFeNiMn відповідає діаграмі стискання пластичного матеріалу, тобто матеріал сплющується, але не руйнується. Реєстрація акустичної емісії починається практично відразу після початку навантаження. Максимум активності емісії знаходиться в області напружень значно менших за показник межі текучості. У спектрі сигналів акустичної емісії в початковій частині деформування переважають сигнали високої амплітуди. Ймовірною причиною цих сигналів є двійникування матеріалу.

Список літератури:

1. Yeh J.W. High-entropy alloys – A new era of exploitation / J.W.Yeh, Y.L.Chen, S.J.Lin. // Mater. Sci. Forum. – Nov. 2007. – V. 560. – P. 1–9.
2. A.D. Pogrebnjak, A.A. Bagdasaryan, I.V. Yakushchenko, V.M. Beresnev. The structure and properties of high-entropy alloys and nitride coatings based on them. // Russian Chemical Reviews. – 2014. – V. 83. – № 11. – P. 1027-1061/
3. Yeh J.W. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes / J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun, C.H. Tsau, S.Y. Chang // Advanced Engineering Materials. – 2004. - № 6. – P. 299–303.

Study of the charged B-meson decay to muon and neutrino with the LHCb detector

Дослідження розпаду зарядженого В-мезона на мюон та нейтрино за допомогою детектора LHCb

Лисовський В.В. (науковий керівник - проф. Сід Відал Х.)

The $B^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ decay is a promising channel for search for new physics. It is suppressed by the helicity conservation, and the Standard Model (SM) predicts [1] its branching fraction to be about $4 \cdot 10^{-7}$. According to the SM, this decay is mediated by the W^+ boson, but possible existence of unknown charged mediators can

change the branching fraction. Therefore, a precise measurement of this decay can be a good test for the SM. At the moment, the best limit was set by BaBar collaboration [1] and is about 2 times the SM prediction. The data analysis for this decay is challenging because only muon and neutrino are present in the final state. Neutrinos are not detected, so the invariant mass reconstruction is not possible. It was necessary to find another variable to fit, and the solution was to make a multivariate analysis and to fit the BDT variable.

The first step was the determination of possible background modes. For the $B^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ decay, the dominant background modes were expected to be $b\bar{b}$ and $c\bar{c}$ production with further semileptonic decays including muons in the final state. Due to the small branching fraction of the studied decay, the background must dominate in the data. So, our first purpose was to ensure that the combination of these two types of background describes the data well.

We used 78.6 pb^{-1} of 2012 LHCb data after stripping. Stripping cuts selected particles with transverse momentum larger than $5 \text{ GeV}/c$, χ^2 of impact parameter larger than 400 and also selected events with low multiplicity (less than 150 tracks). To describe the signal and background mode we used appropriate Monte-Carlo simulations (MC).

Variables of different types were used: global physics variables, including Particle Flow variables, cylinder variables (build a cylinder around the muon and look at tracks inside to select an isolated muon), cone variables (build a cone around muon), and jet variables (build jets). We had to check if the combination of background modes explains the data well for all the variables.

For most of the variables sum of $b\bar{b}$ and $c\bar{c}$ background modes looked similar to the data. The only exception was some of jet variables – the problem in construction of these variables is being studied now. Since all other variables look good, we concluded that our understanding of the dominant background modes is correct, and tried to search for the signal. For this purpose we had to find variables having different distributions for signal and background

modes, to use them for the multivariate analysis. The distributions of $b\bar{b}$ and $c\bar{c}$ background modes were different for some variables, so it was decided to train two different BDTs – BDT_{bb} and BDT_{cc} . As the signal sample we used signal MC in both cases, and as background sample – MC of the corresponding background mode. The list of discriminating variables was optimized. Several methods were trained, and the gradient boost method was chosen as the one giving the best separation of signal and background, and the most convenient for the fit.

These BDTs were applied on the data. The one-dimensional fit was done in the whole BDT range from -1 to 1 . The yields of each component were used as free fit parameters. The signal yield in the case of BDT_{bb} obtained from the fit is around 10^4 events and in the BDT_{cc} it is about zero; but the uncertainties of all fit parameters values are very large, so the precise measurement of the signal yield is impossible. The difference between two values is due to the low number of $c\bar{c}$ events in MC sample used for training, so BDT_{cc} distributions have large fluctuations. Also, the fit was unstable: moving boundaries of the fit region caused significant change of values of fit parameters. We also tried to make a two-dimensional fit on both BDT variables simultaneously, but it did not converge. To obtain a more precise fit, we have to generate the MC samples with large number of events, and train the BDT including jet variables. Also, the high statistics and changed trigger during Run II of LHC are promising factors to finish this analysis.

References

1. Bernard Aubert et al. Search for the Rare Leptonic Decays $B^+ \rightarrow l^+ \nu_l$. Phys. Rev., D79:091101, 2009.

Залежність характеристик кремнієвих планарних детекторів від радіаційного впливу

Малкін Д.І. (науковий керівник — к.ф.-м.н. М.І. Маслов)

У даній роботі виконані експериментальні дослідження радіаційного впливу на залежність енергетичної роздільної здатності дослідницького зразка планарного кремнієвого

детектора. Дослідницькій зразок опромінювався електронами енергії 25 МеВ. Дослідження проведено в діапазоні доз від 0 до 230 кРад.

Основним механізмом радіаційного пошкодження планарного кремнієвого детектора є об'ємний механізм пошкодження кристалічної структури [1]. В результаті утворення дефектів решітки виникають генераційно-рекомбінаційні центри, що прискорюють рекомбінацію носіїв заряду і зменшують час життя нерівноважних носіїв заряду, яке визначає струм витоку планарного кремнієвого детектора. Таким чином, опромінення призводить до зростання струмів витоку і погіршення і енергетичного дозволу планарного кремнієвого детектора (ПКД) [2].

У роботі досліджувалися розроблені в ННЦ ХФТІ планарні кремнієві детектори товщиною 300 мкм з розміром активної області 1.8×1.8 мм [3]. Для захисту від дестабілізуючих факторів навколишнього середовища під час проведення досліджень і можливості приєднання до вимірювальної апаратури детектори були поміщені в спеціально призначені для них герметизовані модулі.

Для дослідження впливу опромінення на залежність енергетичного дозволу ПКД при різних дозах опромінення проводилося вимірювання спектрів випромінювання досліджуваними детекторами. Вимірювалися спектри ізотопного джерела ^{241}Am . Енергетичне дозвіл для лінії 59,56 кеВ у разі до опромінення становить 1,0 кеВ, після опромінення дозою 30 кРад - 1,37 кеВ, 230 кРад - 2,47 кеВ.

Також були проведені вимірювання вольт-амперних характеристик планарного кремнієвого детектора до опромінення і після опромінення дозами від 30 до 230 кРад. Показано, що опромінення не робить помітного впливу на вид вольт-амперних характеристик, але істотно впливає на величину струмів витоку.

Список літератури:

1. Ф. П. Коршунов, Ю. В. Богатырев и др. Радиационные в технологии полупроводниковых материалов и приборов. // Радиационная физика твердого тела. М.(2000).С.470.

2. Л.А. Арцимович // Принципы и методы регистрации частиц, Москва, 1963.
3. Н.И. Маслов, В.Д. Овчинник. Особенности радиационного повреждения кремниевых детекторов высокоэнергетическими электронами. // Вопросы атомной науки и техники. 1996. Вып. 1(64).1-107.

Оцінка якості радіоактивних відходів при довгостроковому зберіганні

Маловиця М.С. (науковий керівник – доц. Письменецький С.О.)

При використанні ядерної енергетики у будь-якому її вигляді постає проблема утворення та накопичення радіоактивних відходів (РАВ). Вирішення цих проблем пов'язано з безпекою людини та екологією. Усього існує 32 країни, пов'язаних з виробництвом ядерної енергії, з них 11 – працюють у напрямку радіохімічної переробки, 6 – проектують геологічні могильники відпрацьованого ядерного палива (ВЯП).

Основним вирішенням проблеми зберігання РАВ в Україні є зберігання їх у сухому сховищі радіоактивних відходів (ССРАВ). В таких сховищах РАВ знаходяться в спеціалізованих бетонних контейнерах. Слід зазначити, що через наявність радіоактивних матеріалів в РАВ відбувається нагрівання всього контейнера, що призводить до потреби постійного охолодження на початку терміну зберігання. Тому, в цій роботі розглянута не тільки радіоактивність таких контейнерів але й виділення тепла, що в деякому наближенні виражається через потужність дози.

В декількох роботах [1,2] були представлені розрахунки активності та залишкового тепловиділення ВЯП, тому в цій роботі були розглянуті саме питання активності, потужності дози за бетонним захисним шаром, та їх порівняння. Основною порівняльною характеристикою активності та потужності дози є Гамма-стала (відношення потужності дози до активності) [3], але така характеристика дійсна лише для точкових джерел без самопоглинання. Тому вводиться поняття Узагальненої гамма-

сталої (УГС), в якій враховується геометричні особливості джерела, самопоглинання та наявність захисного шару.

Для розрахунків, було взяте модельне джерело – фрагмент стандартної ТВС ВВЕР-1000, спрощений до циліндру діаметру 250мм, висотою 2,5м, з наближеним до реального складом: 322 кг двоокису урану, 109 кг цирконію, 14 кг сталі, розміщений у повітрі. Склад ВЯП брався з продуктів поділу ядерного палива ВВЕР-1000 [4], період піврозпаду яких більше 6 місяців.

Розрахунки були виконані для проміжку часу до 100 років. В результаті розрахунків для даного модельного джерела, за бетонних захистом було виявлено спад УГС після 3-х років, що свідчить про біль швидший спад енерговиділення у контейнерах ССРАВ, ніж його активності. Також результати вказують на те, що після 60 років, встановлюється рівноважний спектр і експоненціальний спад потужності дози. Слід зазначити, що після 30-50 років основний вклад у випромінювання починають давати актиноїди.

Отримані результати свідчать про результативність такого підходу, та демонструють якісну характеристику ВЯП. Одним важливих аспектів в цій роботі є гнучкість програми створеної для даних розрахунків, яка складається у можливості зміни початкового складу РАВ та геометрії сховища. Проте, в даному підході існують геометричні обмеження, які можуть бути вирішені в подальшій роботі.

Список літератури:

1. Оценка остаточного тепловыделения отработавшего топлива ВВЭР-1000/ С.А.Письменецкий, В.Б.Пышкин, В.Г.Рудычев, Е.В.Рудычев-«Вісник Харківського університету», №794, 2008, сер. Фізична «Ядра, частинки, поля», вип.1/37/, с. 69-72.
2. Остаточное энергосодержание и радиотоксичность актиноидов и продуктов деления при длительном хранении отработавшего топлива ВВЭР с повышенным выгоранием/ Бергельсон Б.Р., Герасимов А.С., Зарицкая Т.С., Тихомиров Г.В.- Атомная энергия, Т.102, вып.5, май 2007, с. 292-296.
3. Защита от ионизирующих излучений: справочник – 4-е издание / Машкович В. П., Кудрявцева А. В.М.: Энергоатомиздат, 1995 – 496с.

4. 4. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах/Галанин А.Д.-2-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-536 с.

Исследование спекания порошков гематита при консолидации керамики
Дослідження спікання порошків гематиту при консолідації кераміки

Наумова К.П. (наковий керівник - д.т.н., проф. Литовченко С.В.)

Железо образует с кислородом ряд оксидов, гематит – это окисел трехвалентного железа (Fe_2O_3). Минерал окисла двухвалентного железа называется вюститом, а сложный окисел Fe_3O_4 – магнетит – является смесью оксидов $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Оксиды железа находят применение в разных областях науки, техники, промышленности. Важнейшей отраслью использования этих оксидов является металлургия – это основное сырье при производстве чугуна и железа, а также незаменимый материал при электрохимическом получении алюминия (изготовление анодов) [1]. Оксиды железа используются в химии (катализаторы при производстве аммиака), лакокрасочной и пищевой промышленности, полиграфии, производстве строительных материалов [2]. Широко известно использование гематита (ферромагнитного γ - Fe_2O_3) при изготовлении носителей аналоговой и цифровой информации на магнитных лентах. В последнее время растёт интерес к этому материалу в оборонной промышленности, в точном машиностроении и приборостроении [3-4].

Ограниченность сведений о технологии получения гематитовой керамики стала причиной выполнения данной работы, задачей которой было получение высокоплотной гематитовой керамики с высокими механическими свойствами.

Керамику на основе гематита изготавливали методами порошковой металлургии. Для получения компактов использовали промышленные порошки гематита с размером частиц 0,2 – 1,5 мкм, а также ультрадисперсный (менее 0,15 мкм) порошок Fe_2O_3 , полученный термическим разложением

водного сульфата железа $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (железного купороса) при температуре около 700 °С. Выбор сульфата железа обусловлен простотой утилизации и повторным использованием выделяющихся сернистых газов.

Формование образцов керамики осуществлялось в жёстких прессформах на гидравлическом прессе при давлении до 500 кг/см², а спекание – в воздушной печи при температурах от 1050 °С до 1200 °С с выдержкой при конечной температуре в течение 1 часа. Варьированием содержания порошков разной дисперсности управляли плотностью и пористостью конечных изделий. Установлено, что оптимальной температурой спекания является температура около 1100 °С, при которой достигается плотность образцов на уровне 98,5 – 99,7% от теоретического значения (5,242 г/см³). В образцах имеются равномерно распределенные сферические поры диаметром до 2 мкм, в некоторых образцах есть небольшое количество продолговатых пор размером до 10 мкм. Причиной относительно высокой пористости может быть химическая неоднородность исходных промышленных порошков, а также его достаточная крупнозернистость (до 1,5 мкм). В образцах из промышленного порошка размер зёрен гематита составляет 10 – 15 мкм, а микротвёрдость образцов достигает 10,5 – 11 ГПа. Структура образцов из ультрадисперсного порошка характеризуется максимально достигнутой плотностью, более мелким зерном (3 – 8 мкм) и повышенной микротвёрдостью (до 11,7 ГПа). Поверхность излома образцов является достаточно однородной, скоплений дефектов на поверхности не обнаружено. Повышение температуры спекания приводит к уменьшению плотности, существенному росту зерна и превращению гематита в магнетит. Применение других методов консолидации (например, горячего прессования или вакуумного спекания) недопустимо, так как гематит переходит в магнетит.

Список литературы:

1. Бакунов В.С. Керамика из высокоогнеупорных окислов / В.С. Бакунов, В.Л. Балкевич, А.С. Власов. - М. : Металлургия, 1977. – 304 с.
2. Кингери У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери // Пер. с англ. - М. :

Стройиздат. - 1964. - 534 с.

3. Окоджаки К. Технология керамических диэлектриков / К. Окоджаки // Пер. с яп. - М. : Металлургия, 1976 - 336 с.
4. Garay J.E. Current-Activated, Pressure-Assisted Densification of Materials / J.E. Garay // Annual Review of Materials Research. - 2010. - V. 40. - P. 445–468.

Моделювання проходження елементарних частинок крізь речовину за допомогою методу Монте-Карло

Перелицан Р. М. (наковий керівник - доктор мед. наук Старенький В.П.)

Останнім часом на всій планеті спостерігається інтенсивний ріст кількості людей, яким була діагностована злоякісна пухлина. На цей момент найефективнішим лікуванням даної хвороби є променева терапія. Важливою частиною терапії є її планування, у процесі якого команда, яка складається з онколога та медичного фізика, розробляє підходящі методи опромінення пацієнта. Зазвичай, на підставі різних томографічних зображень будується відповідна віртуальна модель пацієнта для подальшої обробки. Однак, може виникнути ситуація, коли потрібно реалізувати деякі функції, яких немає у плануючій системі. Наприклад, додавання об'єта, відсутнього на томограмі.

Метою даної роботи є використання пакету Geant4 для перевірки можливості додавання різних об'єктів в модель опромінювання водяного фантома і визначення дози, поглиненої цими об'єктами. Для цього були поставлені та вирішені завдання створення моделювання опромінювання за допомогою пакету Geant4; можливості створення моделі м'язи й кістки в даному пакеті, а також визначення середньої величини енергії, відданої одним γ -квантом.

При вирішенні завдання створення моделювання опромінювання водяного фантома за допомогою пакету Geant4 в роботі був показаний спосіб побудови моделі детектора. При вирішенні завдання створення моделі м'язи й кістки в роботі був показаний спосіб визначення в Geant4 таких складних структур, як м'які тканини організму і кістки. При вирішенні задачі визначення величини енергії, відданої одним γ -квантом

в роботі було проведено обчислення повної енергії, поглиненої речовиною, яка складалася з енергій, переданих кожним окремим фотоном. Середня величина цієї енергії склала 1.36598 МеВ. Крім того була визначена глибина проникнення γ -кванта в фантом - 14.9484 см. Також були обчислені доза і похибки всіх вимірювань.

Розроблена програма може бути використана для оцінки дози опромінення м'язових тканин і кісток організму на початковому етапі планування променевої терапії. Метод можна надалі розвинути, додавши можливість побудови гістограм доза-об'єм, що і є кінцевою метою планування променевої терапії.

Список літератури:

1. Храмченкова О.М. Основы радиобиологии: Учебное пособие для студентов биологических специальностей высших учебных заведений УО "ГГУ им. Ф.Скорины", 2003. - 238с.
2. H. C. Fesefeldt, "Simulation of hadronic showers: Physics and applications", Technical Report No. PITHA 85-02, RWTH, Aachen, 1985.
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Том1. Физика атомного ядра. Учебник для вузов. Изд.3-е,М., Атомиздат, 1974г, 584стр.
4. A. Ferrari and P. R. Sala, "Intermediate and high energy models in FLUKA: Improvements, benchmarks and applications," Nuclear Data for Science and Technology, edited by G.Reffo, A.Ventura, and C.Grandi SIF, Bologna, 1997.
5. Bergonie J. and Tribondeau L. (1906). De quelques resultats de la radiotherapie et essai de fixation d'une technique rationnelle. Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences. 143, 983—985.

Гамма-спектрометрия с использованием HPGe - детектора фирмы «Canberra»

Гамма-спектрометрия з використанням HPGe - детектору фірми «Canberra»

Пономаренко Р. В. (науковий керівник – с. н. с. Скакун Є. О.)

В ядерно-физических измерениях – как в области ядерной спектроскопии, так и при исследованиях механизмов взаимодействия частиц с ядрами – широкое распространение получили полупроводниковые детекторы γ -квантов на основе германиевых кристаллов: 1) легированных литием (Ge(Li)-

детекторы) и 2) изготовленных из сверхчистого германия (HPGe-детекторы), которые значительно превосходят по энергетическому разрешению ранее применявшиеся сцинтилляционные детекторы.

Чтобы использовать детектор в экспериментальных измерениях, необходимо знать его эффективность регистрации γ -квантов. В настоящей работе для определения фотоэффективности полупроводникового детектора из сверхчистого германия (HPGe-детектор фирмы «Canberra») использовались радиоактивные источники набора ОСГИ – ^{133}Ba , ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{137}Cs . Измерения проводились на расстояниях 0 см, 2 см и 5 см от источника до кристалла детектора. Фотоэффективность детектора ε рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{N_{\text{рег}}}{A_{\text{ист}} t_{\text{изм}} B_{\gamma}}$$

где $N_{\text{рег}}$ - число зарегистрированных гамма-квантов соответствующей гамма-линии, $A_{\text{ист}}$ - активность источника на момент начала измерения, $t_{\text{изм}}$ - время измерения источника, B_{γ} - коэффициент ветвления наблюдаемого γ -перехода.

Измеренные γ -спектры обработаны программным обеспечением Genie-2000 и WinSpectrum. После обработки были извлечены данные об интенсивностях гамма-линий при соответствующих энергиях, построены графики зависимости эффективности детектора от энергии регистрируемых γ -квантов для каждого из расстояний между источником и детектором. Графики аппроксимированы кривой, описываемой уравнением, предложенным в работе [1]:

$$\ln \varepsilon = A_1 \ln \left(\frac{E}{E_0} \right) + A_2 \left[\ln \left(\frac{E}{E_0} \right) \right]^2 + A_3 \left[\ln \left(\frac{E}{E_0} \right) \right]^3 - A_4 \left(\frac{E}{E_0} \right)^{-g}$$

где E - энергия гамма-линии, $E_0=1$ кэВ, A_1 , A_2 , A_3 , A_4 и g - коэффициенты аппроксимации. Значения этих коэффициентов позволяют определить эффективность детектора для гамма-линии любой энергии на соответствующем расстоянии от источника до детектора.

Результаты проведенной работы можно использовать для измерения выходов γ -квантов из ядерных реакций и для исследования распадов радиоактивных ядер.

Список литературы:

1. О. І. Лендел, О. О. Парлаг, В. Т. Маслюк. Напівемпіричне описання абсолютної ефективності Ge(Li)- та HPGe- детекторів для фотоподільних експериментів // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика. № 25. - 2009

The interaction of the electrically coupled quantum dot and the nanoresonator

Взаємодія електрично з'єднаних квантової точки та нанорезонатора

Рубанов Д. Г. (науковий керівник - проф. Шевченко С. М.)

Using modern technologies it is possible to create and to study mesoscopic quantum systems, that have diverse applications in physics. One of those systems is a qubit – quantum two-level system, the basic element for quantum information processing. Another interesting mesoscopic low-dimensional systems are quantum dots, which can sometimes work act as single-electron transistors.

We study the interaction of a nanomechanical resonator with a coupled single-electron transistor [1]. We assumed that the nanoresonator is slow enough and can be described classically. This means that the nanoresonator and the quantum dot evolve with different timescales. An interesting situation occurs if the oscillations of the quantum subsystem contain a slow component whose frequency is of the order of the resonator's characteristic frequency. For example, this slow component can be the relaxation time of the quantum dot T_1 [2].

We made use of a semiclassical description of the system using a so-called delayed-response method. The nanomechanical resonator slowly drives the quantum dot with the response at a time t determined by the resonator's state at some prior time $\tilde{t} = t - T_1$. In this case, the resonator is influenced by both the in-phase and

out-of-phase forces exerted to the quantum subsystem. The out-of-phase force causes damping or amplification of the resonator oscillations [3] that can be described in terms of periodic Sisyphus-type processes.

It is interesting that such delayed-response method was used to describe a classical electronic oscillatory circuit with capacitor that was a mechanical resonator [4]. The resonator was also influenced by both the in-phase and out-of-phase forces exerted to the electronic oscillations. There are some analogies between the processes in semiclassical and fully-classical oscillating systems.

References

1. S. N. Shevchenko, D. G. Rubanov and Franco Nori, Phys. Rev. B 91, 165422 (2015).
2. K. Wang, C. Payette, Y. Dovzhenko, P. W. Deelman, and J. R. Petta, Phys. Rev. Lett. 111, 046801 (2013).
3. F. Xue, Y. D. Wang, Y. X. Liu, and F. Nori, Phys. Rev. B 76, 205302 (2007).
4. B. Manukin and Yu. Tikhonov, Moscow University Bulletin, vol. III, No. 5, 582 (1970).

Оптимизация параметров гофрировки внутреннего проводника коаксиального гиротрона в установках УТС

Оптимізація параметрів гофрування внутрішнього провідника коаксіального гіротрона в установках КТС

Свистунов Д. О. (науковий керівник – професор Загінайлов Г. І.)

В настоящее время мощные источники когерентного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона широко используются для решения многочисленных прикладных и фундаментальных задач (управляемый термоядерный синтез, радиолокация, ускорители заряженных частиц, медицина и др.).

Основное назначение мощных генераторов миллиметрового излучения в установках управляемого термоядерного синтеза (УТС) — дополнительный электронно-циклотронный нагрев (ЭЦН) плазмы до температур, которые соответствуют температуре поджига термоядерной реакции в дейтронно-третиевой смеси, а также ее поддержание и

стабилизация. В настоящее время ЭЦН занимает лидирующие позиции среди остальных методов ВЧ-нагрева (ионноциклотронный (ИЦН), нижегибридный (НГН) и альфвеновский (АН)).

Коаксиальные гиротроны с гофрированной внутренней вставкой являются одними из перспективных кандидатов для использования в системах циклотронного нагрева в современных будущих установках управляемого термоядерного синтеза [1].

Разработанные на сегодняшний день методы для расчета электромагнитных полей в резонансных структурах гиротронов имеют ряд недостатков, например, невозможность их использования для произвольных параметров гофрировки резонатора, произвольных типов волн и номеров рабочих мод, некоторые из них не обеспечивают необходимую точность численных исследований.

Таким образом, актуальной является разработка математических моделей для решения широкого класса задач по анализу собственных волн коаксиальных резонаторов гиротронов с гофрированной вставкой, а также соответствующих дискретных математических моделей, обеспечивающих контролируемую точность и быструю сходимость.

Резонаторы гиротронов изначально разрабатывались без проводящей вставки внутри, однако, чтобы влиять на конкуренцию мод и подавлять нежелательные паразитные моды, по центру был помещен проводящий стержень [2]. Плавно изменяя внутренний и внешний радиус такого резонатора, можно добиться того, что лишь необходимая рабочая мода будет усиливаться в такой системе. Однако, на практике оказалось, что простой коаксиальной вставки не достаточно, чтобы подавлять все нежелательные моды. Таким образом, свое развитие получили коаксиальные гиротроны с гофрированной вставкой. Количество зубцов на вставке, ширина и глубина гофра дают дополнительные возможности влиять на селекцию мод в такой системе. Кроме того,

гофрированный внутренний проводник позволяет значительно уменьшить потери на стенках резонатора по сравнению с гладким проводником, что подтверждено и теоретически [3]. Затухание на стенках и его минимизация является одним из важнейших факторов, влияющих на конструкцию системы. Таким образом, уменьшив потери на стенках можно увеличить радиус внутренней вставки, что приводит к уменьшению конкуренции мод.

Стоит отметить, что гофрировка внутреннего проводника также позволяет уменьшить предельный ток, который негативно влияет на качество пучка.

В данной работе получены оптимальные параметры гофрировки проводника, которые минимизируют затухание на стенках. Расчет выполнен для коаксиального гиротрона с рабочей модой TE_{34,19} экспериментально реализованного в технологическом институте г. Карлсруэ, Германия и институте плазменных исследований, Лозанна, Швейцария для нагрева плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза.

Список литературы:

1. J.-P. Hogge et.al. "Development of a 2-MW, Coaxial Gyrotron at 170GHz and Test Facility for ITER", Third IAEA Technical Meeting on "ECRH Physics and Technology for ITER", Como, Italy, 2005.
2. Dumbrajs O., Nusinovich G. S. Coaxial gyrotrons: past, present, and future //IEEE Transactions on Plasma Science. — 2004. — Vol. 32, no. 3. — Pp. 934–946.
3. Zaginaylov G. e. al. Rigorous calculation of energy losses in cavity of ITER relevant coaxial gyrotron // Proc. of Int. Conf. 2005 EuMC. — Paris, France, 2005. — Pp. 1107–1110.

Ионно-индукована електронна емісія з титану на прострїл і на відбиття

Семеренський А.А. (науковий керівник – к. ф.- м. н. Кононенко С.І.)

Рішення цілого ряду наукових і технічних завдань вимагає використання автономних джерел електроживлення різних пристроїв. Такі потреби виникають при використанні

електронної апаратури, в умовах, коли стаціонарна електрична мережа відсутня. До таких випадків можна віднести умови далекого та ближнього космосу, а також прилади, які експлуатуються в океанських просторах (навігаційні буї, далекі маяки і т. д.).

Робота спрямована на удосконалення запропонованого раніше вторинно-емісійного радіоізотопного джерела струму (ВЕРІДС) - пристрою, який перетворює енергію ядерних α - частинок в електричну енергію.

Для цього були проведені дослідження іонно-індукованої електронної емісії з титану на прострїл і на відбиття [1]. Отримана експериментальна залежність струму в Ti-Ti бінарній комірці від напруги. На базі експериментальних даних обчислені коефіцієнти вторинної електронної емісії на прострїл і на відбиття. Розраховано коефіцієнти емісії швидких конвойних електронів [2].

За допомогою пакету програм SRIM/TRIM знайдені втрати енергії α -частинок при проходженні через шар титану [3]. Знайдена залежність енергетичних втрат іонів в речовині від кута падіння його на мішень.

Розраховані ефективний заряд іонів на виході з титанової фольги і коефіцієнт емісії конвойних електронів. Визначено межі максимальних енергій δ -електронів і енергій конвойних електронів.

Проаналізувавши виконану роботу, було зроблено висновки, що відношення коефіцієнтів емісії на прострїл і на відбиття для титану близьке до інших матеріалів і не залежить від енергії іонів. Ефективні заряди α - частинок і вихід конвойних електронів залежать від кута падіння іонів на мішень в бінарній комірці. Впливом конвойних електронів на загальний вихід вторинних електронів можна знехтувати [4].

Отримані результати гарно збіглися з проведеними раніше експериментами з використанням інших матеріалів та теоретичними розрахунками, тому використана модель й надалі буде досліджуватися.

Список літератури:

1. E.J. Sternglass Theory of secondary electron emission by high-speed ions // *Phys.Rev.* 1957, Vol.108. №1. p.1-12.
2. W.Brandt, R.H.Ritchie Velocity spectra of convoy electrons emerging with swift ions from solids// *Physics Letters*, 1977, Vol. 62A, No 5, p.374-376.
3. J. F. Ziegler, J. P. Biersack «SRIM — The stopping and range of ions in solids».
4. S.I. Kononenko, V.P. Zhurenko, O.V. Kalantaryan, A.A. Semerenskiy Forward and backward electron emission in binary cell of radioisotope current source // *Problems of atomic science and technology.* 2015.,No4(98) p.331-334.

Сіткові методи чилового розв'язання кінетичного рівняння для моделювання нагрівання термоядерної плазми

Солодкий Я.С. (науковий керівник – к. ф.-м. н. Павленко І.В.)

Моделювання ... Чому це важливо? Не в останню чергу тому, що воно робить можливим не витратити зусилля та ресурси на реальні експерименти, а передбачає аналогічний результат, використовуючи тільки певні методи і алгоритми. Таким чином можна не тільки підвищити безпечність, але й швидкість рішення. Це особливо корисно в галузях науки і техніки, де реальні установки та експерименти дуже дорогі і складні. Одна з таких областей - нагрів та утримання плазми.

Сьогодні ви можете знайти безліч матеріалів і роботи на чисельному рішенні, але ми знайшли методи, які задовольняли б нашим вимогам. Метою даного дослідження було проаналізувати деякі сіткові методи для вирішення кінетичних рівнянь, і, найголовніше, показати переваги та можливості методу Кінцевих Різниць у Часовій Області (КРЧО) [1] і його модифікацій для вирішення нагальних проблем. Деякі спроби привели до цікавих результатів, але це не останній етап. Ми зробили кілька кроків вперед до розуміння і подальшого застосування методу кінцевих різниць для розв'язання рівнянь Власова і Больцмана, і спробували продемонструвати перехід до нелінійних рівнянь.

В роботі вивчається можливість застосування сіткових методів чисельного рішення кінетичного рівняння для моделювання нагріву термоядерної плазми методом КРЧО. Метод КРЧО широко застосовується для опису поширення електромагнітних хвиль через середовище (зокрема плазму) і розв'язує систему рівнянь Максвелла з урахуванням рівнянь стану середовища та рівнянь руху вільних зарядів в середовищі [2]. Але, як правило, в літературі для опису середовища використовується гідродинамічний підхід. Була розглянута можливість використання того ж методу КРВО, але з кінетичним описом вільних зарядів середовища через: 1) рівняння Власова; [3] 2) рівняння Больцмана; 3) кінетичне рівняння з нелінійним описом взаємодії зіткнень.

На основі проведеного вивчення та аналізу наукової літератури був запропонований алгоритм чисельної дискретизації кінетичного рівняння, який може дозволити використання КРВО методу для опису гарячої плазми [4]. Зроблено перші кроки по адаптації алгоритму до вирішення кінетичних рівнянь з довільною формою доданка, що описує зіткнення.

Список літератури:

1. Kane Yee, Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 14 (3), 1966. – 302-307 pp.
2. Young Oh, Yongjun Hong, and Jong-Gwan Yook, Extremely Low Dispersion Higher Order (2,4) 2D-FDTD Scheme for Maxwell-Boltzmann System, 2013.
3. A. Mangeney, F. Califano, C. Cavazzoni, P. Travnicek, A numerical scheme for the integration of the Vlasov–Maxwell system of equations. *J. Comput. Phys.*, 179, 2002. – 495-538 pp.
4. K. S. Kunz, R. J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics.* Boca Raton, FL: CRC Press, 1993.

Радиационная стойкость ДУО аустенитных сталей

Радіаційна стійкість ДЗО аустенітних сталей

аспірант С.В. Старостенко² (науковий керівник – член-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Воеводин^{1,2}).

¹ Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»

² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Представлены результаты исследования влияния ионного облучения на радиационную стойкость аустенитной нержавеющей стали X18H10T, которая дисперсно упрочнена оксидами (ДУО) иттрия и циркония.

Структурной особенностью ДУО-сталей является наличие наноразмерных частиц, введенных в исходную матрицу для улучшения ряда эксплуатационных характеристик. Чаще всего это оксиды (например, Y_2O_3 , TiO , $Y_4Al_2O_9$, $YAlO_3$, $Y_3Al_5O_{12}$, $Y_2Si_2O_7$, Al_2O_3 , $Y_2Ti_2O_7$, Y_2TiO_5 , $Y_2Ti_2O_7$), отличающиеся составом и методами получения, однако введение таких добавок преследует одну цель - повышение характеристик различных видов ДУО-сталей, которые в скором времени могут стать основными конструкционными материалами в ядерных устройствах и системах будущего. Стабильность оксидных частиц имеет особое значение при использовании дисперсноупрочнённых сталей для элементов конструкций активных зон ядерно-энергетических установок.

Поскольку одним из главных параметров, который характеризует радиационную стойкость материала, является устойчивость к распуханию, то введение вышперечисленных оксидов в матрицу стали положительно влияет на её сопротивление распуханию. Для уменьшения уровня распухания сталей наиболее приемлемо использовать радиационно-стойкие оксидные соединения в виде гранул с размерами в интервале 10...20 нм, распределенные в матричном металле с плотностью порядка 10^{22} м^{-3} . Оксидные частицы выполняют роль стоков точечных и линейных дефектов, присутствующих в исходном материале или образующихся в нем при облучении.

Облучения образцов проводились до доз 25, 50, 100 сна, что представляет большой коммерческий интерес. Были рассчитаны величины распухания и концентрации выделений отдельно для каждой дозы. Представленные результаты и экспериментальные данные сравнены с результатами, которые получены для обычных аустенитных нержавеющей сталей. В результате обработки данных

были построены зависимости величины распухания от ряда параметров. Была также проведена процедура построения поперечного сечения для нахождения профиля радиационных повреждений, создаваемых в материале при облучении, результаты были сравнены с расчетными данными программы SRIM-2006.

На основании работы были отработаны различные методики работы с образцами, а также получены весьма важные результаты.

Итак, при выполнении работы:

- исследована радиационная стойкость аустенитной стали X18H10T, упрочнённой оксидами Y и Zr;
- построена зависимость распухания от размера и концентрации введенных оксидов;
- показано, что наличие оксидных частиц в матрице стали приводит к уменьшению радиационного распухания при коммерческих дозах облучения до 100 сна;
- установлено, что распухание носит крайне неравномерный характер и зависит от распределения выделений.

Дослідження нових сквараїнових зондів для детектування амілоїдних фібрил

Степаненко О.В. (науковий керівник – проф. Горбенко Г.П.)

Сквараїнові зонди, що належать до класу ціанінових, широко використовуються в якості високочутливих сенсорів [1], біологічних маркерів, у фотопровідних пристроях та у фотодинамічній терапії (ФДТ) [2]. Завдяки наявності центрального сквартного містка, флуорофори даного класу мають значний квантовий вихід триплетного стану і високу фотостабільність [3]. Ці властивості дозволяють сквараїновим фотосенсибілізаторам перетворювати молекулу триплетного кисню у цитотоксичний синглетний кисень, що сприяє руйнуванню ракових клітин. Також вони є ефективними маркерами для вивчення білок-ліпідних взаємодій, наприклад у лізоцим-ліпідних системах [3]; структурних перетворень молекул білка, наприклад альбуміну; та детектування стану розплавленої глобули молекули бета-лактоглобуліну [4]. Важливо синтезувати сквараїнові сполуки, що мають: низьку чутливість до нуклеофільних атак (наприклад, у спиртових розчинниках) [5], високу розчинність у

водних розчинах, низьку здатність до формування J-агрегатів та високу чутливість до білків та ліпідів [4].

Серія нових симетричних та асиметричних сквараїнових зондів (G1, G2, G4, G5, G6 та G7), що мали різні замісники у донорних групах, була протестована щодо їх здатності детектувати та характеризувати амілоїдні фібрили інсуліну Ins_{ac} (Ins_{acs}) та лізоциму F_{ac} (F_{acs}), отримані за умов низького рН та підвищеної температури. Наша мета була спрямована на виявлення кращих маркерів до агрегатів білка шляхом порівняння їх параметрів зв'язування та квантового виходу. Параметри зв'язування зондів з білками оцінювали у рамках односайтової моделі Ленгмюра, використовуючи дані прямого та зворотнього флуориметричних титрувань. Було продемонстровано, високу чутливість сквараїнових флуоресцентних зондів до фібрил лізоциму та інсуліну, і незначну – до нативного білка, що сприяє їх використанню у якості амілоїдних маркерів *in vitro*. Аналіз значень квантового виходу, констант асоціації, зсувів максимумів флуоресценції, свідчить про те, що чутливість ново синтезованих сквараїнових зондів до амілоїдних фібрил зумовлена збільшенням в'язкості їх локального оточення.

При порівнянні квантових виходів, спорідненості та ступеня зростання флуоресценції зондів, зв'язаних з білком, найбільш перспективними зондами виявились G6 та G7. Окрім цього, за допомогою даних зондів отримані докази на користь нижчої полярності жолобків фібрил лізоциму, порівняно з інсуліном. Нові зонди G6 та G7 були рекомендовані для детектування та дослідження структури амілоїдних фібрил у ближній інфрачервоній області.

Список літератури:

1. Synthesis and biosensor performance of a near-IR thiol-reactive fluorophore based on benzothiazolium squaraine / J. Thomas, D. B. Sherman, T. J. Amiss [et al.] // *Bioconjug. Chem.* – 2007. – V. 18. – P. 1841–1846
2. Halogenated squaraine dyes as potential photochemotherapeutic agents. Synthesis and study of photophysical properties and quantum efficiencies of singlet oxygen generation / D. Ramaiah, A. Joy, N. Chandrasekhar [et.al.] // *Photochem. Photobiol.* – 1997. – V. 65. – P. 783–790.
3. Fluorescence study of protein-lipid complexes with a new symmetric squarylium probe / V. M. Ioffe, G. P. Gorbenko, T. Deligeorgiev [et al.] // *Biophys. Chem.* – 2007. – V. 128. – P. 75–86.
4. Fluorescent detection of a partially unfolded conformation of beta-lactoglobulin using squaraine dyes / V. B. Kovalska, M. Y. Losytskyy, L. V. Reis [et al.] // *Macromolecular Symposia.* – 2014. – V. 335. – P. 43–50.

5. Squaraine-derived rotaxanes: sterically protected fluorescent near-IR dyes / E. Arunkumar, C. C. Forbes, B. C. Noll [et al.] // *J. Am. Chem. Soc.* – 2005. – Vol. 127. – P. 3288–3289.

Оценка возможности использования новых цианиновых зондов для создания биосенсоров Оцінка можливості використання нових ціанінових зондів для створення біосенсорів

Сурков Є.С. (науковий керівник – доц. Трусова В.М.)

Благодаря своим уникальным фотофизическим свойствам, таким как высокие коэффициенты экстинкции, поглощение и флуоресценция в длинноволновой области, цианиновые красители занимают особое место среди других флуоресцентных зондов [1]. Спектральные характеристики этих зондов делают возможным применение данного типа красителей для исследования биологических макромолекул и создания биосенсоров. Гидрофобный и катионный характер данных флуорофоров обуславливает их эффективное взаимодействие с полианионным ДНК-дуплексом, цианины широко используются в качестве меток при секвенировании ДНК [2]. Также показана возможность применения цианинов, как сенсоров на полимеризацию белков. Кроме того известно, что полиметиновые цепи цианинов могут быть расщеплены активным кислородом и азотом, что делает перспективным использование цианинов в качестве сенсоров для мониторинга окислительного стресса и динамики окислительно-восстановительных циклов в живых клетках. В связи с этим задачей данной работы было исследовать спектральный отклик новосинтезированных пентаметинов в присутствии ДНК и бычьего сывороточного альбумина (БСА), а также оценить возможность применения флуорофоров данного класса в качестве сенсоров для мониторинга окислительного стресса. Для решения данной задачи использовались методы абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии.

На первом этапе работы были проанализированы спектры красителей при их связывании с БСА и ДНК. Далее, для подтверждения связывания пентаметинов с биологическими макромолекулами использовался метод индуктивно-резонансного переноса энергии (FRET) между флуорофором ДСП-12, в качестве донора, и пентаметинами, в качестве акцептора, в присутствии БСА, ДНК и липосом. На последнем этапе работы оценивалась

чувствительность пентаметинов к гемоглобин-индуцируемому свободнорадикальному окислению липидов. В этих целях измерялась кинетика затухания флуоресценции пентаметинов в присутствии липосом и метгемоглобина в отсутствие и в присутствии антиоксидантов.

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) пентаметины образуют Н-агрегаты в водных средах.
- 2) для ряда флуорофоров обнаружено повышение агрегационной способности в присутствии биологических макромолекул.
- 3) изучены спектральные свойства пентаметиновых красителей при их связывании с ДНК. Сделано предположение, что процесс агрегации красителей в малой бороздке характеризуется двухуровневой кооперативностью.
- 4) выявлена чувствительность пентаметиновых флуорофоров АК51, АК53 и АК59 к гемоглобин-индуцируемому свободнорадикальному окислению липидов, что делает возможным использование данных зондов при создании биосенсоров.

Список литературы:

1. Ishchenko A. Structure and spectral-luminescent properties of polymethine dyes / Ishchenko A. // Russ Chem Rev – Vol.60 – P. 60865 – 60884.
2. Caroff A. Helical aggregation of cyanine dyes on DNA templates: effect of dye structure on formation of homo- and heteroaggregates./Caroff A., Litzinger E., Connor R. et al.//Langmuir – 2002 – Vol. 18 – P. 6330 – 6337.

Фотофізичні властивості пентаметинових флуорофорів

Тарабара У.К. (науковий керівник – проф. Горбенко Г.П.)

Пентаметинові флуорофори широко використовуються при дослідженні біологічних об'єктів завдяки тому, що їхній спектр флуоресценції зсунутий в інфрачервону область, де біологічні об'єкти не мають власної флуоресценції. Мета даної роботи полягала у встановленні механізмів взаємодії нових флуоресцентних барвників АК 5-1, АК 5-2, АК 5-3, АК 5-4, АК 5-6, АК 5-8, АК 5-9 з ліпідним бішаром. Моноламельярні везикули діаметром 100 нм із фосфатидилхоліну та його сумішей із кардіоліпіном,

фосфатидилгліцерином та фосфатидилсерином чи холестеринном формували методом екструзії.

Було отримано спектри поглинання і флуоресценції барвників, характерні для ціанінів з максимумом поглинання в ДМСО в діапазоні від 652 до 660 нм і максимумом випромінювання від 670 до 682 нм. Невелике плече в спектрі поглинання барвників близько 600 нм відповідає, вочевидь, Н-димеру. [1] Стоксівський зсув ціанінів приблизно дорівнює 15-20 нм, що є типовим для цього класу барвників. [2]

При додаванні пентаметинових флуорофорів до буферного розчину спостерігались зміни в спектрах поглинання зондів в порівнянні зі спектрами в органічних розчинниках. Досліджувані ціаніни, за винятком АК5-6, характеризуються широким спектром поглинання в діапазоні 500-700 нм з двома добре вираженими піками. Перший батохромний пік (в діапазоні 640 нм до 655 нм) відповідає поглинанню мономерної форми зондів, тоді як гіпсохромний (локальний максимум між 583 нм і 596 нм) є наслідком агрегації пентаметинових з утворенням Н-агрегатів. Для АК5-6 в буфері спостерігався виражений пік агрегатів на 550 нм.

При переході ціанінів з водної в ліпідну фазу спостерігались суттєві зміни спектральних характеристик зондів :

1) поглинання АК5-3, АК5-4, АК5-8 і АК5-9 знижується в присутності ліпосом. Змінюється форма спектрів поглинання з "двохпикової" до "трьохпикової", що свідчить про те, що в зв'язаній з ліпідом формі ці барвники представлені мономерами, Н-димерами та Н – агрегатами.

2) При утворенні комплексів АК5-1 і АК5-2 з ліпосомами спостерігалось значне зниження піку мономерів, що супроводжувалось зростанням піку агрегатів зондів.

3) Асоціація зонду АК5-6 з ліпідними везикулами призвела до зменшення піку Н-агрегатів (540 нм) і супроводжувалась поява нового піку в районі 660 нм, що описує поглинання мономерів. Вочевидь для флуорофору АК5-6 на ліпідній матриці спостерігається розупорядкування високо структурованих агрегатів та перехід флуорофору в мономерну форму.

Підсумовуючи, отримані результати свідчать про те, що асоціація ціанінових барвників з ліпідними мембранами підвищує їх агрегаційну схильність. У нашому випадку, цілком імовірно, що ліпідні везикули не тільки забезпечують низькополярне середовище, але також слугують матрицею для олігомеризації барвника. [3]

Можна припустити, що за рахунок сильної електростатичної взаємодії між катіонними ціанінами та негативно зарядженими ліпідними мембранами, поверхнева локальна концентрація ціанінів збільшується, що супроводжується формуванням високо впорядкованих Н-агрегатів. Виняток становить АК5-6, який показав протилежну поведінку.

Список літератури:

1. Brockman H. Dipole potential of lipid membranes / H. Brockman // Chem. Phys. Lipids. – 1994. – Vol. 73. – P. 57 – 79.
2. Franklin J. C. Internal electrostatic potentials in bilayers: measuring and controlling dipole potentials in lipid vesicles / J. C. Franklin, D. S. Cafiso // Biophys. J. – 1993. – Vol. 65. – P. 289 – 299.
3. Clarke R. J. The dipole potential of phospholipid membranes and methods for its detection / R. J. Clarke // Adv. Colloid Interface Sci. – 2001. – Vol. 89-90. – P. 263 – 281.

Поле пружних напружень крайової дислокаційної петлі в методі функції ГРІНА

Троценко О.Г (Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, Харків, Україна)

Припущення про пружну взаємодію між дислокаціями і точковими дефектами (ТД) кристалла виявилось дуже корисним в багатьох задачах теорії радіаційного матеріалознавства. Саме воно, за сучасними уявленнями, є причиною явища радіаційного розпухання опромінених металів та сплавів [1,2], а також основною рушійною силою мікроструктурної еволюції матеріалу під опроміненням. Ця еволюція проявляється, зокрема, в зародженні та рості дислокаційних петель, які, в свою чергу, призводять до радіаційного зміцнення конструкційних матеріалів ядерних реакторів [3].

Згідно Ешелбі [4] ця взаємодія визначається моделлю ТД і полем пружних напружень, створених петлею в місці розташування ТД. Як правило, точковий дефект розглядається в наближенні центру дилатації. Пружне ж поле дислокації можна визначити двояко. По-перше, можна шукати неоднозначне рішення рівнянь рівноваги в термінах зміщення [5]. По – друге, використати тензорну функцію Гріна (ТФГ) G_{ik} даного пружного середовища, тобто функцію, що визначає зміщення u_i , створене в необмеженому середовищі,

зосередженою на початку координат одиничною силою, спрямованою вздовж осі x_k . [6,7].

В ізотропному наближенні ТФГ добре відома. Тому ціль даного повідомлення – показати, що використання метода функції Гріна, в найпростішому випадку ізотропного пружного середовища дає такий же результат що й рішення рівняння рівноваги. Розглядається крайова дислокаційна петля, лінія якої має форму окружності, а вектор Бюргерса перпендикулярній площині петлі. Двома способами розраховується енергія взаємодії петлі з ТД в моделі центра дилатації в ізотропному наближенні. Перший – це розв’язування рівняння рівноваги. Другий – використання функції Гріна. Чисельно показано, що результати в обох випадках співпадають. Звичайно, фізичний смисл задач, пов’язаних з ізотропним наближенням, умовний, оскільки реальні дислокації в по-суті притаманні кристалам, тобто анізотропним середовищам, однак ілюстративний інтерес вони все ж таки представляють. У випадку пружно-анізотропного середовища регулярний спосіб її побудови був запропонований І.М. Ліфшицем і Л.Н. Розенцвейгом [8]. В роботі [9] у цей спосіб були одержані компоненти ТФГ гексагонального середовища і це дає можливість узагальнити результати метода функцій Гріна на випадок вже реальних реакторних матеріалів (мається, на увазі, передусім цирконій). А от узагальнення на анізотропний випадок розв’язування рівнянь рівноваги уявляється дуже проблематичним.

Список літератури:

1. В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов, Т.П. Черняева. *Радиационные дефекты и распухание металлов* – Киев: Наукова думка, 1988. – 296 с
2. В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдов. *Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов.* – Киев: Наукова думка, 2006. – 376 с.
3. V.I. Dubinko, S.A. Kotrechko, and V.F. Klepikov // *Radiat. Eff. Defects Solids.* 2009, v. 164, p. 647
4. Дж. Эшелби. *Континуальная теория дислокаций.* Наука, М., 1963 – 215с.
5. F.Kroupa. *Czech. J. Phys.* В **10**, 284, 1960.
6. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Теория упругости.* Наука, М., 1987. – 246 с.
7. Дж Хирт, И. Лоте. *Теория дислокаций.* М.: «Атомиздат», 1972, – 600 с.
8. И.М. Лифшиц, Л.Н. Розенцвейг. *ЖЭТФ* **17**, 783 (1947).
9. П.Н. Остапчук, О.Г. Троценко *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение».* 2014, № 4(92), с. 49-54.

Стосовно питання про просторовий розподіл емісії м'якого рентгена в торсатроні у-3м

Турянская О.В. (науковий керівник – к. ф.-м.н. Древаль М.Б)

Датчик для вимірювання часового поведіння та просторового розподілу випромінювання м'якого рентгена уздовж двадцяти хорд був нещодавно встановлений на торсатроні У-3М. Отримана еволюція профілю інтегрального випромінювання м'якого рентгена у розряді У-3М дає інформацію щодо модифікації утримання плазми торсатрона У-3М [1,2]. У даній роботі, базуючись на експериментально виміряних інтегральних даних, шляхом чисельних розрахунків знайдено розподіл локальної емісії м'якого рентгена по перерізу А-А торсатрона У-3М. Виконана апроксимація магнітних поверхонь перерізу А-А у вигляді набору значень величини нормованого радіусу, у вузлах сітки, яка покриває даний переріз. У реальній геометрії комплексу діагностики м'якого рентгенівського випромінювання на У-3М виконане чисельне знаходження розподілу інтегрального випромінювання на кожному з двадцяти діагностичних каналів для різних модельних профілів емісії і виконане порівняння їх з експериментом.

Список літератури:

1. M. Dreval // Probl. Atom. Sci. Technol. 2014, v. 6, p. 250-253.
2. M. Dreval // Probl. Atom. Sci. Technol. 2015, v. 1

Switching synchronization in one-dimensional memristiv networks

Переключення синхронізації у одновимірних мемристорних мережах

Шумовський М. А. (науковий керівник – проф. Першин Ю.В)

Currently, there is strong interest in circuit elements with memory (history-dependent) features. These form a general class of memory circuit elements [1], which includes memory resistors (memristors), memory capacitors (memcapacitors) and memory inductors (meminductors). Quite generally, memristors, memcapacitors and meminductors can be considered as time- and history-dependent generalizations of their standard counterparts. If

$u(t)$ and $y(t)$ are any two complementary constitutive circuit variables (current, charge, voltage or flux) denoting the input and the output of the system, respectively, and x is an n -dimensional vector of internal state variables, we may then postulate the existence of the following n th-order u -controlled memory element defined by

$$\begin{aligned} y(t) &= g(x, u, t)u(t) \\ \dot{x}(t) &= f(x, u, t) \end{aligned} \quad (1)$$

where $g(x, u, t)$ is the response function and $f(x, u, t)$ is n -component vector function. Currently, the main research effort in the area of memory devices is associated with their non-volatile memory applications [2].

Our interest, however, has been focused on the dynamics of coupled memory circuit elements [3,4]. In fact, networks of memory circuit elements could be used as massively-parallel computing architectures capable to solve certain optimization problems much faster compared to traditional computing hardware. For example, Ref. [3] demonstrates that a network of memristors - a memristive processor - can solve mazes in a massively-parallel way. This approach can be realized experimentally with available systems and devices, or simply implemented on a computer. The hardware implementation of the memristive processor is superior to any existing maze solving methods and therefore it is ideal when the complexity of the maze increases with increasing local connectivity of the graph [3].

In conclusion, we have discovered an interesting synchronization phenomenon taking place in one-dimensional memristive networks with elements characterized by a distribution of switching constants. When the switching occurs from the high to low resistance state, the systems with larger switching constants slow down their switching as the voltage falls across these systems decrease faster compared to the voltages across the systems with smaller switching constants. As a result, the switching of all memristive systems occurs coherently with nearly the same effective rate regardless the specific switching constants of individual systems. This simple picture explains the mechanism of

the synchronization effect that is most pronounced when the applied voltage slightly exceeds the combined threshold voltage of memristive systems. We have also demonstrated that the network switching time is independent on the number of memristive systems (for an appropriately scaled applied voltage) and is defined by the harmonic mean of switching constants.

References

1. M. Di Ventra, Y. V. Pershin and L. O. Chua, *Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors and meminductors* (2009) [Proceedings of the IEEE. 97 (10), 1717-1724]
2. Y. V. Pershin and M. Di Ventra, *Memory effects in complex materials and nanoscale systems* (2011) [Advances in Physics. 60 (2), 145-227]
3. Y. V. Pershin and M. Di Ventra, *Solving mazes with memristors: A massively parallel approach* (2011) [Physical Review E 84 (4), 046703]
4. Y. V. Pershin, V. A. Slipko and M. Di Ventra, *Complex dynamics and scale invariance of one-dimensional memristive networks* (2013) [Physical Review E 87, 022116]

Формирование одномерных структур в моноатомном слое на поверхности графита

Формування одновимірних структур в моноатомному шарі на поверхні графіту

Ямпольський О.О. (науковий керівник – доцент Кіриченко В.Г.)

Карбин – одмерный углерод. Одномерность обеспечивает карбину ряд уникальных свойств. Согласно оценкам, полученным на основе численного моделирования, карбин обладает наивысшим сопротивлением растяжению (пределом прочности) среди всех известных материалов, вдвое превосходя по этому параметру графен и углеродные нанотрубки, и втрое — алмаз. Карбин представляет особый интерес для химиков и нанотехнологов.

Целью работы является анализ экспериментальных данных о реальной атомной поверхности высоко ориентированного графита, полученных с применением сканирующей туннельной микроскопии и компьютерное моделирование образования одномерных (линейных) структур типа карбина на поверхности графита.

На основе экспериментальных данных в предположении о коллективной природе формирования атомарно гладкой поверхности графита проведено моделирование линейных одномерных цепочек в поверхностном монослое графита. При переходе от коротких линейных цепочек к более длинным происходит переход от формирования двойных связей между атомами углерода к чередующимся одинарным и тройным связям.

Обнаружено, что моделирование реальных гексагональных ячеек на поверхности графита в различных направлениях, в данном случае взаимно перпендикулярных, дает различные результаты, демонстрирующие различную топологию поверхностного моноатомного слоя. Различие в топологии поверхностного слоя в различных направлениях, возможно, связано с хиральностью поверхности графита, как и в случае углеродных нанотрубок.

Результаты моделирования и чередования одинарных и тройных связей подтверждается экспериментальными данными для длинных цепочек полученного карбина, в которых также происходит чередование тройных и одинарных связей углерод-углерод. Наблюдается формирование групп или кластеров атомов углерода вдоль оси цепочек за счет асимметрии одинарных и тройных связей между атомами углерода в длинных цепях.

Список литературы:

1. Сладков А.М., Кудрявцев Ю.П. Алмаз, графит, карбин - аллотропные формы углерода // Природа. 1969. №5. С.37-44.
2. Haddon R.C. // Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A - Phys. Sci. Eng. 1993. V.343. P.53-62.
3. В.Г. Кириченко, Е.С. Мельникова. Формирование мультимасштабных структур на поверхности графита//Вісник Харківського національного університету. №.832. Сер. фізична "Ядра, частинки, поля". Вип. 4/40/. 2008. с.67-70.

Уривки
з інтерв'ю взятого Ю. Н. Ранюком у Д. В. Волкова,
вересень 1995 р., м. Харків (мовою оригінала)

Ранюк: *Дмитрий Васильевич, расскажите, пожалуйста, каким был Ваш путь в теоретическую науку, как Вы стали теоретиком, было ли это случайно или чем-то было обусловлено?*

Волков: Родился я в Ленинграде. Когда мне было 16 лет и я учился в восьмом классе, началась Великая Отечественная война. В это время о каком-нибудь серьезном интересе к физике нельзя было говорить. Я вспоминаю своих преподавателей: были отличные преподаватели по математике, литературе, истории, химии. А по физике мне очень не повезло. Преподаватели были слабые и, как правило, класс совершенно не слушал объяснений учителя. Поэтому никакого интереса к физике у меня до войны не было. А, наоборот, был большой интерес к математике и химии.

В первые месяцы войны я эвакуировался из Ленинграда. Это были очень тяжелые годы для молодых людей. Мне в этот период пришлось работать в колхозе и на военном заводе. После чего я был призван в армию и как солдат участвовал в войне на Карельском фронте, за Полярным кругом. Когда началась война с Японией, я принял участие в военных действиях на Дальневосточном фронте. Я хочу сказать, что война существенно повлияла на мое отношение к жизни. У моего поколения она сформировала чувство заботы о государстве. После войны эту же идеологию мы перенесли в гражданскую жизнь. Когда встал вопрос о выборе специальности, многие из нас думали, чем мы можем быть полезны своему государству. Все военные годы я мечтал о том, чтобы заняться наукой, поскольку еще в школе меня особенно привлекали точные науки. После демобилизации поступил в Ленинградский государственный университет, на физический факультет. В то время там преподавали такие видные ученые как В.А. Фок, Т.П. Кравец. ...Кравец с первых дней заразил нас глубокой любовью к науке, к физике, в частности. Кроме того, я слушал лекции В.И. Смирнова, широко известный многотомный труд которого был специально предназначен для физиков-теоретиков и, фактически, лег в основу всего нашего образования. На последнем курсе, по теорфизической специализации, глубокую подготовку я получил благодаря отличному преподавателю Л.Э. Гуревичу. Были и другие преподаватели, которых я до сих пор вспоминаю с благодарностью.

К сожалению, в Ленинграде, когда я там учился, произошла большая трагедия, отразившаяся и на моей дальнейшей судьбе. Всем ныне

известно, что в конце сороковых годов прошел так называемый Ленинградский процесс, в результате которого были репрессированы видные партийные руководители и представители научной и культурной общественности города, в их числе крупнейшие ученые Ленинградского университета. Поэтому группа, в которой я учился, была расформирована, и прекратило свое существование то направление, в котором я работал. И здесь надо отдать должное харьковским ученым. Харьковский ученые с самого начала имели тесные контакты с ленинградскими. В частности, известно, что наш институт, ХФТИ, был организован благодаря приезду в Харьков группы ученых во главе с известными физиками Кириллом Дмитриевичем Синельниковым, Антоном Карловичем Вальтером и другими. Одной из основных их забот при образовании института была забота о том, как обеспечить его молодыми кадрами так, чтобы со временем в институте работали кадры высокой квалификации. Поэтому в Ленинград приехал специальный представитель, и студентам нашей группы было предложено, по желанию, переехать в Харьков и продолжать учебу там. Я согласился. Вместе со мной поехали Е.В. Инопин, К.Н. Степанов, В.Ф. Алексин, известные в настоящее время ученые, и некоторые другие студенты.

Ранюк: *Дмитрий Васильевич, на каком это было курсе?*

Волков: Это было после 4-го курса. В Ленинграде я окончил 4 курс, а на 5 курсе уже учился в Харьковском университете. Преподавание здесь также велось на высоком уровне. Лекции читались выдающимися лекторами и популяризаторами науки, такими как, например, Александр Ильич Ахиезер. Особое впечатление на меня произвели лекции Л.Н. Розенцвейга. Это был человек блестящего остроумия, более того, он был в курсе всех самых последних событий, которые происходили в физике. А в это время физика переживала исключительно интересный подъем в связи с тем, что обнаружили новые элементарные частицы и, фактически, физика элементарных частиц переживала период своего рождения.

Ранюк: *Дмитрий Васильевич, когда Вы переехали в Харьков, как формировались в дальнейшем Ваши научные интересы?*

Волков: В Харьков я переехал в 1951 году. Теперь о моих научных интересах и их формировании. В студенческие годы математическая сторона науки меня привлекала даже больше физической. В то время мною уже была глубоко прочувствована общая теория относительности. Квантовая теория поля еще только начиналась. Вместе с тем, именно тогда, развитие физики получило резкие импульсы. С одной стороны квантовая электродинамика как бы заново родилась благодаря теории перенормировок, с другой - возникла физика новых частиц. В это время был обнаружен ряд мезонов, открыт нейтральный π^0 -мезон, шли

дискуссии по определению спина и четности. Это был настоящий переворот в науке. Позднее, после окончания университета я поступил в аспирантуру. Моим руководителем был А.И. Ахиезер. Он организовал небольшую группу аспирантов, в которую входили Р. Половин, П. Фомин, В. Алексин и я. Все вместе мы активно изучали квантовую электродинамику. Это было особенно важно для меня, поскольку я остался работать в этой области, и квантовая электродинамика стала для меня как бы прообразом тех теорий, которыми я сейчас занимаюсь.

Подробнее я хотел бы остановиться на направлениях науки, которые наиболее привлекали меня и в каких я в дальнейшем работал. Не знаю почему, как-то интуитивно, но еще в годы учебы наиболее любимым моим предметом был предмет, связанный с теорией групп симметрии. В то время теория групп симметрии уже применялась в физике, но еще недостаточно широко. В дальнейшем применение этой теории достигло полного расцвета, особенно, когда было открыто много новых элементарных частиц и вопрос их систематизации на основе групп симметрии приобрел очень важное значение. Когда я начинал работать, сильных теоретико-групповых методов не было. Первые работы, которые уже как-то связаны с тем, что я делаю сейчас, были посвящены свойствам частиц с высшим спином. Я хочу подчеркнуть, что вопросы, которые вошли и в суперсимметрию, интересовали меня на самом раннем этапе моей деятельности. Чем частицы с разным спином отличаются друг от друга? Почему бозоны, почему фермионы? Я помню, в частности, что, когда только узнал о группе $SU(3)$, меня поразило, что мультиплеты этой группы одновременно содержали частицы с целым и полуцелым изоспином. Я уже тогда пытался что-то сделать в этом направлении, заменяя изотопический спин на обычный, т.е. фактически это была идея, которая и легла сейчас в основу суперсимметрии. Значительную роль в зарождении идеи суперсимметрии сыграли работы по феноменологическим лагранжианам, в которых взаимодействие голдстоуновских частиц при спонтанном нарушении симметрии практически однозначно описывалось геометрическими теоретико-групповыми методами. Я активно участвовал в разработке этого направления, оно меня очень увлекло. В это же время активно стала проникать в физику идеология калибровочных полей, и я снова вернулся к старым вопросам. Меня удивило, что все частицы, голдстоуны и калибровочные поля - бозоны, а фермионы почему-то совершенно не затрагивались. Здесь как бы возникла некая неравноправность, почему-то одни частицы - бозоны выделены, а другие - фермионы - в эту группу не входят. Это был ключевой момент, поскольку уже сама мысль о том, что и фермионы могут быть голдстоуновскими или калибровочными полями, содержала

в себе как бы и ответ: если было понятно, как строить общую схему голдстоуновских частиц с целым спином, то при переходе к фермионам следовало соответствующие операторы заменить на операторы, которые несут, во-первых, спин - половинку и которые, во-вторых, в соответствии с их фермионной природой, являются антикоммутирующими, что собственно мною и было сделано. После того как это было сделано, я в соавторстве с В. Акуловым и В. Сорокой сначала рассмотрел глобальные свойства суперсимметричных теорий, а потом уже и их локальные свойства.

Хочу сказать, что я работал не только в теории групп симметрии, у меня есть работы по ядерной физике и даже по теории ускорителей, но, тем не менее, теория групп симметрии всегда была моим любимым предметом и, конечно, основные мои работы связаны с применением этой теории в физике элементарных частиц.

Основными я могу назвать работы по установлению парастатистик, работы по открытию заговора полюсов Редже, по применению групп симметрии для классификации адронных резонансов, то есть барионных и мезонных резонансов. Но основной все-таки мой результат, который наиболее широко известен сейчас в мире, это, конечно, открытие новой группы симметрии - суперсимметрии и распространение его на аспекты общей теории относительности - так называемая супергравитация.

Я считаю, что, собственно, было три источника, которые помогли мне разработать теорию суперсимметрии и теорию супергравитации. Это идея Гайзенберга, это идеи Швингера, это математические идеи великого математика Эли Картана, которые сыграли огромную роль в математическом оформлении суперсимметрии. Им был создан особый аппарат дифференциальной геометрии, предназначенный как бы специально для той системы, которую я рассматривал. Именно то обстоятельство, что я хорошо знал эти работы, помогло мне создать математический аппарат суперсимметрии.

Ранюк: *Дмитрий Васильевич, я не теоретик, мне трудно судить о Ваших достижениях. Может быть, Вы мне популярно расскажете, насколько признаны Ваши работы и о их месте в теоретической науке?*

Волков: Мне очень легко ответить на этот вопрос, прежде всего потому, что на наши работы идет большое число ссылок. Количество ссылок превышает тысячу. Это очень большой показатель для научных работ. Кроме того, о том, что эти работы признаны в мире, свидетельствует тот факт, что в 1994 году я делал доклад на очень важной конференции, где подводились итоги науки за 50 лет и выступали авторы, которые внесли основной вклад в развитие как теоретических идей, так и в получение новых экспериментальных данных.

Ранюк: Где была эта конференция?

Волков: Она была в Эричи, в Италии. Ее название “International conference on the History of original ideas and basic discoveries in particle physics.” Доклад по супергравитации на этой конференции было предложено сделать мне, что явилось большой честью для меня. Такой доклад на этой конференции я сделал.

Ранюк: Дмитрий Васильевич, я знаю, что Вы некоторое время работали в CERNе. Расскажите немного о своей работе в CERNе, ее влиянии на Вашу научную деятельность и, возможно, о Вашем влиянии на теоретиков CERNа.

Волков: CERN очень близок для меня. Я был в CERNе 5 раз: 3 раза на конференциях и 2 раза я там работал: один раз - три месяца, один раз - месяц. Конечно же работа в CERNе очень способствовала моей научной деятельности. CERN в целом играет большую роль в развитии мировой науки, и это не только мое мнение. Я говорил с американцами, с другими учеными. Они считают, что CERN является наиболее идеальным местом для работы как теоретиков, так и экспериментаторов. Это крупнейший центр, объединяющий физиков главным образом Европы и, кроме того, в качестве визитеров, там постоянно работают ученые из Америки. Я имел счастье, например, работать вместе с М. Гелл-Манном, известным Нобелевским лауреатом, имел возможность обсуждать многие идеи с Йоширо Намбу и другими не менее известными физиками. Поэтому, конечно, то, что я был в CERNе и имел возможность контактировать с выдающимися учеными Европы и Америки, очень важно для меня.

Ранюк: Дмитрий Васильевич, я Вам хочу напомнить, что запись нашей беседы будет храниться в библиотеке имени Нильса Бора при Американском институте истории физики. Я думаю, что историкам физики будет интересно познакомиться с вкладом нашего института в развитие науки, в частности с вкладом наших теоретиков. И конечно, мой разговор с Вами будет полезен им. Я благодарен Вам за то, что Вы согласились на это интервью.

Волков: Я тоже благодарю Вас за интересные вопросы, которые Вы мне задали и на которые, по мере своих возможностей, я ответил.

Список авторів

Арсланалиев А.М.....	5
Байнаев О.Х.....	7
Богровецька Л.І.....	7
Бурковська В.В.....	9
Вознюк Д.В.....	11
Волкова А. Ю.....	13
Вусик М.М.....	15
Гетьман В.А.....	16
Гранкіна І.І.....	18
Гриценко В.В.....	19
Домніч І. С.....	21
Загоскін Т.В.....	23
Зеленіна І.С.....	25
Ілюшин Л.О.....	27
Карпов Д.С.....	29
Князев Р.Р.....	30
Комір А.І.....	32
Крижановський В.С.....	33
Левенець А.В.....	35
Лісовський В.В.....	36
Малкін Д.І.....	38
Маловиця М.С.....	40
Наумова К.П.....	42
Перелицан Р. М.....	44
Пономаренко Р. В.....	45
Рубанов Д. Г.....	47
Свистунов Д.О.....	48
Семеренський А.А.....	50
Солодкий Я.С.....	52
Старостенко С.В.....	54
Степаненко О.В.....	55
Сурков Є.С.....	57
Тарабара У.К.....	58
Троценко О.Г.....	60
Турянська О.В.....	62
Шумовський М. А.....	62
Ямпольський О.О.....	64

Наукове видання

**Студентська наукова конференція
з прикладної фізики
„Актуальні проблеми сучасної фізики”
до 90-річчя Д. В. Волкова**

Тези конференції

Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *С. В. Дудін*
Комп'ютерне верстання *О. Г. Носова*

Формат 60x84/16. Умов. друк. арк. 2,8. Наклад 50 прим. Зам. № 188/15

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