

National Academy of Sciences of Ukraine
Ministry of Education and Science of Ukraine
National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”

**XXVII INTERNATIONAL CONFERENCE
ON CHARGED PARTICLE ACCELERATORS**

ABSTRACTS

September 21–24, 2021

Kharkiv, Ukraine

Kharkiv
2021

УДК 621.384.6:537.3

Опубліковані тези доповідей XXVII Міжнародної конференції з прискорювачів заряджених часток представляють інтерес для фахівців у галузі фізики і техніки лінійних прискорювачів, техніки НВЧ, систем діагностики пучків і автоматизованого контролю, нових методів прискорення, а також для фахівців, які використовують електрофізичну апаратуру в промисловості, медицині і науково-дослідній роботі.

The published abstracts of the XXVII International Conference on Charged Particle Accelerators are of interest for specialists in the field of physics and technology of linear accelerators, microwave technology, beam diagnostics and automated control systems, new acceleration methods, as well as for specialists using electrophysical equipment in industry, medicine, scientific and research work.

Авторські тексти не редагувалися.

© Національний науковий центр
«Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ), 2021

Contents

September 21, Tuesday, 9⁰⁰ – 13⁰⁰

Section 1. Status of the existing accelerators and new accelerator projects Стан існуючих та проекти нових прискорювачів

1.01.	PROJECTS OF COLLIDERS FOR PARTICLE PHYSICS <i>E.V. Bulyak</i>	19
	ПРОЕКТИ КОЛАЙДЕРІВ ДЛЯ ФІЗИКИ ЧАСТИНОК <i>Є.В. Буляк</i>	
1.02.	EXPERIMENTAL FACILITY FOR INVESTIGATION OF ELECTRON BEAMS INTERACTION WITH SINGLE CRYSTALS AND AMORPHOUS TARGETS <i>V.B. Ganenko et al.</i>	19
	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПУЧКІВ ЕЛЕКТРОНІВ З МОНОКРИСТАЛАМИ ТА АМОРФНИМИ МІШЕННЯМИ <i>В.Б. Ганенко та ін.</i>	
1.03.	M-30 MICROTROTRON FOR RADIATION EXPERIMENTS: FORMATION AND CONTROL OF IRRADIATION FIELDS <i>M.I. Romanjuk et al.</i>	20
	МІКРОТРОН М-30 ДЛЯ РАДІАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ: ФОРМУВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПОЛІВ ОПРОМІНЕННЯ <i>М.І. Романюк та ін.</i>	
1.04.	RESEARCH OF MULTIPARTICLE PHOTONUCLEAR REAC- TIONS IN RDC “ACCELERATOR” NSC KIPT <i>M.I. Ayzatsky et al.</i>	22
	ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ФОТОЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ В НДК «ПРИСКОРЮВАЧ» ННЦ ХФТІ <i>М.І. Айзацький та ін.</i>	
1.05.	EXPERIMENTAL RESEARCH AND WORK DEVELOPMENT ON THE HELIUM IONS LINAC <i>I.N. Onyshchenko et al.</i>	23
	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗВИТОК РОБІТ НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ІОНІВ ГЕЛІЮ <i>І.М. Оніщенко та ін.</i>	
1.06.	MEDICAL NEUTRON GENERATORS <i>V.A. Tsymbal, A.F. Stoyanov.</i>	24
	НЕЙТРОННІ ГЕНЕРАТОРИ, ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В МЕДИЦИНІ <i>В.О. Цимбал, О.Ф. Стоянов</i>	

1.07.	POSITRON CONVERTERS: POWER LOAD AND COOLING <i>E.V. Bulyak</i>	25
	КОНВЕРТОРИ ПОЗИТРОНІВ: ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВИХ НАГРУЗОК ТА ОХОЛОДЖЕННЯ <i>Є.В. Буляк</i>	

September 21, Tuesday, 14⁰⁰ – 17⁰⁰

Section 3. Novel and advanced acceleration techniques

Нові та нестандартні прискорювальні технології

3.01.	PLATEAU FORMATION ON ACCELERATING WAKEFIELD FOR ELECTRON-WITNESS-BUNCH AND ON DECELERATING WAKEFIELD FOR DRIVER-BUNCHES <i>V.I. Maslov, D.S. Bondar, I.M. Onishchenko, R.T.Ovsiannikov</i>	26
	ФОРМУВАННЯ ПЛАТО НА ПРИСКОРЮЮЧОМУ КІЛЬВАТЕРНОМУ ПОЛІ ДЛЯ ЗГУСТКА ЕЛЕКТРОНІВ, ЩО ПРИСКОРЮЄТЬСЯ, І НА ГАЛЬМУЮЧОМУ КІЛЬВАТЕРНОМУ ПОЛІ ДЛЯ ЗГУСТКІВ, ЩО ЗБУДЖУЮТЬ ПОЛЕ <i>В.І. Маслов, Д.С. Бондарь, І.М. Оніщенко, Р.Т. Овсянніков</i>	
3.02.	EMERGING TRENDS IN WALL-FREE HALL THRUSTERS DEVELOPMENT <i>I.V. Litovko et al</i>	27
	НОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В РОЗВИТКУ БЕЗСТІННИХ ЕЛЕКТРОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ ХОЛЛІВСЬКОГО ТИПУ <i>І.В. Літовко та ін.</i>	
3.03.	ELECTRON BEAMS WITH HIGH AVERAGE BRIGHTNESS AND NORMALIZED NANOMETER-SCALE EMITTANCE FROM A NORMALLY CONDUCTING RADIO-FREQUENCY PHOTO- INJECTOR <i>A.M. Opanasenko et al</i>	28
	ЕЛЕКТРОННІ ПУЧКИ З ВИСОКОЮ СЕРЕДНЬОЮ ЯСКРАВІСТЮ ТА НОРМОВАНИМ ЕМІТАНСОМ НАНОМЕТРОВОГО МАСШТАБУ, ЩО ФОРМУЮТЬСЯ НОРМАЛЬНО ПРОВІДНИМ ВИСОКОЧАСТОТНИМ ФОТО- ІНЖЕКТОРОМ <i>А.М. Опанасенко та ін.</i>	
3.04.	ON THE POSSIBILITY OF RESONANT ACCELERATION OF CHARGED PARTICLES BY THE FIELD OF A TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC WAVE IN VACUUM <i>V.O. Buts, A.G. Zagorodny</i>	29
	ПРО МОЖЛИВІСТЬ РЕЗОНАНСНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ПОЛЯМИ ПОПЕРЕЧНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ У ВАКУУМІ <i>В.О. Буц, А.Г. Загородній</i>	

3.05.	ABOUT THE ACCELERATION RATE OF RELATIVISTIC BEAMS BY A SURFACE WAVE IN A DIELECTRIC LASER ACCELERATOR (DLA) <i>O.O. Bolshov, A.V. Vasiliev, A.I. Povrozin, G.V. Sotnikov.</i>	30
	ПРО ТЕМП ПРИСКОРЕННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ПУЧКІВ ПОВЕРХНЕВОЮ ХВИЛЕЮ В ДІЕЛЕКТРИЧНОМУ ЛАЗЕРНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ <i>О.О. Большов, А.В. Васильев, А.І. Поврозін, Г.В. Сотніков</i>	
3.06.	ACCELERATION OF ELECTRONS USING INVERSE ANOMALOUS SCATTERING <i>V.V. Ognivenko.</i>	30
	ПРИСКОРЕННЯ ЕЛЕКТРОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЕРНЕНОГО АНОМАЛЬНОГО РОЗСІЯННЯ <i>В.В. Огнівенко</i>	

Section 6. Synchrotron radiation: sources and applications

Синхротронне випромінювання: джерела та застосування

6.01.	MULTIPHOTON INTERACTION OF RELATIVISTIC ELECTRONS WITH PERIODIC FIELDS <i>E.V. Bulyak, N.F. Shul'ga.</i>	31
	БАГАТОФОТОННА ВЗАЄМОДІЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ З ПЕРІОДИЧНИМИ ПОЛЯМИ <i>Є.В. Буляк, М.Ф. Шульга</i>	
6.02.	RADIATION FRICTION OF RELATIVISTIC CHARGED PARTICLES MOVING IN A PERIODIC FIELD <i>V.V. Ognivenko.</i>	32
	РАДІАЦІЙНЕ ТЕРТЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК, ЩО РУХАЮТЬСЯ В ПЕРІОДИЧНОМУ ПОЛІ <i>В.В. Огнівенко</i>	

September 22, Wednesday, 9⁰⁰ – 13⁰⁰

Section 4. Accelerator components

Елементи прискорювачів

4.01.	INHOMOGENEOUS TRAVELLING-WAVE ACCELERATING SECTIONS AND WKB APPROACH <i>M.I. Ayzatsky.</i>	34
	НЕОДНОРІДНІ ПРИСКОРЮЮЧІ СЕКЦІЇ НА ХВИЛІ, ЩО БІЖИТЬ, І ВКБ-НАБЛИЖЕННЯ <i>М.І. Айзацький</i>	

4.02.	RF MODULATED THERMIONIC ELECTRON GUN <i>V.F. Zhiglo, V.V. Mytrochenko, V.A. Kushnir.</i>	34
	ТЕРМОЕМІСІЙНА ЕЛЕКТРОННА ГАРМАТА З ВИСОКОЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПУЧКА <i>В.Ф. Жигло, В.В. Митроченко, В.А. Кушнір</i>	
4.03.	THERMALIZATION OF METAL ATOMS OF OPERATING ENVIRONMENT AT A METAL ION-SPUTTERING SOURCE <i>V.A. Baturin, P.A. Litvinov, S.A. Pustovoitov, O.Yu. Roenko.</i>	35
	ТЕРМАЛІЗАЦІЯ АТОМІВ МЕТАЛІВ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА В РОЗПИЛЮВАЛЬНОМУ ДЖЕРЕЛІ МЕТАЛЕВИХ ІОНІВ <i>В.А. Батурін, П.О. Литвинов, С.О. Пустовойтов, О.Ю. Роєнко</i>	
4.04.	EMITTANCE MEASUREMENTS OF AN ACCELERATED BEAM (REVIEW) <i>O.F. Dyachenko.</i>	36
	ВИМІРЮВАННЯ ЕМІТАНСУ ПРИСКОРЕНОГО ПУЧКА (ОГЛЯД) <i>О.Ф. Дьяченко</i>	
4.05.	RARE-EARTH PERMANENT MAGNETS AND THEIR POTENTIAL IN MAGNETIC SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL ELECTRON ACCELERATORS <i>V.A. Bovda et al.</i>	37
	ЗАСТОСУВАННЯ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАГНІТНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОНІВ <i>В.А. Бовда та ін.</i>	
4.06.	PROCEDURE OF COUPLER MATCHING FOR TRAVELLING WAVE STRUCTURE OF LINAC <i>M.I. Ayzatsky, V.V. Mytrochenko, K.Yu. Kramarenko.</i>	38
	ПРОЦЕДУРА УЗГОДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТИПУ ХВИЛІ ДЛЯ СТРУКТУРИ НА ХВИЛІ, ЩО БІЖИТЬ, ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ <i>М.І. Айзацький, В.В. Митроченко, К.Ю. Крамаренко</i>	
4.07.	DEVELOPMENT OF A NEW DEVICE FOR TRIGGERING A LINEAR ELECTRON ACCELERATOR "ALMAZ-2" <i>D.Yu. Zaleskyi et al.</i>	39
	РОЗРОБКА НОВОГО ПРИСТРОЮ ЗАПУСКУ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ «АЛМАЗ-2» <i>Д.Ю. Залеський та ін.</i>	

Section 5. Beam dynamics

Динаміка пучків

- 5.01. ACCELERATION OF A COMPENSATED HIGH-CURRENT ION BEAM IN A SECTION OF A LINEAR INDUCTION ACCELERATOR WITH ELECTRON ISOLATION BY A STRONG AND WEAK MAGNETIC FIELD OF CUSP GEOMETRY
I.N. Onishchenko, V.I. Maslov, O.V. Fedorovskaya. 40
ПРИСКОРЕННЯ СКОМПЕНСОВАНОГО ПОТУЖНОСТРУМОВОГО ІОННОГО ПУЧКА В СЕКЦІЇ ЛІНІЙНОГО ІНДУКЦІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА З ІЗОЛЯЦІЄЮ ЕЛЕКТРОНІВ СИЛЬНИМ І СЛАБКИМ МАГНІТНИМИ ПОЛЯМИ КАСПОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ
I.M. Оніщенко, В.І. Маслов, О.В. Федорівська
- 5.02. COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATING-PHASE AND COMBINED RF FOCUSING ON THE EXAMPLE OF THE He ION LINAC
S.S. Tishkin. 41
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗМІННО-ФАЗОВОГО ТА КОМБІНОВАНОГО ВЧ-ФОКУСУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ІОНІВ He
С.С. Тішкін
- 5.03. MAGNETIC SYSTEM FOR CLEANING THE GAMMA BEAM AT THE LUE-40 LINAC OUTPUT
V.V. Mytrochenko et al. 42
МАГНІТНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАММА-ПУЧКА НА ВИХОДІ ПРИСКОРЮВАЧА ЛУЕ-40
В.В. Митроченко та ін.
- 5.04. PARAMETERS OF THE ELECTRON BEAM AT THE DIRECT OUTPUT OF LPE-30 FOR THE RESEARCH OF THE ELECTRON INTERACTION WITH SINGLE CRYSTALS AND AMORPHOUS TARGETS
V.B. Ganenko et al. 43
ПАРАМЕТРИ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ НА ПРЯМОМУ ВИХОДІ ЛПЕ-30 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОНІВ З МОНОКРИСТАЛАМИ ТА АМОРФНИМИ МІШЕННЯМИ
В.Б. Ганенко та ін.

- 5.05. TO ANALYSIS OF BEAM TRANSVERSE EMITTANCE MEASUREMENT ERRORS AT THE LINEAR ELECTRON ACCELERATOR EXIT
V.V. Mytrochenko, S.O. Prerezhogin, A.N. Opanasenko, V.A. Kushnir. 44
 ДО АНАЛІЗУ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ЕМІТАНСУ ПУЧКА НА ВИХОДІ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ
B.B. Митроченко, С.О. Пережогін, А.Н. Опанасенко, В.А. Кушнір
- 5.06. DYNAMICS OF THE ELECTRON BEAM GENERATED BY THE MAGNETRON GUN AT DIFFERENT MAGNETIC FIELD CONFIGURATIONS IN THE TRANSPORT CHANNEL
O.S. Mazmanishvili, M.G. Reshetnyak, V.P. Romasko, I.A. Chertishchev 45
 ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ МАГНЕТРОННОЮ ГАРМАТОЮ, ПРИ РІЗНИХ КОНФІГУРАЦІЯХ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В КАНАЛІ ТРАНСПОРТУВАННЯ
O.C. Мазманішвілі, М.Г. Решетняк, В.П. Ромасько, І.А. Чертіщев

Section 2. High-current pulsed accelerators

Сильноточні імпульсні прискорювачі

- 2.01. STABILIZATION OF DECAY PROCESSES IN PLASMA
V.O. Buts, A.G. Zagorodny, I.K. Kovalchuk, O.P. Tolstoluzhsky. 46
 СТАБІЛІЗАЦІЯ РОЗПАДНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЛАЗМІ
B.O. Буц, А.Г. Загородній, І.К. Ковальчук, О.П. Толстолужський
- 2.02. MAGNETIC FIELD DYNAMICS IN PLASMA OPENING SWITCH
O.V. Manuilenko et al 47
 ДИНАМІКА МАГНІТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМОВОМУ КОМУТАТОРІ СТРУМУ
O.B. Мануйленко та ін.

September 23 Thursday, 9⁰⁰ – 13⁰⁰

Section 7. Beam applications, detectors and detecting nuclear radiations

Застосування прискорених пучків, детектори та детектування ядерних випромінювань

- 7.01. THE METHOD OF RECOIL NUCLEUS IN THE PRODUCTION OF LANTHANOID ISOTOPES USING NANOTECHNOLOGY
N.P. Dikiy et al. 49
 МЕТОД ЯДЕР ВІДДАЧІ У ВИРОБНИЦТВІ ІЗОТОПІВ ЛАНТАНОЇДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЇ
М.П. Дикій та ін.

7.02.	ESTIMATION OF GROSS-STRUCTURE PARAMETERS OF GIANT DIPOLE RESONANCE <i>N.P. Dikiy et al.</i>	50
	ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ГРОСС-СТРУКТУРИ ГІГАНТСЬКОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ <i>М.П. Дикий та ін.</i>	
7.03.	APPLICATION OF A SCINTILLATION GAMMA- SPECTROMETER FOR DETERMINATION OF RADON CONTENT IN WATER <i>D.A. Hakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets.</i>	51
7.04.	MONTE-CARLO SIMULATION OF QUASI-INFINITE DEPLETED URANIUM TARGET IRRADIATED BY 1...10 GeV DEUTERON AND PROTON BEAM <i>V.V. Bukhal et al.</i>	51
7.05.	FORMATION OF MIXED X, _n -RADIATION FIELD AT AN ELECTRON ACCELERATOR <i>A.A. Zakharchenko, V.L. Uvarov.</i>	52
	ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ МІШАНОГО X, _n -ВИПРОМІНЕННЯ НА ПРИСКОРЮВАЧІ <i>А.А. Захарченко, В.Л. Уваров</i>	
7.06.	FORMATION AND MONITORING OF SECONDARY X-RAY RADIATION AT PRODUCT PROCESSING WITH AN ELECTRON BEAM <i>R.I. Pomatsalyuk et al.</i>	53
	ФОРМУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ ВТОРИННОГО ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОДУКЦІЇ ПУЧКОМ ЕЛЕКТРОНІВ <i>Р.І. Помацалюк та ін.</i>	
7.07.	ON-LINE LUMINESCENT DOSIMETRY OF PRODUCT PROCESSING MODE AT AN ELECTRON ACCELERATOR <i>R.I. Pomatsalyuk et al.</i>	54
	ЛЮМІНЕСЦЕНТНА ON-LINE ДОЗИМЕТРІЯ РЕЖИМУ ОБРОБКИ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ <i>Р.І. Помацалюк та ін.</i>	
7.08.	THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PYROMETRIC METHOD IN INDUSTRIAL DOSIMETRY OF ELECTRON BEAM RADIATION <i>R.I. Pomatsalyuk et al.</i>	55
	ПРО МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПІРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ В ПРОМИСЛОВІЙ ДОЗИМЕТРІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ВИПРОМІНЕННЯ <i>Р.І. Помацалюк та ін.</i>	

7.09.	AN ESTIMATE OF CROSS-SECTION OF PHOTO-PROTON REACTIONS ON $^{47-50}\text{Ti}$ ISOTOPES <i>N.P. Dikiy et al ..</i>	55
	ОЦІНКА ПЕРЕРІЗІВ ФОТОПРОТОННИХ РЕАКЦІЙ НА ІЗОТОПАХ $^{47-50}\text{Ti}$ <i>М.П. Дикий та ін.</i>	

September 23 Thursday, 14⁰⁰ – 17⁰⁰

7.10.	RADIATION INDUCED SOFTENING OF CRYSTALS <i>V.I. Dubinko et al ..</i>	57
	РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНА ПЛАСТИФІКАЦІЯ КРИСТАЛІВ <i>В.І. Дубінко та ін.</i>	
7.11.	PHOTONUCLEAR REACTIONS $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$, $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{24}\text{Na}$, $^{93}\text{Nb}(\gamma, 3n)^{90}\text{Nb}$ AS MONITORS OF BREMS-STRANHLUNG FLUX <i>O.S. Deiev et al ..</i>	58
	ФОТОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$, $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{24}\text{Na}$, $^{93}\text{Nb}(\gamma, 3n)^{90}\text{Nb}$ ЯК МОНІТОРИ ПОТОКА ГАЛЬМІВНИХ КВАНТІВ <i>О.С. Деев та ін.</i>	
7.12.	ISOMERIC RATIO OF NUCLEAR PRODUCTS FROM THE REACTION $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178\text{g,m}}\text{Ta}$ AT ENERGIES $E_{\gamma\text{max}} = 33 \dots 95 \text{ MeV}$ <i>O.S. Deiev et al ..</i>	59
	ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ ЯДЕР-ПРОДУКТІВ З РЕАКЦІЇ $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178\text{g,m}}\text{Ta}$ ПРИ ЕНЕРГІЯХ $E_{\gamma\text{max}} = 33 \dots 95 \text{ MeV}$ <i>О.С. Деев та ін.</i>	
7.13.	BONNER SPHERICAL NEUTRON SPECTROMETER CALIBRATION WITH A STANDARD NEUTRON SOURCE <i>S.A. Kalenik et al ..</i>	60
	КАЛІБРУВАННЯ КУЛЬОВОГО НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА БОННЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНОГО ДЖЕРЕЛА НЕЙТРОНІВ <i>С.А. Каленик та ін.</i>	
7.14.	WORLD TRENDS IN THE APPLICATION OF ACCELERATORS FOR THE PRODUCTION OF BASIC ISOTOPES FOR NUCLEAR MEDICINE <i>I.S. Guk ..</i>	61
	СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИКОРИСТАННІ ПРИСКОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ОСНОВНИХ ІЗОТОПІВ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ <i>І.С. Гук</i>	

- 7.15. ANALYSIS OF SECONDARY ELECTRON EMISSION MEASUREMENT SYSTEMS
H.D. Kovalenko et al 62
 АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ВИХОДУ ВТОРИННОЇ ЕМІСІЇ ЕЛЕКТРОНІВ
Г.Д. Коваленко та ін.

September 24 Friday, 9⁰⁰ – 13⁰⁰

- 7.16. CORRELATION BETWEEN MULTIPLE SCATTERING ANGLE AND IONIZATION ENERGY LOSS FOR FAST ELECTRONS
M.V. Bondarenko..... 64
 КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ КУТОМ БАГАТОРАЗОВОГО РОЗСІЯННЯ ТА ІОНІЗАЦІЙНОЮ ВТРАТОЮ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ШВИДКИХ ЕЛЕКТРОНІВ
М.В. Бондаренко
- 7.17. HYBRID-PS AND MAPS DETECTOR SYSTEMS FOR NUCLEAR PHYSICS EXPERIMENTS
M.V. Pugach et al 64
 HYBRID-PS ТА MAPS ДЕТЕКТОРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ
М.В. Пугач та ін.
- 7.18. SIMULATION STUDIES OF THE MOLIERE RADIUS FOR EM CALORIMETER MATERIALS
O.P. Gavrishchuk, V.E. Kovtun, T.V. Malykhina 65
 МОДЕЛЮВАННЯ РАДІУСА МОЛЬЄРА ДЛЯ МАТЕРІАЛІВ ЕМ-КАЛОРИМЕТРА
О.П. Гаврищук, В.Є. Ковтун, Т.В. Малихіна
- 7.19. CROSS-SECTIONS OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON ^{nat}Mo TARGETS AT END-POINT BREMSSTRAHLUNG ENERGIES UP TO $E_{\gamma\max} = 100$ MeV
O.S. Deiev et al 66
 ПЕРЕРІЗИ ФОТОЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ НА МІШЕНЯХ З ^{nat}Mo ПРИ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНИХ КВАНТІВ ДО $E_{\gamma\max} = 100$ MeV
О.С. Деев та ін.
- 7.20. RESEARCH OF MULTICHANNEL REACTION ²⁷Al(γ,x)²²Na AT ENERGIES $E_{\gamma\max} = 35\dots95$ MeV
O.S. Deiev et al 67
 ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ РЕАКЦІЇ ²⁷Al(γ,x)²²Na У ДІАПАЗОНІ ЕНЕРГІЙ $E_{\gamma\max} = 35\dots95$ MeV
О.С. Деев та ін.

7.21.	PRODUCT YIELDS FOR THE PHOTOFISSION OF ^{239}Pu WITH BREMSSTRAHLUNG AT 17.5 MeV BOUNDARY ENERGY <i>O.O. Parlag et al</i>	68
	ВИХОДИ ПРОДУКТІВ ФОТОПОДІЛУ ^{239}Pu ПРИ МАКСИМАЛЬНІЙ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 17,5 MeV <i>О.О. Парлаг та ін.</i>	
7.22.	OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF PHARMACEUTICALS WITH ISOTOPE ^{11}C ON THE BEAM OF ELECTRON ACCELERATOR <i>I.S. Guk, O.S. Deiev, R.M. Dronov, B.I. Shramenko</i>	69
	ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРАЦЮВАННЯ ФАРМПРЕПАРАТІВ З ІЗОТОПОМ ^{11}C НА ПУЧКУ ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ <i>І.С. Гук, О.С. Деєв, Р.М. Дронов, Б.І. Шраменко</i>	
7.23.	FOUR CHANNEL CONTROL MODULE GONIOMETER <i>G.P. Vasiliev et al</i>	70
	ЧОТИРЬОХКАНАЛЬНИЙ МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ ГОНІОМЕТРОМ <i>Г.П. Васильєв та ін.</i>	

Posters

Стендові доповіді

P.01.	LU-10M LINAC SYNCHRONIZATION SYSTEM <i>V.M. Boryskin et al</i>	71
	СИСТЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ ЛУ-10М <i>В.М. Борискін та ін.</i>	
P.02.	DEVELOPMENT OF DEVICE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ACOUSTIC DIAGNOSIS OF PROCESSES OCCURRING IN THE SUPERCRITICAL STATE OF FLUID AND MAGNETIC SYSTEM MONITORING <i>V.M. Boryskin, V.V. Churikov, V.O. Momot, O.S. Bakai</i>	71
	РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В НАДКРИТИЧНОМУ СТАНІ РІДИНИ, ТА КОНТРОЛЮ РОБОТИ МАГНІТНОГО ПРИСТРОЮ <i>В.М. Борискін, В.В. Чуриков, В.О. Момот, О.С. Бакай</i>	
P.03.	TRANSITION RADIATION OF A RELATIVISTIC ELECTRON BUNCH ON A SEMI-INFINITE METAL CYLINDER <i>V.A. Balakirev, I.N. Onishchenko</i>	72
	ПЕРЕХІДНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ЕЛЕКТРОННОГО ЗГУСТКА НА НАПІВНЕСКІНЕЧНОМУ МЕТАЛЕВОМУ ЦИЛІНДРІ <i>В.А. Балакірев, І.М. Оніщенко</i>	

P.04.	EXCITATION OF WAKE FIELDS BY A RELATIVISTIC ELECTRON BUNCH IN AN IONIC SEMICONDUCTOR WAVEGUIDE <i>V.A. Balakirev, I.N. Onishchenko..</i>	73
	ЗБУДЖЕННЯ КІЛЬВАТЕРНИХ ПОЛІВ РЕЛЯТИВІСТСЬКИМ ЕЛЕКТРОННИМ ЗГУСТКОМ В ІОННОМУ НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ХВИЛЕВОДІ <i>В.А. Балакірев, І.М. Оніщенко</i>	
P.05.	THE PROSPECTS FOR SMALL-GAP RESONATORS BASED ON COMBINED RF FOCUSING FOR USE IN PROTON LINACS <i>S.S. Tishkin, M.G. Shulika, O.M. Shulika..</i>	74
	ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ МАЛОЗАБОРНИХ РЕЗОНАТОРІВ З КОМБІНОВАНИМ ВЧ-ФОКУСУВАННЯМ У ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЮВАЧАХ ПРОТОНІВ <i>С.С. Тішкін, М.Г. Шуліка, О.М. Шуліка</i>	
P.06.	METHODS OF ADJUSTING FORMING LINES USING A LOW VOLTAGE THYRISTOR SWITCH <i>O.I. Kosoy et al</i>	75
	МЕТОДИКА НАЛАШТУВАННЯ ФОРМУЮЧИХ ЛІНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ТИРИСТОРНОГО КОМУТАТОРА <i>О.І. Косою та ін.</i>	
P.07.	DEVICE OF REMOTE MEASUREMENT OF THE MODE OF OPERATION OF THE HEATER OF THE ELECTRON ACCELERATOR “LU-10” <i>V.O. Mats et al</i>	76
	ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ РОЗЖАРЮВАННЯ ПРИСКОРЮВАЧА «ЛУ-10» <i>В.О. Мац та ін.</i>	
P.08.	SHORT SOLENOID DESIGN FOR ACCELERATOR LUE-40 <i>S.A. Perezhogin et al</i>	77
	РОЗРОБКА КОРОТКОГО СОЛЕНОЇДА ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧА ЛУЕ-40 <i>С.О. Пережогін та ін.</i>	
P.09.	VACUUM SYSTEM OF KLYSTRON REPAIR FACILITY FOR ELECTRON ACCELERATORS <i>R.M. Dronov et al</i>	77
	ВАКУУМНА СИСТЕМА УСТАНОВКИ З РЕСТАВРАЦІЇ КЛІСТРОНІВ ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОНІВ <i>Р.М. Дронов та ін.</i>	

- P.10. APFRFQ – AN INTEGRATED ENVIRONMENT FOR THE DEVELOPMENT OF HIGH-CURRENT LINEAR ION ACCELERATORS WITH RF FOCUSING
S.S. Tishkin, M.G. Shulika, O.M. Shulika.. 78
 APFRFQ – ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ ВЕЛИКОСТРУМОВИХ ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ ІОНІВ З ВЧ-ФОКУСУВАННЯМ
С.С. Тішкін, М.Г. Шуліка, О.М. Шуліка
- P.11. FORMATION OF ELECTRON BEAMS WITH GIVEN SPATIAL DISTRIBUTIONS BY THE SCANNER
V.G. Rudychev, V.T. Lazurik, Y.V. Rudychev.. 79
 ФОРМУВАННЯ ПУЧКІВ ЕЛЕКТРОНІВ З ЗАДАНИМ ПРОСТОРОВИМ РОЗПОДІЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ СКАНЕРА
В.Г. Рудичев, В.Т. Лазурік, Є.В. Рудичев
- P.12. FORMATION OF CHARGE AND CURRENT EXTERNAL SOURCES UNDER RELATIVISTIC POINT CHARGE NORMAL INCIDENCE ONTO THE BOUNDARY OF THE PERFECTLY CONDUCTIVE HALF-SPACE
S.D. Prijmenko. 80
 ДО ФОРМУВАННЯ СТОРОННІХ ДЖЕРЕЛ ЗАРЯДУ І СТРУМУ ПРИ НОРМАЛЬНОМУ ПАДІННІ РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ТОЧКОВОГО ЗАРЯДУ НА МЕЖУ ІДЕАЛЬНО ПРОВІДНОГО ПІВПРОСТОРУ
С.Д. Прийменко
- P.13. FORMATION OF OPTICAL IMAGES SYNCHROTRON RADIATION QUANTUM FLUX OF RELATIVISTIC ELECTRONS IN THE GENERATOR “NESTOR”
O.S. Mazmanishvili, N.V. Moskalets. 81
 ФОРМУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОТОКОМ КВАНТІВ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ У ГЕНЕРАТОРІ «НЕСТОР»
О.С. Мазманішвілі, Н.В. Москалець
- P.14. IMAGE CONVERSION OF SIGMA- AND PI-COMPONENTS OF RELATIVISTIC ELECTRON RADIATION AND METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PHOTON FLUX IN THE SYNCHROTRON RADIATION OUTPUT CHANNEL
O.S. Mazmanishvili, N.V. Moskalets, A.A. Shcherbakov. 83
 ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ СИГМА- І ПІ-КОМПОНЕНТ ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ І МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКУ ФОТОНІВ У КАНАЛІ ВИВОДУ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
О.С. Мазманішвілі, Н.В. Москалець, О.О. Щербаков

- P.15. TWO-PARAMETRIC BEAM MODEL FOR DOSIMETRY OF THE PROCESS OF ELECTRON IRRADIATION OF MATERIALS WITH LOW DENSITY AND ATOMIC NUMBER
V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G. Popov, Z. Zimek. 84
 ДВОПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПУЧКА ДЛЯ ДОЗИМЕТРІЇ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ І АТОМНИМ НОМЕРОМ
В.Т. Лазурик, В.М. Лазурик, Г. Попов, З. Зимек
- P.16. OPTIMIZATION OF BREMSSTRAHLUNG CHARACTERISTICS FOR IRRADIATING THICK OBJECTS
V.G. Rudychev, M.O. Azarenkov, I.O. Girka, Y.V. Rudychev. 85
 ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ОПРОМІНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВЕЛИКОЇ ТОВЩИНИ
В.Г. Рудичев, М.О. Азарєнков, І.О. Гірка, Є.В. Рудичев
- P.17. RADIATION STIMULATION OF THE CATALYTIC ACTIVITY OF ZIRCONIUM DIOXIDE NANOPARTICLES DURING THE CONVERSION OF HYDROCARBONS 86
N.P. Dikiy, Yu.V. Lyashko, O.P. Medvedeva, D.V. Medvedev.
 РАДІАЦІЙНА СТИМУЛЯЦІЯ КАТАЛІТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ НАНОЧАСТИНОК ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ В ПРОЦЕСАХ КОНВЕРСІЇ ВУГЛЕВОДНІВ
М.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, О.П. Медведєва, Д.В. Медведєв
- P.18. THE USE OF HIGH-CURRENT LINAC FOR DETERMINATION THE $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ ISOTOPE RATIO IN CORRELATION WITH ANOTHER ELEMENTS IN DIFFERENT HUMAN PATHOLOGIES
N.P. Dikiy, Yu.V. Lyashko, O.P. Medvedeva, D.V. Medvedev. 87
 ВИКОРИСТАННЯ ПОТУЖНОСТРУМОВИХ ЛПЕ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІЗОТОПНОГО ВІДНОШЕННЯ $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ В КОРЕЛЯЦІЇ З ІНШИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ПРИ РІЗНИХ ПАТОЛОГІЯХ ЛЮДИНИ
М.П. Дикий, Ю.В. Ляшко О.П. Медведєва, Д.В. Медведєв
- P.19. POLARIZATION OF DIFFRACTION RADIATION FROM THE CHARGED PARTICLE AND THE BUNCH OF PARTICLES ON THE METAL SPHERE
N.F. Shul`ga, V.V. Syshchenko, A.I. Tarnovsky.. . . . 89
- P.20. FACILITY AND RESEARCHES RESULTS OF THE FRICTIONAL CHARACTERISTICS OF THE PAIR METAL–IRRADIATED CERAMICS 89
V.I. Butenko et al
 УСТАНОВКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ФРИКЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРИ МЕТАЛ–ОПРОМІНЕНА КЕРАМІКА
В.І. Бутенко та ін.

P.21.	SOME RESULTS OF RESEARCH OF CHEMICAL PROCESSES IN THE SUPRECRITIC CONVECTIONAL WATER LOOP UNDER ELECTRON EXPOSURE <i>O.I. Azarov et al</i>	90
	ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У НАДКРИТИЧНІЙ КОНВЕКЦІЙНІЙ ВОДНІЙ ПЕТЛІ ПРИ ОПРОМІНЕННІ ЕЛЕКТРОНАМИ <i>О.І. Азаров та ін.</i>	
P.22.	VECTOR PROTON-BEAM WRITING SYSTEM <i>H.E. Polojiy et al</i>	91
	СИСТЕМА ВЕКТОРНОЇ ПРОТОННОЇ ЛІТОГРАФІЇ <i>Г.Є. Положій та ін.</i>	
P.23.	COMPARISON OF PARAMETERS OF PLASMA GUNS OF COAXIAL TYPE FOR ACCELERATING EQUIPMENT <i>D.V. Vinnikov et al</i>	92
	ПОРІВНЯННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОВИХ ГАРМАТ КОАКСІАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ <i>Д.В. Вінніков та ін.</i>	
P.24.	GAS DISCHARGE PLASMA FOR AN ACCELERATOR BASED ON A PLASMA-FILLED DIODE <i>E.I. Skibenko, A.N. Ozerov, V.B. Yuferov</i>	93
	ГАЗОРОЗРЯДНА ПЛАЗМА ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧА НА ОСНОВІ ПЛАЗМОНАПОВНЕНОГО ДІОДА <i>Є.І. Скібенко, О.М. Озеров, В.Б. Юферов</i>	
P.25.	GATED INTEGRATING CURRENT-VOLTAGE CONVERTER FOR MEASURING LOW CURRENTS <i>G.P. Vasiliev et al</i>	94
	СТРОБОВАНИЙ ІНТЕГРУЮЧИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СТРУМ-НАПРУГА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ СТРУМІВ <i>Г.П. Васильєв та ін.</i>	
P.26.	COMPUTERIZED STAND FOR MEASURING THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF PLANAR RADIATION DETECTORS <i>N.I. Maslov et al</i>	95
	КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ СТЕНД ВИМІРЮВАНЬ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНИХ КРЕМНІЄВИХ ДЕТЕКТОРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ <i>М.І. Маслов та ін.</i>	
P.27.	HF RADIATION PULSE SOURCE LOCATING IN DIN-2K ACCELERATOR <i>O.S. Druj, V.V. Yegorenkov, S.V. Marchenko, V.B. Yuferov</i>	96
	ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА ІМПУЛЬСУ ВЧ-ВИПРОМІНЕННЯ НА ПРИСКОРЮВАЧІ ДІН-2К <i>О.С. Друй, В.В. Єгоренков, С.В. Марченко, В.Б. Юферов</i>	

- P.28. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE PRIMARY CIRCUIT ON THE OUTPUT PARAMETERS OF ACCELERATORS WITH A PLASMA CURRENT SWITCH
V.B. Yuferov et al 97
 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПЕРВИННОГО КОЛА НА ВИХІДНІ ПАРАМЕТРИ ПРИСКОРЮВАЧІВ З ПЛАЗМОВИМ КОМУТАТОРОМ СТРУМУ
В.Б. Юферов та ін.
- P.29. MODELING OF THE PROCESSES OF FORMATION OF RADIATION DAMAGE IN THE INTERACTION OF GAMMA QUANTUM FLUXES AND RELATIVISTIC ELECTRON BEAMS WITH SOLUTIONS OF ORGANIC DYES
S.P. Gokov et al 98
 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКІВ ГАММА-КВАНТІВ І ПУЧКІВ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ З РОЗЧИНОМ ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ
С.П. Гоков та ін.
- P.30. MODELING AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESSES OF INTERACTION OF FLUXES OF FAST AND THERMAL NEUTRONS WITH SOLUTIONS OF ORGANIC DYES
S.P. Gokov et al 99
 МОДЕЛЮВАННЯ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКІВ ШВИДКИХ І ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ З РОЗЧИНАМИ ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ
С.П. Гоков та ін.
- P.31. COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCELERATION GRADIENTS FOR CHIP STRUCTURES WITH DIFFERENT REFRACTIVE INDICES
A.V. Vasyliiev et al 100
 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГРАДІЄНТІВ ПРИСКОРЕННЯ ДЛЯ СТРУКТУР З РІЗНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗАЛОМЛЕННЯ
А.В. Васильєв та ін
- P.32. MILLIMETER-WAVELENGTH RELATIVISTIC MAGNETRON: PROBLEMS OF MICROWAVE POWER EXTRACTION
N.P. Gadetski et al 101
 РЕЛЯТИВІСТСЬКИЙ МАГНЕТРОН МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ: ПИТАННЯ ВИВЕДЕННЯ МІКРОХВИЛЕВОЇ ЕНЕРГІЇ
М.П. Гадецький та ін.

P.33.	PULSED POWER TO MICROWAVES CONVERSION IN NONLINEAR TRANSMISSION LINES <i>S.Y. Karelin et al</i>	102
	КОНВЕРСІЯ ІМПУЛЬСНОЇ ЕНЕРГІЇ В МІКРОХВИЛІ В ЛІНІЯХ ПЕРЕДАЧІ З НЕЛІНІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ <i>С.Ю. Карелін та ін.</i>	
P.34.	CONTROLLED PULSE PYROELECTRIC ACCELERATOR AND SOURCE OF X-RAY RADIATION <i>O.O. Ivashchuk et al</i>	103
	КОНТРОЛЬОВАНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ ПРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ І ДЖЕРЕЛО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ <i>О.О. Іващук та ін.</i>	
P.35.	ACCELERATING A PART OF ELECTRONIC BUNCHES BY WAKEFIELDS IN A WAVEGUIDE WITH DIELECTRIC FILLING <i>A.F. Linnik et al</i>	104
	ПРИСКОРЕННЯ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОННИХ ЗГУСТКІВ КІЛЬВАТЕРНИМИ ПОЛЯМИ В ХВИЛЕВОДІ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМ ЗАПОВНЕННЯМ <i>А.Ф. Лінник та ін.</i>	
P.36.	STOCHASTIC MECHANISM OF BROADENING SPECTRAL DENSITY OF SYNCHROTRON RADIATION OF RELATIVISTIC ELECTRON <i>O.S. Mazmanishvili</i>	105
	СТОХАСТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ЕЛЕКТРОНА <i>О.С. Мазманішвілі</i>	
P.37.	REGISTRATION OF CONVERSION e^- IN A WIDE RANGE OF ENERGIES WITH DETECTING SYSTEM "Si PLANAR DETECTOR – METAL Gd-CONVERTER" <i>V.N. Dubina et al</i>	105
	РЕЄСТРАЦІЯ КОНВЕРСІЙНИХ e^- В ШИРОКОМУ ІНТЕРВАЛІ ЕНЕРГІЙ ДЕТЕКТУЮЧОЮ СИСТЕМОЮ «Si-ПЛАНАРНИЙ ДЕТЕКТОР – МЕТАЛЕВИЙ Gd-КОНВЕРТЕР» <i>В.Н. Дубіна та ін.</i>	

Section 1. Status of the existing accelerators and new accelerator projects

Стан існуючих та проекти нових прискорювачів

1.01. PROJECTS OF COLLIDERS FOR PARTICLE PHYSICS

E.V. Bulyak

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

V.N. Karazin National University, Kharkiv, Ukraine

E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

We report state and progress of the high energy collider projects that are under development: circular FCCee, CEPC, and linear ILC and CLIC. Also a novel project of electron-ion collider EIC is briefly described. All these projects are international and suggested world-wide collaborations in planning of future experiments, construction of the facilities and detection systems.

ПРОЕКТИ КОЛАЙДЕРІВ ДЛЯ ФІЗИКИ ЧАСТИНОК

Є.В. Буляк

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

Висвітлено стан справ та прогрес в розвитку проектів колайдерів для потреб фізики частинок. Перелічені такі проекти як циклічні колайдери FCCee, CEPC та лінійні - ILC та CLIC. Також коротко описано новий проект електрон-іонного колайдера EIC. Всі перелічені колайдери є суто міжнародними проектами. Науковці зі всього світу будуть приймати участь в розробці програми наукових експериментів, проектуванні прискорювачів та систем детекторів.

1.02. EXPERIMENTAL FACILITY FOR INVESTIGATION OF ELECTRON BEAMS INTERACTION WITH SINGLE CRYSTALS AND AMORPHOUS TARGETS

V.B. Ganenko, S.P. Gokov, Yu.H. Kazarinov, S.H. Karpus, V.Y. Kasilov, H.D. Kovalenko, S.S. Kochetov, O.O. Shopen, Ye.V. Tsyatsko, M.I. Maslov, H.P. Vasiliev, V.I. Yalovenko, I.M. Shlyakhov, V.D. Ovchinnik, M.Y. Shulika

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua

The experimental facility for studying the interaction of electrons with single-crystal and amorphous targets has been developed and mounted on the direct output of a linear electron accelerator. It consists of several systems and units that perform a function during the experiment, namely: developed a system for scanning the cross section of the electron beam to measure the electron angular divergence and a system of visual monitoring of the beam to transport it from the accelerator to the facility. The current measuring systems of electrons that have passed through an experimental

target, as well as a system for monitoring the position of the beam on a single-crystal target during the experiment are developed too. A special device for installing targets under the beam for the study of secondary electron emission processes has been developed and manufactured. A goniometric device has also been installed and a computer-controlled goniometric device has been developed and manufactured. Currently, the facility is connected to the vacuum system of the accelerator and experimental studies have been started on it. Options for its improvement are discussed.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПУЧКІВ ЕЛЕКТРОНІВ З МОНОКРИСТАЛАМИ ТА АМОРФНИМИ МІШЕННЯМИ

*В.Б. Ганенко, С.П. Гоков, Ю.Г. Казарінов, С.Г. Карпусь, В.Й. Касілов,
Г.Д. Коваленко, С.С. Кочетов, О.О. Шопен, Є.В. Цяцько, М.І. Маслов,
Г.П. Васильєв, В.І. Яловенко, І.М. Шляхов, В.Д. Овчинник, М.Ю. Шуліка
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua*

Розроблено та змонтовано на прямому виході лінійного прискорювача електронів установку для дослідження взаємодії електронів з монокристалічними та аморфними мішенями. Вона складається з декількох систем та вузлів, які виконують ту чи іншу функцію при проведенні експерименту, а саме: створено систему сканування поперечного перерізу пучку електронів для вимірювання кутового розходження електронів та система візуального спостереження за пучком для проведення його з прискорювача на установку. Система вимірювання струму електронів, які пройшли через дослідну мішень, а також система контролю положення пучка на монокристалічній мішені в процесі експерименту. Розроблено та виготовлено спеціальний пристрій для встановлення під пучок мішеней для дослідження процесів вторинної емісії електронів. Також змонтовано гоніометричний пристрій та розроблено і виготовлено систему автоматичного керування гоніометричним пристроєм за допомогою комп'ютера. На даний час установка приєднана до вакуумної системи прискорювача і на ній розпочато експериментальні дослідження. Обговорюються варіанти її удосконалення.

1.03. M-30 MICROTRON FOR RADIATION EXPERIMENTS: FORMATION AND CONTROL OF IRRADIATION FIELDS

*M.I. Romanyuk¹, G.F. Pitchenko¹, O.M. Turkhovsky¹, J.J. Gajnish¹,
I.G. Megela¹, M.V. Hoshovsky¹, O.O. Parlag¹, E.V. Oleynikov¹, I.V. Pylypchinetc¹,
V.V. Lukachinets², O.V. Dotsenko³, V.T. Maslyuk¹
¹ Institute of Electron Physics, Uzhhorod, Ukraine;
² Uzhgorod National University, Uzhhorod, Ukraine;
³ Design Office Pivdenne, Dnipro, Ukraine
E-mail: volodymyr.maslyuk@gmail.com*

The parameters of the M-30 microtron allow forming radiation fields of accelerated electrons (e) with high monoenergy (99%) in the energy range of 1...18 MeV, bremsstrahlung (g) radiation, and neutron (n) fluxes with a density up to

$10^{11} \dots 10^{12}$ neutr./cm². The range of currents of the beam of accelerated electrons can be controlled in the range of 0.1...50 μ A. Such parameters allow M-30 using as a radiation test bench for testing materials and devices of space and special applications. This report considers the basics of operation, parameters and methods of formation, control of radiation fields, including mixed (e-, g-, n-) type for different distances from the output node M-30. Methods of control of the homogeneity and energy spectrum of irradiation fields, the possibilities of automation of processing, and the graphic representation of radiation experiments data are discussed. The data of control of homogeneity of the M-30 irradiation field through recording media (film, glass) and controlled scanner are compared. Computer simulation results using the GEANT code of electron beam transformation in e- g-, n- radiation are presented. The possibilities of its optimization by choice of target grade and thickness are discussed.

МІКРОТРОН М-30 ДЛЯ РАДІАЦІЙНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ:
ФОРМУВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПОЛІВ ОПРОМІНЕННЯ

*М.І. Романюк¹, Г.Ф. Пітченко¹, О.М. Турховський¹, Й.Й. Гайніш¹,
І.Г. Мегела¹, М.В. Гошовський¹, О.О. Парлаз¹, Е.В. Олейніков¹,
І.В. Пилипчинець¹, В.В. Лукачинець², О.В. Доценко³, В.Т. Маслюк¹*

¹*Інститут електронної фізики, Ужгород, Україна;*

²*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна;*

³*КБ Південне, Дніпро, Україна*

E-mail: volodymyr.maslyuk@gmail.com

Параметри мікротрона М-30 дозволяють формувати радіаційні поля прискорених електронів (e) із високою моноенергетичністю (99%) в діапазоні енергій 1...18 МеВ, гальмівного (γ) випромінювання та нейтронних (n) потоків із щільністю до $10^{11} \dots 10^{12}$ нейтр./см². Діапазон струмів пучка прискорених електронів можна контролювати в діапазоні 0,1...50 мкА. Такі параметри М-30 дозволяють його використання як радіаційного стенду для випробувань матеріалів та приладів космічного та спеціального випромінювання. Розглядаються основи функціонування, робочі параметри та методи формування, контролю радіаційних полів в тому числі змішаного (e-, γ -, n-) типу для різних віддалей від вузла виводу М-30. Обговорюються методи контролю однорідності та енергетичного спектру полів опромінення, можливості автоматизації обробки та графічного представлення даних радіаційних експериментів. Порівнюються дані контролю однорідності поля опромінення М-30 за допомогою реєструючих середовищ (плівки, скло) та керованого сканера. Представлено результати комп'ютерної симуляції із використанням коду GEANT трансформації пучка електронів у γ -, n-випромінювання, обговорюються можливості її оптимізації вибором сорту та товщини мішені.

1.04. RESEARCH OF MULTIPARTICLE PHOTONUCLEAR REACTIONS IN RDC “ACCELERATOR” NSC KIPT

M.I. Ayzatsky¹, O.A. Bezshyyko³, V.O. Bocharov¹, O.S. Deiev¹, L.O. Golinka-Bezshyyko³, A.S. Kachan¹, I.M. Kadenko³, S.S. Kandybei¹, L.P. Korda¹, V.Yu. Korda², E.L. Kuplennikov¹, V.A. Kushnir¹, V.V. Mytrochenko¹, S.M. Olejnik¹, S.A. Perezhogin¹, M.M. Pilipenko¹, O.A. Repikhov¹, O.V. Rybka¹, B.I. Shramenko¹, I.S. Timchenko¹, V.S. Trubnikov¹, Ye.O. Vasilev¹, C. Vallerand⁴, A.N. Vodin¹

¹*NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;*

²*IERT NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;*

³*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine;*

⁴*Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France*

E-mail: timchenko@kipt.kharkov.ua

The main results obtained in the study of multiparticle photonuclear reactions on ²⁷Al, ⁹³Nb, ^{nat}Mo and ¹⁸¹Ta nuclei in the range of bremsstrahlung γ -quanta energies $E_{\gamma\max} = 35\dots95$ MeV are discussed. The experiments were performed on the electron beam of the LUE-40 linear accelerator RDC “Accelerator” NSC KIPT using the γ -activation technique. As a result of the performed research, bremsstrahlung flux-averaged cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$, the cross-sections per equivalent photon $\langle\sigma(E_{\gamma\max})_Q\rangle$, and the isomeric ratios of the products of photonuclear reactions were obtained. For the ⁹³Nb, ^{nat}Mo nuclei peculiarities in the behavior of the $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ energy dependences of the studied reactions associated with the influence of shell effects were found. For photoneutron reactions (γ, xn ; $x=1\dots8$) on ¹⁸¹Ta with the formation of product nuclei in the ground state with a positive parity $\pi = +$ good agreement with the theory was observed, while for $\pi = -$ significant differences were revealed. Using as an example of photodisintegration of the ²⁷Al nucleus, the peculiar properties for the use of two types of averaged cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ and $\langle\sigma(E_{\gamma\max})_Q\rangle$ for different cases of reactions were established, dependent on one or several reaction channels with the formation of the same final nucleus-product. The obtained results are compared with the literature data and with the theoretical calculations performed using the cross sections $\sigma(E)$ from the code TALYS1.95 for different models of the level density of the LD1-6. Perspective directions of research of multiparticle photonuclear reactions are discussed.

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ ФОТОЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ В НДК «ПРИСКОРЮВАЧ» ННЦ ХФТІ

М.І. Айзацький¹, О.А. Безшийко³, В.О. Бочаров¹, О.С. Десв¹, Л.О. Голінка-Безшийко³, О.С. Качан¹, І.М. Каденко³, С.С. Кандибей¹, Л.П. Корда¹, В.Ю. Корда³, Е.Л. Купленніков¹, В.А. Кушнір¹, В.В. Митроченко¹, С.М. Олійник¹, С.О. Пережогін¹, М.М. Пилипенко¹, О.О. Реніхов¹, О.В. Рибка¹, Б.І. Шраменко¹, І.С. Тімченко¹, В.С. Трубніков¹, Є.О. Васильєв¹, С. Vallerand⁴, О.М. Водін¹

¹ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;

²ІЕРТ НАН України, Харків, Україна;

³Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна;

⁴Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL), Orsay, France

E-mail: timchenko@kipt.kharkov.ua

Обговорюються основні результати, отримані при дослідженні багаточастинкових фотоядерних реакцій на ядрах ^{27}Al , ^{93}Nb , $^{\text{nat}}\text{Mo}$ і ^{181}Ta у діапазоні граничних енергій гальмівних γ -квантів $E_{\gamma\text{max}} = 35\dots95$ МеВ. Експерименти проведені на пучку електронів прискорювача ЛПЕ-40 НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ із застосуванням методу наведеної γ -активності. У результаті проведених досліджень здобуто нові дані по середнім по потоку гальмівного γ -випромінення перерізам $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$, перерізам на еквівалентний фотон $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})_Q\rangle$ та по ізомерним відношенням продуктів фотонуклонних реакцій. Для ^{93}Nb , $^{\text{nat}}\text{Mo}$ виявлені особливості в поведінці енергетичних залежностей перерізів досліджуваних реакцій, пов'язаних з впливом оболонкових ефектів. Для фотонейтронних (γ, xn ; $x = 1\dots8$) реакцій на ^{181}Ta з утворенням ядер-продуктів у основному стані з позитивною парністю $\pi = +$ спостерігається гарне узгодження з теорією, в той час як для $\pi = -$ виявлено істотні розбіжності. На прикладі фоторозщеплення ядра ^{27}Al встановлені особливості використання двох типів середніх перерізів $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ і $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})_Q\rangle$ для різних випадків протікання реакцій: по одному або по декількох каналах реакцій з утворенням одного й того ж кінцевого ядра-продукту. Проведено порівняння отриманих результатів з літературними даними і з теоретичними розрахунками, виконаними з використанням перерізів $\sigma(E)$ з коду TALYS1.95 для різних моделей щільності рівнів LD1-6. Обговорюються перспективні напрямки дослідження багаточастинкових фотоядерних реакцій.

1.05. EXPERIMENTAL RESEARCH AND WORK DEVELOPMENT ON THE HELIUM IONS LINAC

*I.N. Onyshchenko, O.V. Manuilenko, B.V. Zajtsev, S.M. Dubniuk, A.P. Kobets,
A.I. Kravchenko, K.V. Pavlii, V.M. Reshetnikov, V.A. Soshenko, S.S. Tishkin,
O.V. Zhuravlyov, V.G. Zhuravlyov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: zajtsev@kipt.kharkov.ua*

The paper provides a brief summary of the experimental research carried out on the materials science radiation complex developed in the NSC KIPT. The complex is based on the helium ions linac. The features and advantages of the accelerating struc-

ture based on alternative phase focusing (APF) are described. The main directions of research development are determined. The techniques were developed and irradiation different types of construction materials and candidate materials for the divertor and the first wall of the TNR were carried out. The damageability of the irradiated samples could create from 3 to 80 dpa.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗВИТОК РОБІТ НА ЛІНІЙНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ ІОНІВ ГЕЛІЮ

*І.М. Оніщенко, О.В. Мануйленко, Б.В. Зайцев, С.М. Дубнюк, А.П. Кобець,
А.І. Кравченко, К.В. Павлій, В.М. Решетніков, В.А. Сошенко, С.С. Тішкін,
О.В. Журавльов, В.Г. Журавльов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: zajtsev@kipt.kharkov.ua*

Наведено короткий виклад експериментальних досліджень, проведених на матеріалознавському радіаційному комплексі, розробленому в ННЦ ХФТІ. Комплекс базується на лінійному прискорювачі іонів гелію. Описані особливості та переваги прискорюючої структури, в основу якої покладений принцип змінно-фазового фокусування. Визначені основні напрямки розвитку досліджень. Розроблено методики та проведені опромінення різного типу конструкційних матеріалів та кандидатних матеріалів для дивертора і першої стінки ТЯР. Пошкоджуваність опромінених зразків в експериментах створювалася в межах 3...80 сна.

1.06. MEDICAL NEUTRON GENERATORS

*V.A. Tsymbal, A.F. Stoyanov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: tsymbalgtm@gmail.com*

At present, the NSC KIPT has developed designs for two types of neutron generators - a stationary powerful neutron generator and a portable neutron generator. The powerful neutron generator is intended for research in the field of neutron physics, use for medical purposes. The portable neutron generator is intended primarily for use in radiation medicine for brachytherapy; it is planned to use the installation for the treatment of oncological diseases. The development of the design of neutron generators provides for modeling the processes of the appearance, propagation and absorption of neutrons, the acceleration, motion and deceleration of deuterons in the beam, cooling of the generator elements, etc. Generators are designed on the basis of the proposed process models.

НЕЙТРОННІ ГЕНЕРАТОРИ, ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В МЕДИЦИНІ

*В.О. Цимбал, О.Ф. Стоянов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: tsymbalgtm@gmail.com*

В даний час в ННЦ ХФТІ розроблені конструкції двох типів нейтронних генераторів-стаціонарний потужний нейтронний генератор і портативний нейт-

ронний генератор. Потужний нейтронний генератор призначений для досліджень в області нейтронної фізики, використання в медичних цілях. Портативний нейтронний генератор призначений, в першу чергу, для використання в радіаційній медицині при брахітерапії, планується застосування установки для лікування онкологічних захворювань. Розробка конструкції нейтронних генераторів передбачає моделювання процесів виникнення, поширення і поглинання нейтронів, розгону, руху і гальмування дейтронів в пучку, охолодження елементів генератора та ін. На підставі запропонованих моделей процесів спроектовані конструкції генераторів.

1.07. POSITRON CONVERTERS: POWER LOAD AND COOLING

E. V. Bulyak

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

V.N. Karazin National University, Kharkiv, Ukraine

E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

Generation of intense positron beams envisaged irradiation of a conversion target by an electron or gamma beams with high power density. To prevent the conversion target from destruction, cooling of the target is mandatory. In the report, process of power impact upon the target is briefly considered, as well as different methods of cooling are listed.

КОНВЕРТОРИ ПОЗИТРОНІВ: ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВИХ НАГРУЗОК ТА ОХОЛОДЖЕННЯ

Є.В. Буляк

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

Генерація інтенсивних позитронних пучків передбачає опромінювання конверсійних мішеней інтенсивними пучками релятивістських електронів або гамма випромінювання. Такі мішені потребують охолодження для запобігання їх руйнації. Коротко розглядаються особливості процесу енерговиділення в мішені, які викликані значною неоднорідністю процесу як в часі, так і в просторі.

Section 3. Novel and advanced acceleration techniques

Нові та нестандартні прискорювальні технології

3.01. PLATEAU FORMATION ON ACCELERATING WAKEFIELD FOR ELECTRON-WITNESS-BUNCH AND ON DECELERATING WAKEFIELD FOR DRIVER-BUNCHES

V.I. Maslov^{1,2}, D.S. Bondar², I.N. Onishchenko¹, R.T. Ovsianikov²

¹NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

²V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

E-mail: vmaslov@kipt.kharkov.ua

Plasma-wakefield acceleration promises compact sources of high-brightness relativistic electron and positron beams. Applications (particle colliders and free-electron lasers) of plasma-wakefield accelerators demand low energy spread beams and high-efficiency operation. Achieving both requires plateau formation on both the accelerating field for witness-bunch and the decelerating fields for driver-bunches by controlled beam loading of the plasma wave with careful tailored current profiles. We demonstrate by numerical simulation by 2.5D PIC code LCODE such optimal beam loading in a linear and blowout electron-driven and ion-driven plasma accelerator with RF generated low and high beam charge and high beam quality.

The study is supported by the National Research Foundation of Ukraine under the program “Leading and Young Scientists Research Support” (project agreement # 2020.02/0299).

ФОРМУВАННЯ ПЛАТО НА ПРИСКОРЮЮЧОМУ КІЛЬВАТЕРНОМУ ПОЛІ ДЛЯ ЗГУСТКА ЕЛЕКТРОНІВ, ЩО ПРИСКОРЮЄТЬСЯ, І НА ГАЛЬМУЮЧОМУ КІЛЬВАТЕРНОМУ ПОЛІ ДЛЯ ЗГУСТКІВ, ЩО ЗБУДЖУЮТЬ ПОЛЕ

V.I. Maslov^{1,2}, D.S. Bondar², I.M. Onishchenko¹, R.T. Ovsianikov²

¹ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна;

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

E-mail: vmaslov@kipt.kharkov.ua

Прискорення кільватерним полем в плазмі може забезпечити компактні джерела релятивістських електронних і позитронних пучків високої яскравості. Використання (колайдери частинок і лазери на вільних електронах) плазмових кільватерних прискорювачів вимагають високої ефективності і пучків з низьким розкидом по енергії. Досягнення того і іншого вимагає формування плато як на прискорюючому полі для згустку, що прискорюється, так і на гальмуючому полі для згустку, що збуджує поле, шляхом контрольованого навантаження пучком плазмової хвилі з ретельно підібраним профілем струму. Ми демонструємо чисельним моделюванням 2.5D PIC-кодом LCODE таке оптимальне навантаження пучком в лінійному і нелінійному режимах в плазмовому прис-

корювачі зі збудженням електронами або іонами, які інжектуються з ВЧ прискорювача, при невеликому і великому зарядах пучків і високій їх якості.

Дослідження підтримані Національним дослідницьким фондом України в рамках програми «Підтримка наукових досліджень провідних та молодих вчених» (проект № 2020.02/0299).

3.02. EMERGING TRENDS IN WALL-FREE HALL THRUSTERS DEVELOPMENT

I.V. Litovko¹, V.Yu. Bazhenov², A.A. Goncharov², A.M. Dobrovolsky², I.V. Najko²

¹Institute for nuclear research, Kyiv, Ukraine;

²Institute of physics, Kyiv, Ukraine

E-mail: ilitovko@ukr.net

Nowadays hundreds of all kinds of spacecraft (maneuverable and marching), plow the vastness of the vast space. The moving force of such spacecraft has become the electric propulsions different kinds. Traditionally, Hall thrusters attract a special attention of the electric propulsion community. Very high efficiency, simplicity, and potential durability make the Hall thruster one of the primary candidates for miniaturization and application in small communications satellites and using for primary propulsion in deep-space scientific missions. Hall thrusters inherit coaxial geometry for which the material of the annular chamber walls significantly affects the plasma discharge properties and erosion of the dielectric walls. To avoid erosion developers try to create modified wall-less accelerator constructions. But these attempts while are not completed, quite complicated and sound many skepticism. One of the promising ways to avoid erosion issues is the separation of the magnetic and electrical circuits of the accelerator, which is easier to do in the cylindrical geometry. This principle was carried out and tested in the original Hall type wall-less accelerator. The novelty of the proposed idea is the use of a virtual parallel surface of the anode to the cathode due to the principle of equipotentialization of magnetic field lines, which allows to avoid sputtering of the cathode surface. It was shown the potential drop forms at the axis that can use for ion beam formation and accelerating. The carried out experimental measurement energy distribution function of out coming ions exhibit that the EDF is quite monoenergetic with maximal energy about 2/3 anode electric potential. This opens up possibility to apply these results for creation new generation Hall thrusters. This work was supported in part by project # Pl-2021.

НОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В РОЗВИТКУ БЕЗСТІННИХ ЕЛЕКТРОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ ХОЛЛІВСЬКОГО ТИПУ

*I.V. Літовко¹, В.Ю. Баженов², О.А. Гончаров²,
А.М. Добровольський², І.В. Найко²*

¹Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна;

²Інститут фізики, Київ, Україна

E-mail: ilitovko@ukr.net

В наш час сотні всіяких космічних кораблів (маневрених та маршових) знаходяться в космосі. Їх рушійною силою стали електричні двигуни різного

роду. Висока ефективність, простота та довговічність двигунів Холла роблять його одним із основних кандидатів на мініатюризацію, застосування в малих супутниках зв'язку та в якості основного двигуна в космічних місіях. Двигуни Холла успадкували коаксіальну геометрію, для якої матеріал циліндричних стінок камери суттєво впливає на властивості розряду плазми та ерозію діелектричних стінок. Щоб уникнути ерозії розробники намагаються створювати модифіковані конструкції без стінок. Але ці спроби поки не завершені, досить складні і викликають багато скептицизму. Перспективним є уникнення проблем ерозії завдяки розділенню магнітних та електричних кіл прискорювача в циліндричній геометрії. Цей принцип був проведений та випробуваний в оригінальному безстінному прискорювачі типу Холла. Новизна ідеї полягає у використанні віртуальної поверхні паралельної аноду та катоду завдяки принципу еквіпотенціалізації ліній магнітного поля, що дозволяє уникнути розпилення поверхні катоду. Було показано формування падіння потенціалу на вісі, що можна використовувати для формування і прискорення пучка іонів. Проведені експериментальні вимірювання функції розподілу енергії вихідних іонів показують, що ФРЕ є досить моноенергетичною з максимальною енергією близько 2/3 анодного електричного потенціалу. Це відкриває можливість застосувати ці результати для створення нового покоління двигунів Холла. Ця робота була частково підтримана проектом № P1-2021.

3.03. ELECTRON BEAMS WITH HIGH AVERAGE BRIGHTNESS AND NORMALIZED NANOMETER-SCALE EMITTANCE FROM A NORMALLY CONDUCTING RADIO-FREQUENCY PHOTO-INJECTOR

*A. Opanasenko, Z. Tibai, K. Pepitone, G. Shamuilov, V. Goryashko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: opanasenko@kipt.kharkov.ua*

The concept of Compact X-ray Free Electrons Lasers requires electron beams with high average brightness and normalized nanometer-scale emittance. We present the results of numerical simulation of a Normal Conducting RF photo-injector with the operating frequency of 325 MHz, which allows for the production of electron beams with very high average 5D brightness while having moderate RF power consumption. The nanometer-scale normalized emittance of the beams is ensured by the “blow-up” mode of generation and by the application of the emittance growth compensation method.

ЕЛЕКТРОННІ ПУЧКИ З ВИСОКОЮ СЕРЕДНЬОЮ ЯСКРАВІСТЮ ТА НОРМОВАНИМ ЕМІТАНСОМ НАНОМЕТРОВОГО МАСШТАБУ, ЩО ФОРМУЮТЬСЯ НОРМАЛЬНО ПРОВІДНИМ ВИСОКОЧАСТОТНИМ ФОТОІНЖЕКТОРОМ

*A. Опанасенко, З. Тібай, К. Пенітоне, Г. Шамуйлов, В. Горяшко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: opanasenko@kipt.kharkov.ua*

Концепція компактних рентгенівських лазерів на вільних електронах потребує електронних пучків з високою середньою яскравістю та нормованим еміта-

нсом нанометрового масштабу. Ми представляємо результати чисельного моделювання нормально-провідного ВЧ-фотоінжектора з робочою частотою 325 МГц, що дозволяє формувати електронні пучки в безперервному режимі з високою середньою 5D яскравістю, маючи помірне споживання ВЧ-потужності. Емітанс нанометрового масштабу забезпечується формуванням електронного згустку у форму рівномірно зарядженого еліпсоїда, що швидко розширюється, та застосуванням методу компенсації росту емітансу.

3.04. ON THE POSSIBILITY OF RESONANT ACCELERATION OF CHARGED PARTICLES BY THE FIELD OF A TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC WAVE IN VACUUM

*V.O. Buts, A.G. Zagorodny
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vbuts@kipt.kharkov.ua*

The results of an analytical and numerical study of the dynamics of charged particles (electrons) in the field of a transverse electromagnetic wave in the presence of an external magnetic field and in the absence of a magnetic field are presented. The dynamics of particles in a vacuum were considered. It was found that a significant role in the dynamics of particles is played by the function, which is equal to the product of the particle energy by the derivative phase of the wave. If this function is integral, then it is possible to obtain rigorous analytical solutions. In the absence of an external magnetic field, there are no resonances in these solutions. It was found in the work that when this function is not an integral, then new solutions appear for the energy and for the momenta of particles. The nature of these solutions is resonant, i.e. the energy and pulse components grow with time in proportion to the first power of time. The mechanism of the emergence of new resonance solutions is discussed. It turns out that the phase dynamics of particles at the initial stage is described by an equation that is similar to the Adler equation, which is known in the theory of synchronization. Numerical analysis of particle dynamics is qualitative well consistent with analytical results.

ПРО МОЖЛИВІСТЬ РЕЗОНАНСНОГО ПРИСКОРЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ПОЛЯМИ ПОПЕРЕЧНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ У ВАКУУМІ

*В.О. Буц, А.Г. Загородній
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: vbuts@kipt.kharkov.ua*

Викладено результати аналітичного та чисельного вивчення динаміки заряджених частинок (електронів) в полі поперечної електромагнітної хвилі при наявності зовнішнього магнітного поля і в відсутності магнітного поля. Розглядалася динаміка частинок у вакуумі. Виявлено, що істотну роль в динаміці частинок грає функція, яка дорівнює добутку енергії частинок на похідну фази хвилі. Якщо ця функція є інтегралом, то вдається отримати строгі аналітичні розв'язки. У відсутності зовнішнього магнітного поля в цих розв'язках немає ре-

зонансів. Було виявлено, що коли ця функція не є інтегралом, то з'являються нові розв'язки для енергії і для імпульсів частинок. Характер цих рішень є резонансним, тобто енергія і компоненти імпульсу з часом зростають пропорційно першого ступеня часу. Обговорюється механізм виникнення нових резонансних розв'язків. Виявляється, що фазова динаміка частинок на початковому етапі описується рівнянням, яке схоже на рівняння Адлера, яке є відомим в теорії синхронізації. Числовий аналіз динаміки частинок якісно добре узгоджується з аналітичними результатами.

3.05. ABOUT THE ACCELERATION RATE OF RELATIVISTIC BEAMS BY A SURFACE WAVE IN A DIELECTRIC LASER ACCELERATOR (DLA)

O.O. Bolshov, A.V. Vasiliev, A.I. Povrozin, G.V. Sotnikov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: sotnikov@kipt.kharkov.ua

An analysis of the dependence of the acceleration rate of charged particles by a surface wave arising when a laser pulse/(plane wave) is incident on the interface between two dielectric media on the phase velocity of the excited wave is carried out. It is shown that at resonance acceleration this dependence has a maximum and for ultra-relativistic particles the acceleration rate tends to zero. The dependences of the acceleration rate on the phase velocity of the excited wave for various refractive indices (dielectric permittivities) of optically transparent medias are investigated analytically and numerically.

ПРО ТЕМП ПРИСКОРЕННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ПУЧКІВ ПОВЕРХНЕВОЮ ХВИЛЕЮ В ДІЛЕКТРИЧНОМУ ЛАЗЕРНОМУ ПРИСКОРЮВАЧІ

О.О. Большов, А.В. Васильев, А.И. Поврозин, Г.В. Сотников
ННЦ ХФТИ, Харьков, Украина
E-mail: sotnikov@kipt.kharkov.ua

Проведено аналіз залежності темпу прискорення заряджених частинок поверхневої хвилею, що виникає при падінні лазерного імпульсу /(плоскої хвилі) на межу розділу двох середовищ, від фазової швидкості хвилі, що збуджується. Показано, що при резонансному прискоренні ця залежність має максимум і для ультрарелятивістських частинок темп прискорення прагне до нуля. Аналітично та чисельно досліджено залежності темпу прискорення від фазової швидкості хвилі, що збуджується, для різних показників заломлення (діелектричної прозорості) оптично прозорих матеріалів.

3.06. ACCELERATION OF ELECTRONS USING INVERSE ANOMALOUS SCATTERING

V.V. Ognivenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ognivenko@kipt.kharkov.ua

Acceleration of electrons in the field of two electromagnetic waves propagating in a slowing down system in the direction of electron motion is considered. The dy-

namics of the motion of electrons in the field of waves, one of which propagates with a phase velocity greater than the velocity of electrons, and the other with a phase velocity less than the velocity of electrons, has been investigated. Taking into account the deceleration by radiation, the dependence of the electron energy on the coordinate along the direction of acceleration is determined. The expression for the maximum electron energy and effective acceleration length is obtained.

ПРИСКОРЕННЯ ЕЛЕКТРОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЕРНЕНОГО
АНОМАЛЬНОГО РОЗСІЯННЯ

В.В. Огнівенко

ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: ognivenko@kipt.kharkov.ua

Розглянуто прискорення електронів у полі двох електромагнітних хвиль, що поширюються в уповільнюючій структурі в напрямку руху електронів. Досліджена динаміка руху електронів у полі хвиль, одна з яких поширюється з фазовою швидкістю більшою швидкості електронів, а інша з фазовою швидкістю меншою швидкості електронів. Враховуючи гальмування випромінюванням, визначена залежність енергії електронів від координати уздовж напрямку прискорення. Отримано вираз для максимальної енергії електронів і ефективної довжини прискорення.

Section 6. Synchrotron radiation: sources and applications

Синхротронне випромінювання: джерела та застосування

6.01. MULTIPHOTON INTERACTION OF RELATIVISTIC ELECTRONS WITH PERIODIC FIELDS

E.V. Bulyak, N.F. Shul'ga

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

V.N. Karazin National University, Kharkiv, Ukraine

E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

A model of interaction of relativistic electrons with periodic fields is presented. The model is aimed at evaluation of the electrons spectrum evolution caused by the recoils due to emission of the multi-harmonic radiation. The field is considered as quantum, while the relativistic electrons are treated as semi classical objects. The electron is assumed to interact with random number of the photons within its coherent length, and emits single photon. The number of initial photons corresponds to the harmonic number in the classical theory of radiation. As is shown, the model assumption of the Poisson distribution of the number of coherent photons with the Poisson parameter equal to squared product of the average inclination angle of the electron trajectory by the Lorentz factor fairly agrees with the classical model. Based on the developed model, major parameters of the electron beam kinetics, i.e. the variance and the stability parameter are estimated. The model is well suited for the numerical simulation of sources of the hard x-ray and gamma radiation.

БАГАТОФОТОННА ВЗАЄМОДІЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ З ПЕРІОДИЧНИМИ ПОЛЯМИ

Є.В. Буляк, М.Ф. Шульга
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна
E-mail: bulyak@kipt.kharkov.ua

Представлено модель взаємодії релятивістських електронів з періодичними полями. Ця модель спрямована на обчислення еволюції електронного спектра, викликаної віддачею при емісії випромінювання, що складається з багатьох гармонік. Зовнішнє поле вважається квантовим, а електрони – напівкласичними об'єктами. Кожен електрон в цій моделі взаємодіє з декількома фотонами зовнішнього поля, випромінюючи один вторинний фотон. Число первинних фотонів дорівнює гармоніці в класичній моделі випромінювання. Показано, що первинні фотони розподілені за Пуасонівським законом, причому параметр цього розподілу дорівнює квадрату добутку середнього кута відхилення електрона в зовнішньому полі та його релятивістського фактора. Базуючись на розробленій моделі, ми отримали оцінки головних параметрів кінетики електронного пучка: варіації та параметра стабільності. Модель добре підходить для числового моделювання джерел жорсткого рентгенівського та гама-випромінювання.

6.02. RADIATION FRICTION OF RELATIVISTIC CHARGED PARTICLES MOVING IN A PERIODIC FIELD

V.V. Ognivenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ognivenko@kipt.kharkov.ua

The motion of a beam of relativistic charged particles in an external periodic field is considered, taking into account the influence of incoherent fields produced by particles on this motion. Based on the dynamics of individual particles motion under the action of the pair interaction forces each of them, the coefficient of friction is obtained. The change in the average value of the momentum of the particles is considered. The expression for the friction force, which describes the average change in the momentum of charged particles per unit time, both in the case of motion of an initially monoenergetic particle beam, and in a beam with a thermal spread of particle velocities is obtained. The relation between the rms momentum spread and the deceleration force of the particles has been derived.

РАДІАЦІЙНЕ ТЕРТЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК, ЩО РУХАЮТЬСЯ В ПЕРІОДИЧНОМУ ПОЛІ

В.В. Огнівенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ognivenko@kipt.kharkov.ua

Розглянуто рух пучка релятивістських заряджених часток у зовнішньому періодичному полі, з урахуванням впливу на цей рух некогерентних полів, створюваних частками. На основі динаміки руху окремих частинок під дією сил

парної взаємодії кожної з них отриманий коефіцієнт тертя. Розглянуто зміну середнього значення імпульсу частинок. Отримано вираз для сили тертя, що описує середню зміну імпульсу заряджених частинок за одиницю часу, як у випадку руху початково моноенергетичного пучку частинок, так і в пучку з тепловим розкидом швидкостей частинок. Установлений взаємозв'язок між середньоквадратичним розкидом по імпульсах і силою гальмування частинок.

Section 4. Accelerator components

Елементи прискорювачів

4.01. INHOMOGENEOUS TRAVELLING-WAVE ACCELERATING SECTIONS AND WKB APPROACH

M.I. Ayzatsky

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: aizatsky@kipt.kharkov.ua

The report presents the results of a study of the possibility of using the approximate methods to describe Inhomogeneous Travelling-Wave Accelerating Sections. This possibility not only simplifies the calculation, but also allows the use of simpler physical models of transient processes. Using the traveling wave concept simplifies the understanding of pulsed-excited ITWAS transients and the development of methods to mitigate their effect on beam parameters.

НЕОДНОРІДНІ ПРИСКОРЮЮЧІ СЕКЦІЇ НА ХВИЛІ, ЩО БІЖИТЬ, І ВКБ-НАБЛИЖЕННЯ

М.І. Айзацький

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: aizatsky@kipt.kharkov.ua

Представлено результати дослідження можливості використання наближених методів для опису неоднорідних прискорюючих секцій на хвилі, що біжить. Ця можливість не тільки спрощує розрахунок, а й дозволяє використовувати більш прості фізичні моделі перехідних процесів. Використання концепції біжучої хвилі спрощує розуміння перехідних процесів в секціях з імпульсним збудженням і розробку методів зменшення їх впливу на параметри пучка.

4.02. RF MODULATED THERMIONIC ELECTRON GUN

V.F. Zhiglo, V.V. Mytrochenko, V.A. Kushnir

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: kushnir@kipt.kharkov.ua

The electron gun design for S-band electron linac is proposed. The electron beam at the exit of the gun is a sequence of bunches that follow with the linac operating frequency. Beam modulation is performed using the microwave cavity, which is located between cathode and anode of the DC gun. The use of such electron source makes it possible to abandon the use of additional microwave bunchers and a modulated source of anode voltage. The current pulse duration is determined by modulating microwave pulse. The simulation study results of beam dynamics in the gun and wave propagation in the line for RF supply of modulating cavity are presents in the report. It is shown that at constant anode voltage 80 kV at the gun exit the beam energy is 95 keV and pulse current is 0.44 A. The phase length of bunches does not exceed 80° at a normalized beam emittance of less than 5 mm mrad.

ТЕРМОЕМІСІЙНА ЕЛЕКТРОННА ГАРМАТА З ВИСОКОЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПУЧКА

В.Ф. Жигло, В.В. Митроченко, В.А. Кушнір

ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: kushnir@kipt.kharkov.ua

Запропоновано конструкцію електронної гармати для електронного прискорювача S-діапазону. Електронний пучок на виході з гармати являє собою послідовність згустків, які слідують з робочою частотою прискорювача. Модуляція пучка виконується за допомогою мікрохвильового резонатора, який знаходиться між катодом і анодом електронної гармати постійного струму. Використання такого джерела електронів дозволяє відмовитись від використання додаткових мікрохвильових угруповувачів та модульованого джерела анодної напруги. Тривалість імпульсу струму визначається тривалістю модулюючого НВЧ-імпульсу. Представлено результати чисельного моделювання динаміки пучка в гармати та розповсюдження коливань у лінії НВЧ-живлення модулюючого резонатора. Показано, що при постійній анодній напрузі 80 кВ на виході з гармати енергія пучка становить 95 кэВ, а імпульсний струм 0,44 А. Фазова довжина згустків не перевищує 80° при нормалізованому емітансі пучка менше 5 мм мрад.

4.03. THERMALIZATION OF METAL ATOMS OF OPERATING ENVIRONMENT AT A METAL ION-SPUTTERING SOURCE

V.A. Baturin, P.A. Litvinov, S.A. Pustovoitov, O.Yu. Roenko

Institute of Applied Physics, Sumy, Ukraine

E-mail: baturin49@gmail.com

It is proposed to thermize fast metal atoms in the ion source on the hot surface of the source anode and subsequent desorption in the source discharge cell. In the suggested construction of the source, atom thermalization process is realized on an interior surface of an anode of the Penning discharge cell in an oscillation area of ionizing electrons. It has been experimentally shown that the proposed method of thermalization of Fe atoms increases the fraction of Fe⁺ ions in the extracted ion beam by three times.

ТЕРМАЛІЗАЦІЯ АТОМІВ МЕТАЛІВ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА В РОЗПИЛЮВАЛЬНОМУ ДЖЕРЕЛІ МЕТАЛЕВИХ ІОНІВ

В.А. Батурін, П.О. Литвинов, С.О. Пустовойтов, О.Ю. Роєнко

Інститут прикладної фізики, Суми, Україна

E-mail: baturin49@gmail.com

Запропоновано термізувати швидкі атоми металу в джерелі іонів на гарячій поверхні анода джерела та подальшу десорбцію в комірці розряду джерела. У описаній конструкції джерела процес термалізації атома реалізується на внутрішній поверхні анода розрядної комірки Пеннінга в зоні коливань іонізуючих електронів. Експериментально показано, що запропонований спосіб термізації атомів Fe збільшує частку іонів Fe⁺ в екстрагованому пучку іонів утричі.

4.04. EMITTANCE MEASUREMENTS OF AN ACCELERATED BEAM (REVIEW)

O.F. Dyachenko

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: dyachenkoa@kipt.kharkov.ua

For successful carrying out of experimental nuclear physical researches connected with use of charged particles accelerated beams, as much as possible exact knowledge of their parameters is necessary. Effectively working systems of beams diagnostics on accelerating facilities are for this purpose required. Research of processes taking place during acceleration, conditions define of beams coordination with transport lines elements, a choice of focusing elements optimum configuration are impossible without knowledge of emittance parameters. Experimental techniques of emittance measurement have some distinctions, but are reduced to that a small part of an accelerated beam «is cut out» on known distance by means of a mask which can have different configurations, and then is scanned on the distance defined by particles energy. The measurement result is the curve of a current distribution of the split beam in a direction of one from transverse co-ordinates. This information has enough to calculate of particles angular distribution. The simplest realization of this technique is use of the slit distributor and a wire probe (ESA “Sokol”) or photoplate (SLAD). There are some ways of emittance measurements: the slit method (Allison scanner), the pepperpot method, and also the gradient method. The most high-speed and enough exact way of emittance measurement is the pepperpot method (UNILAC). The original diagnostic device is developed at Peking University for a single impulse of the beam H⁺ which is a combination of Faraday cup and a gauge of the pepperpot type. It is offered to use an angular distribution of a far-field optical diffraction radiation, produced by an electron beam, passing through rectangular apertures in screens.

ВИМІРЮВАННЯ ЕМІТАНСУ ПРИСКОРЕНОГО ПУЧКА (ОГЛЯД)

О.Ф. Дьяченко

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: dyachenkoa@kipt.kharkov.ua

Для успішного проведення експериментальних ядерно-фізичних досліджень, пов'язаних із використанням прискорених пучків заряджених частинок, необхідно максимально точно знання їх параметрів. Для цього потрібні ефективно працюючі системи діагностики пучків на прискорювальних установках. Дослідження процесів, що відбуваються під час прискорення, визначення умов узгодження пучків з елементами транспортних ліній, обрання оптимальної конфігурації фокусуєчих елементів неможливі без знання параметрів емітансу. Експериментальні методики вимірювання емітансу мають деякі відмінності, але зводяться до того, що невелика частина прискореного пучка «вирізується» на відомій відстані за допомогою маски, яка може мати різні конфігурації, а потім сканується на відстані, обумовленій енергією частинок. Результатом вимірювання є крива розподілу струму розщепленого пучка в напрямку однієї з поперечних координат. Цієї інформації досить, щоб розрахувати кутовий розподіл

частинок. Найбільш простою реалізацією методики є використання щілинного розподільника й дровового зонда (ЕСП «Сокіл») або фотопластини (МЛПД). Існують кілька способів виміру емітансу: щілинний (сканер Аллісона), реперрот, а також градієнтний (квадрупольне сканування). Найбільш швидкісним і досить точним способом вимірювання емітансу є реперрот («перечниця») метод (UNILAC). Оригінальний діагностичний пристрій розроблено в Пекінському університеті для одиночного імпульсу пучка H^+ , який є комбінацією циліндра Фарадея й засобу вимірювання типу «перечниця». Запропоновано використовувати кутовий розподіл поля в дальній зоні оптичного дифракційного випромінювання, утвореного електронним банчем, що проходить через прямокутні апертури в екранах.

4.05. RARE-EARTH PERMANENT MAGNETS AND THEIR POTENTIAL IN MAGNETIC SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL ELECTRON ACCELERATORS

*V.A. Bovda, A.M. Bovda, I.S. Guk, V.N. Lyashchenko,
A.O. Mytsykov, L.V. Onishchenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: guk@kipt.kharkov.ua*

Modern advanced powder metallurgy technologies are the most useful approach to the production of (Nd, Dy)-Fe-B and Sm-Co magnets. High extrinsic magnetic properties of these rare-earth permanent magnets as coercitivity and remanence are highly dependent on the composition and microstructure. Sm-Co or Dy doped Nd-Fe-B magnets have a high remanence, high energy density and withstand demagnetization at elevated temperature. The latter can find wide application in the development of magnetic elements for beam transport systems at technological electron accelerators. These devices will be of minimal size and cost and do not require power supplies. The aim of this study was analyze the radiation resistance of Nd-Fe-B and Sm-Co magnets and reveal the appropriate conditions for stable magnetic field parameters under high irradiation levels, which are typical for output channels of technological accelerators. Two dipole magnets were developed and manufactured for use at electron energies of 10 and 23 MeV. The problems arising in the development of permanent magnet quadrupole lenses for transport channels are discussed.

ЗАСТОСУВАННЯ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАГНІТНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОНІВ

*В.А. Бовда, А.М. Бовда, І.С. Гук, В.Н. Лященко,
А.О. Мищиков, Л.В. Онищенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: guk@kipt.kharkov.ua*

Сучасні технології порошкової металургії дозволяють створювати постійні магніти на основі сплавів (Nd,Dy)-Fe-B і Sm-Co, що мають високі і стабільні магнітні характеристики (коерцитивна сила, залишкова намагніченість). Вони зберігають свої властивості в широкому діапазоні температур і мають низький

температурний коефіцієнт залишкової намагніченості. Ці унікальні характеристики можуть знайти широке застосування при створенні магнітних елементів систем транспортування пучків на технологічних прискорювачах електронів. Ці пристрої будуть мати мінімальні розміри і вартість, не вимагають джерел живлення. Нами були проведені дослідження радіаційної стійкості зразків магнітів з цих матеріалів, що дозволили встановити умови збереження параметрів магнітного поля при великих рівнях опромінення, характерних для вихідних каналів технологічних прискорювачів. На основі проведених досліджень розроблені і виготовлені два дипольних магніти, призначені для використання при енергіях електронів 10 і 23 МеВ. Обговорюються проблеми, що виникають при створенні для каналів транспортування квадрупольних лінз на основі постійних магнітів.

4.06. PROCEDURE OF COUPLER MATCHING FOR TRAVELLING WAVE STRUCTURE OF LINAC

*M.I. Ayzatsky, V.V. Mytrochenko, K.Yu. Kramarenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: kramer@kipt.kharkov.ua*

Procedure of matching of coupler for travelling wave structure based on disk loaded waveguide is presented. Model for computer simulation or cold-test measurement includes input and output coupler, stack of regular accelerating cells, segments of rectangular waveguide and beam pipe. The procedure is based on determination of on-axis complex field values at the centers of regular cells followed by calculation of phase shifts and amplitude ratios. Only the coupler dimensions are varied at any step of the procedure. The step-by-step procedure allows one to avoid trial and error and to reduce the time of coupler matching.

ПРОЦЕДУРА УЗГОДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТИПУ ХВИЛІ ДЛЯ СТРУКТУРИ НА ХВИЛІ, ЩО БІЖИТЬ, ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ

*M.I. Айзацький, В.В. Митроченко, К.Ю. Крамаренко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: kramer@kipt.kharkov.ua*

Представлено процедуру узгодження трансформатора типу хвилі (ТТВ) для структури на хвилі, що біжить, на основі діафрагмованого хвилеводу. Модель для комп'ютерного або експериментального дослідження включає в себе вхідний і вихідний ТТВ, збірку з декількох регулярних резонаторів, сегменти прямокутного хвилеводу і труби для прольоту пучка. Процедура базується на визначенні комплексного поля на осі структури в центрах регулярних резонаторів з подальшим розрахунком зміщень фази та відношень амплітуди. На будь-якому етапі процедури змінюються лише розміри ТТВ. Поетапна процедура дозволяє уникнути зайвих спроб і помилок та скоротити час узгодження ТТВ.

4.07. DEVELOPMENT OF A NEW DEVICE FOR TRIGGERING A LINEAR ELECTRON ACCELERATOR “ALMAZ-2”

D.Yu. Zaleskyi, V.I. Pristupa, V.S. Us, O.L. Omelanchenko, G.V. Sotnikov

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: zalesky@kipt.kharkov.ua

A new device for triggering of the linear accelerator of electrons has been developed and tested. The circuit device consists of a driving generator forming rectangular pulses with a duration of 1...2 μs with a front of about 50 ns and a repetition rate of 1 to 5 pps, and three channels generating pulses with a delay relative to the pulses of driving generator, which can be adjusted from 0.1 up to 10 μs . The study is supported by NAS of Ukraine program “Perspective investigations on plasma physics, controlled thermonuclear fusion and plasma technologies”, project P-1/63-2020.

РОЗРОБКА НОВОГО ПРИСТРОЮ ЗАПУСКУ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ «АЛМАЗ-2»

Д.Ю. Залеський, В.І. Приступа, В.С. Ус, О.Л. Омеланенко, Г.В. Сотніков

ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: zalesky@kipt.kharkov.ua

Розроблено та випробувано новий пристрій запуску лінійного прискорювача електронів. Схема пристрою складається з задавального генератору, що формує прямокутні імпульси тривалістю від 1 до 2 мкс з фронтом близько 50 нс і з частотою проходження від 1 до 5 імпульсів в секунду, та трьох каналів які виробляють імпульси з затримкою до імпульсів задаючого генератору, яка може регулюватися від 0.1 до 10 мкс. Дослідження підтримано програмою НАН України «Перспективні дослідження з фізики плазми, керованого термоядерного синтезу та плазмових технологій», проект П-1/63-2020.

Section 5. Beam dynamics

Динаміка пучків

5.01. ACCELERATION OF A COMPENSATED HIGH-CURRENT ION BEAM IN A SECTION OF A LINEAR INDUCTION ACCELERATOR WITH ELECTRON ISOLATION BY A STRONG AND WEAK MAGNETIC FIELD OF CUSP GEOMETRY

I.N. Onishchenko, V.I. Maslov, O.V. Fedorovskaya

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: bogdan@kipt.kharkov.ua

The dynamics of a high-current ion beam (HCIB) and the electron beam, compensating current and charge of HCIB in a cusp magnetic field of various magnitudes in the accelerating field presence in the section of a linear induction accelerator has been investigated, by numerical simulation using 3-D code “KARAT”. The possibility of compensation an accelerated HCIB with an additional electron beam injected along the radius onto the axis uniformly in all azimuth in the second half of the cusp has been considered for the selected magnitudes of the cusp magnetic field. The characteristics of HCIB after acceleration and its re-compensation by the additional electron beam have been investigated to determine the possibility of its using according to the same scenario in the subsequent accelerating section with cusp magnetic isolation.

ПРИСКОРЕННЯ СКОМПЕНСОВАНОГО ПОТУЖНОСТРУМОВОГО ІОННОГО ПУЧКА В СЕКЦІЇ ЛІНІЙНОГО ІНДУКЦІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА З ІЗОЛЯЦІЄЮ ЕЛЕКТРОНІВ СИЛЬНИМ І СЛАБКИМ МАГНІТНИМИ ПОЛЯМИ КАСПОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ

I.M. Onishchenko, V.I. Maslov, O.V. Fedorivska

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: bogdan@kipt.kharkov.ua

Чисельним моделюванням з використанням 3D-кода «KARAT» досліджено динаміку потужнострумового іонного пучка (ПП) та компенсуючого його за струмом і зарядом електронного пучка в касповому магнітному полі різної величини за наявності прискорювального поля в секції лінійного індукційного прискорювача. Розглянуто можливість компенсації прискореного ПП додатковим електронним пучком, інжектованим по радіусу на вісь рівномірно по всьому азимуту у другу половину каспа для вибраних величин магнітного поля каспа. Досліджено характеристики ПП після прискорення та його повторної компенсації додатковим електронним пучком для визначення можливості його використання за тим самим сценарієм у наступному прискорювальному зазорі з магнітною ізоляцією каспа.

5.02. COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATING-PHASE AND COMBINED RF FOCUSING ON THE EXAMPLE OF THE He ION LINAC

S.S. Tishkin

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua

Considered are the peculiarities of focusing by RF field on the example of helium ion linac with the output energy of 4 MeV of two types: first is the active accelerator based on the modified alternating-phase focusing (MAPF) and second is a proposed accelerator with the combined RF focusing (CRFF) technique used. In the MAPF-based accelerator, the longitudinal and transverse focusing is provided by the same accelerating field. In this case, to increase the longitudinal focusing rigidity one has to decrease the level of radial focusing. This results in reduction in the accelerated current limit if compared to accelerators that use the autofocusing principle and external focusing elements. To solve this problem, it is proposed to use the CRFF technique, in which the MAPF-based accelerating&focusing period is supplemented by gaps with quadrupole symmetry to increase the longitudinal focusing rigidity. By means of computer simulation, it is shown that the calculated parameters of the CRFF-based structure offer advantages over the similar parameters of the MAPF-based accelerator. For instance, at low injection current (less than 5 mA) about 60% of charged particles are captured into acceleration process in the CRFF-based structure, while for the MAPF-based one the number is about 40%; the maximum current of accelerated helium ions is 45 and 10 mA, respectively. Owing to the investigations conducted, the conclusion about the prospects of the usage of the CRFF in the future modernization of the helium ion accelerator is presented.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗМІННО-ФАЗОВОГО ТА КОМБІНОВАНОГО ВЧ-
ФОКУСУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ІОНІВ He

С.С. Тішкін

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua

Розглянуті особливості фокусування ВЧ-полем на прикладі двох варіантів лінійного прискорювача іонів гелію з вихідною енергією 4 МеВ: діючий прискорювач з модифікованим змінно-фазовим фокусуванням (МЗФФ) та запропонований прискорювач з комбінованим ВЧ-фокусуванням (КВЧФ). В прискорювачах з МЗФФ повздовжнє та радіальне фокусування здійснюється одним й тим самим прискорюючим полем. При цьому збільшити жорсткість повздовжнього фокусування можливо лише за рахунок послаблення радіального фокусування. Це приводить до обмеження прискорюваного струму у порівнянні з прискорювачами, які використовують принцип автофокусування та зовнішні фокусуєчі елементи. Для вирішення цієї проблеми запропоновано використовувати КВЧФ, при якому прискорююче-фокусуєчий період МЗФФ для збільшення повздовжньої жорсткості фокусування доповнено зазорами з квадрупольною симетрією. За допомогою математичного (комп'ютерного) моделювання показано, що розрахункові параметри прискорювача з КВЧФ мають пе-

реваги перед прискорювачем з ЗФФ. Так захоплення частинок в режим прискорення при малому струмі інжекції (<5 мА) становить 60% при КВЧФ та 40% при МЗФФ; максимальний струм прискорених іонів гелію 45 та 10 мА, відповідно. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про перспективність використання КВЧФ при подальшій модернізації прискорювача іонів гелію.

5.03. MAGNETIC SYSTEM FOR CLEANING THE GAMMA BEAM AT THE LUE-40 LINAC OUTPUT

*V.V. Mytrochenko, L.I. Selivanov, V.Ph. Zhyglo, A.N. Vodin,
O.S. Deiev, S.M. Olejnik, I.S. Timchenko, V.A. Kushnir
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: mitvic@kipt.kharkov.ua*

Study of multiparticle photonuclear reactions, due to the small size of their cross sections, is associated with obtaining high-intensity fluxes of gamma quanta. For this purpose, in particular, the bremsstrahlung radiation of accelerated electrons passing through a converter is used. In order to remove electrons passed through the converter, absorbers made of light materials are used. However, this reduces the number of gamma quanta and distorts the shape of the bremsstrahlung spectrum significantly affecting accuracy of the experimental results. A special magnetic cleaning system can be installed instead of absorbers. The report presents the results of calculations, numerical modeling, design, and testing of such a system. The system based on commercially available permanent magnets of rectangular cross sections. It is designed to obtain “pure” beam of bremsstrahlung quanta when studying the cross sections of multiparticle photonuclear reactions at the LUE-40 linac.

МАГНІТНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАММА-ПУЧКА НА ВИХОДІ ПРИСКОРЮВАЧА ЛУЕ-40

*V.V. Митроченко, Л.І. Селіванов, В.Ф. Жигло, О.М. Водін,
О.С. Деев, С.М. Олійник, І.С. Тімченко, В.А. Кушнір
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: mitvic@kipt.kharkov.ua*

Дослідження багаточасткових фотоядерних реакцій через малість їх перетинів пов'язано з застосуванням високоінтенсивних потоків гамма-квантів. Для цього, зокрема, використовується гальмівне випромінювання прискорених електронів, що пройшли через конвертор. З метою очищення потоку гамма-квантів від електронів, які не поглинулися в конвертері, застосовуються поглиначі з легких матеріалів. Однак, це призводить до зменшення кількості гамма-квантів і до спотворення форми гальмівного спектру, що суттєво впливає на похибку експериментальних результатів. Замість поглиначів може бути встановлена спеціальна очисна магнітна система. У доповіді наведено результати розрахунків, чисельного моделювання, конструювання і випробування такої магнітної системи. Ця система виготовлена на базі комерційно-доступних постійних магнітів з прямокутним поперечним перерізом. Вона призначена для

отримання «чистого» пучка гальмівних квантів для проведення досліджень перетинів багаточасткових фотоядерних реакцій на виході прискорювача ЛУЕ-40.

5.04. PARAMETERS OF THE ELECTRON BEAM AT THE DIRECT OUTPUT OF LPE-30 FOR THE RESEARCH OF THE ELECTRON INTERACTION WITH SINGLE CRYSTALS AND AMORPHOUS TARGETS

*V.B. Ganenko, S.P. Gokov, Yu.H. Kazarinov, S.H. Karpus,
V.Y. Kasilov, H.D. Kovalenko, S.S. Kochetov,
O.O. Shopen, Ye.V. Tsyatsko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua*

The installation was performed and a research facility at the direct output of LPE-30 was prepared for testing and experimental research of the electron beams interaction with single crystals and amorphous targets. Requirements for the parameters of the electron beam at the input of the research facility are determined by the values of the critical angle of electrons channeling in the crystal for the research of orientation dependences of gamma-ray radiation, multiple electron scattering, secondary electron emission yields, electronuclear reactions yields etc., as well as the size of the experimental target and the magnitude of associated gamma radiation. According to the requirements, the value of the angular divergence of the electron beam should be less than the critical channeling angle, the transverse dimensions of the electron beam should be less than the target size, and the concomitant gamma background is minimized compared to the gamma ray flux. The parameters of the accelerated electron beam for the energy range from 6 to 30 MeV were experimentally investigated using the method of cross section scanning of the beam at the entrance to the research facility at the fixed size of the electron beam at the input of the accelerating section. The obtained measurement results are presented in comparison with the calculations of electron beam scattering for a silicon crystal. It is shown that for the all energy range from 6 to 30 MeV the angular divergence of electrons is less than the critical angle of electron channeling in a single crystal.

ПАРАМЕТРИ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ НА ПРЯМОМУ ВИХОДІ ЛПЕ-30 ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОНІВ З МОНОКРИСТАЛАМИ ТА АМОРФНИМИ МІШЕННЯМИ

*В.Б. Ганенко, С.П. Гоков, Ю.Г. Казарінов, С.Г. Карпусь,
В.Й. Касілов, Г.Д. Коваленко, С.С. Кочетов,
О.О. Шопен, Є.В. Цяцько
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua*

Виконано монтаж і підготовлено до випробування дослідницьку установку на прямому виході ЛПЕ-30 для експериментального дослідження взаємодії пучків електронів з монокристалом та аморфними мішенями. Вимоги до параметрів пучка електронів на вході дослідницької установки визначаються значеннями критичного кута каналювання електронів в кристалі при дослідженні орієнтаційних залежностей випромінювання гамма-квантів, багатократного ро-

зсіювання електронів, вторинної емісії електронів, виходів електроядерних реакцій та ін., а також розмірами дослідної мішені та величиною супутнього гамма-випромінювання. Згідно вимогам значення кутового розходження пучка електронів має бути меншим за значення критичного кута каналіювання, поперечний розмір пучка електронів має бути меншим за розмір мішені, а супутній гамма-фон мінімізований в порівнянні з потоком гамма-квантів, який утворено в результаті гальмівного випромінювання електронів в кристалі. Експериментально досліджено параметри пучка прискорених електронів і діапазоні енергій від 6 до 30 МеВ за допомогою методу сканування поперечного перерізу пучка на вході в дослідницьку установку при заданому розмірі пучка електронів на вході прискорювальної секції. Представлено отримані результати вимірювань і порівняно з розрахунками розсіювання пучка електронів для кристалу кремнію. Показано, що для усього енергетичного діапазону від 6 до 30 МеВ кутове розходження електронів менше критичного кута каналіювання електронів в моно-кристалі.

5.05. TO ANALYSIS OF BEAM TRANSVERSE EMITTANCE MEASUREMENT ERRORS AT THE LINEAR ELECTRON ACCELERATOR EXIT

*V.V. Mytrochenko, S.O. Prerezhogin,
A.N. Opanasenko, V.A. Kushnir
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: mitvic@kipt.kharkov.ua*

In order to analyze the errors of experimental methods for measuring the transverse emittance of the beam obtained at the linear electron accelerator output modeling of two methods of such measurement was performed. The first method used was the three-gradient method, also known as the quadrupole scanning method. The second one was two slits scanning method. The simulation was performed using the PARMELA code. It was found that emittance values measured by the first method significantly deviate from the values obtained by macroparticle processing, based on calculations of second-order moments of the particle distribution function in the transverse phase space. It is established that the measurement of the transverse emittance by the method of quadrupole scanning gives a satisfactory coincidence with the values obtained from the processing of macroparticles for the beam, which has a transverse Kapchinsky-Vladimir distribution. Emittance measurement by two-slit scanning gives a satisfactory result both for the Kapchinsky-Vladimirsky beam and for the simulated particle distribution at the accelerator output, because it is based on the calculated second moments of the particle distribution function. Second-order moments exist for arbitrary distribution functions due to the limited beam sizes in the accelerator. Thus, the two-slit scanning method is a more suitable method of measuring the beam emittance at the linear accelerator output. It should be noted that to reliably measure the beam profiles behind the first slit, it is necessary to have a large dynamic range of the equipment, since the current through the slit in the center of the beam differs from this value at its edge by at least three orders of magnitude.

ДО АНАЛІЗУ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ЕМІТАНСУ ПУЧКА НА ВИХОДІ ЛІНІЙНОГО ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ

*В.В. Митроченко, С.О. Пережогін, А.Н. Опанасенко, В.А. Кушнір
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: mitvic@kipt.kharkov.ua*

З метою аналізу похибок експериментальних методів вимірювання поперечного емітансу пучка, отриманого на виході лінійного прискорювача електронів, проведено моделювання двох методів такого вимірювання. В якості першого методу використовувався метод трьох градієнтів, відомий, також, як метод сканування квадруподем. В якості другого методу застосовувався метод сканування пучка двома щілинами. Моделювання проводилося з застосуванням програми PARMELA. Виявлені значні відхилення отриманих величин емітансу, виміряних першим методом від величин, отриманих за даними обробки макрочастинок, заснованих на обчисленнях других моментів функції розподілу частинок в поперечному фазовому просторі. Встановлено, що вимірювання поперечного емітансу методом сканування квадруподем дає задовільне співпадіння з величинами, отриманими за даними обробки макрочастинок для пучка, який має поперечний розподіл Капчинського-Володимирського. Вимірювання емітансу методом сканування двома щілинами дає задовільний результат, як для пучка з розподілом Капчинського-Володимирського, так і для змодельованого розподілу частинок на виході прискорювача, бо воно базується на обчисленні других моментів функції розподілу частинок, а через обмежені розміри пучка в прискорювачі, ці моменти існують для довільних функцій розподілу. Таким чином, метод сканування двома щілинами є більш підходящим методом вимірювання емітансу пучка на виході лінійного прискорювача. Треба зазначити, що для впевненого вимірювання профілів пучка за першою щілиною, необхідно мати великий динамічний діапазон апаратури, тому що струм через щілину в центрі пучка відрізняється від цієї величини біля його краю не менше, ніж на три порядки.

5.06. DYNAMICS OF THE ELECTRON BEAM GENERATED BY THE MAGNETRON GUN AT DIFFERENT MAGNETIC FIELD CONFIGURATIONS IN THE TRANSPORT CHANNEL

*O.S. Mazmanishvili, M.G. Reshetnyak, V.P. Romasko, I.A. Chertishchev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: nreshetnyak@kipt.kharkov.ua*

The dynamics of the electron beam generated by the magnetron gun in the particle transport channel and the focusing efficiency of the tubular electron flux in the gradient magnetic field are investigated. The experiments were performed with magnetron guns with secondary emission cathodes (cathode diameters 36 and 16 mm, anodes 78 and 36 mm) at a cathode voltage of 20...80 kV. Magnetic fields were created by both the solenoid and the solenoid and permanent magnet. The dependence of the radial distribution of the beam on metal targets on the amplitude and gradient of the magnetic field along the axis of the system is investigated. The possibility of adjust-

ing the beam diameter by varying the magnetic field distribution is shown. Impressions of collimated beams on targets located at selected distances were obtained. It is established that with increasing amplitude of the gradient magnetic field the effect of radial focusing of the beam is more pronounced.

**ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ
МАГНЕТРОННОЮ ГАРМАТОЮ, ПРИ РІЗНИХ КОНФІГУРАЦІЯХ
МАГНІТНОГО ПОЛЯ В КАНАЛІ ТРАНСПОРТУВАННЯ**

*О.С. Мазманішвілі, М.Г. Решетняк, В.П. Ромасько, І.А. Чертіщев
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: nreshetnyak@kipt.kharkov.ua*

Досліджено динаміку електронного пучка, що генерується магнетронною гарматою, в каналі транспортування частинок і ефективність фокусування трубчастого електронного потоку в градієнтному магнітному полі. Експерименти проводилися з магнетронними гарматами зі вторинно-емісійними катодами (діаметри катодів 36 мм і 16 мм, анодів 78 мм і 36 мм) при напрузі на катоді 20...80 кВ. Магнітні поля створювалися як соленоїдом, так спільно соленоїдом і постійним магнітом. Досліджено залежність радіального розподілу пучка на металевих мішенях від амплітуди і градієнта магнітного поля уздовж осі системи. Показана можливість регулювання діаметра пучка шляхом варіації розподілу магнітного поля. Отримано відбитки колімованих пучків на мішенях, розташованих на обраних відстанях. Встановлено, що зі збільшенням амплітуди градієнтного магнітного поля ефект радіального фокусування пучка є більше виражений.

Section 2. High-current pulsed accelerators

Сильноточні імпульсні прискорювачі

2.01. STABILIZATION OF DECAY PROCESSES IN PLASMA

*V.O. Buts, A.G. Zagorodny, I.K. Kovalchuk, O.P. Tolstoluzhsky
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: tolstoluzhsky@kipt.kharkov.ua*

In the study of wave-wave processes in plasma, the most important role is played by three-wave processes. The decay processes play the most important role in this. Decay processes are useful for many applications. For example, in this case, the energy of an external high-frequency wave can be efficiently converted into the energy of low-frequency plasma eigenwaves, which, in turn, effectively heat the plasma. However, in many other cases, this process (decay process) may be undesirable. In these cases, a mechanism is needed that allows you to suppress the decay processes. The whirligig principle allows you to find such mechanisms. Using this principle, in the present work conditions was found under which the decay process is suppressed. In particular, it turned out that circularly polarized waves excited in plasma do not decay. Moreover, it has been shown that in a magnetoactive plasma, as a result of the presence of the Faraday effect, the waves with circular polarizations are the

eigenwaves. If only one wave of these polarizations is retained, then the decay process will also be suppressed. There is good qualitative correspondence between the analytical and numerical results.

СТАБІЛІЗАЦІЯ РОЗПАДНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЛАЗМІ

В.О. Буц, А.Г. Загородній, І.К. Ковальчук, О.П. Толстолужський
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: tolstoluzhsky@kipt.kharkov.ua

При дослідженні процесів хвиля-хвиля в плазмі найбільш важливу роль відіграють трихвильові процеси. Найбільш важливу роль при цьому відіграють процеси розпаду. Процеси розпаду для багатьох додатків є корисним. Наприклад, при цьому енергія зовнішньої високочастотної хвилі може ефективно перетворюватися в енергію низькочастотних власних хвиль плазми, які, в свою чергу, ефективно гріють плазму. Однак у багатьох інших випадках цей процес (процес розпаду) може бути небажаним. У цих випадках необхідний механізм, який дозволяє придушити процеси розпаду. Принцип дзиги дозволяє знайти такі механізми. Використовуючи цей принцип, в даній роботі знайдені умови, при виконанні яких процес розпаду є пригніченим. Зокрема, виявилось, що збуджені в плазмі хвилі з круговою поляризацією не розпадаються. Більш того, показано, що в магнітоактивній плазмі в результаті наявності ефекту Фарадея власними хвилями є якраз хвилі з круговими поляризаціями. Якщо зберегти тільки одну з цих поляризацій, то процес розпаду також буде пригнічений. Є хороша якісна відповідність аналітичних та чисельних результатів.

2.02. MAGNETIC FIELD DYNAMICS IN PLASMA OPENING SWITCH

O.V. Manuilenko, I.M. Onishchenko, A.V. Pashchenko,
I.A. Pashchenko, V.B. Yuferov, B.V. Zajtsev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ovm@kipt.kharkov.ua

A plasma opening switch (POS) is a plasma bridge between two electrodes, in most cases in coaxial geometry. An inner electrode is usually a cathode and outer electrode is an anode. In a cathode - anode gap, any initial plasma density distribution is possible, which is determined by the plasma preparation technique and conditions at the electrodes. POSes are used for voltage multiplication in pulsed-power science and technology including high-current pulsed electron accelerators. The plasma and electromagnetic field dynamics in a POS plasma bridge (for plasma densities $\sim 10^{12} \dots 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, cathode - to - anode distances $\sim 1 \text{ cm}$, plasma bridge lengths $\sim 10 \text{ cm}$) is described by electron magnetohydrodynamics (EMHD) equations: the electron fluid equation with strong collisions, the Ampere's law with out displacement current, and the Faraday's law. The EMHD equations, for the axially symmetric case, can be represented in the form of a nonlinear convective-diffusion equation for a magnetic field. The equation contains the magnetic field convection in the plasma due to the Hall effect and the magnetic field diffusion with the diffusion coefficient, which is determined by the plasma conductivity. The work presents the results of the

magnetic field equation numerical solution by the finite element method for various POS initial plasma densities distributions. It is shown that the plasma dynamics in the POS is mainly determined by the fast dynamics of the magnetic field penetration into the plasma bridge due to the Hall effect, and the formation and movement of the current loop in the plasma. It is shown that the control parameters strongly influencing the dynamics of the magnetic field and the motion of the current loop in the POS plasma are the initial plasma density and its spatial distribution.

ДИНАМІКА МАГНІТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМОВОМУ КОМУТАТОРІ СТРУМУ

*Б.В. Зайцев, О.В. Мануйленко, І.М. Оніщенко, А.В. Пащенко,
І.А. Пащенко, В.Б. Юферов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ovm@kipt.kharkov.ua*

Плазмовий комутатор струму (ПКС) являє собою плазмову перемичку між двома електродами, у більшості випадків коаксіальної геометрії. Внутрішній електрод, зазвичай, є катодом, зовнішній – анодом. У катод-анодному проміжку можливий довільний початковий розподіл густини плазми, який визначається технікою інжекції плазми і умовами на електродах. ПКС використовуються для множення напруги у потужній імпульсній техніці, зокрема, у сильнострумівих імпульсних прискорювачах електронів. Динаміка плазми і електромагнітного поля у плазмовій перемичці, для густин плазми $\sim 10^{12} \dots 10^{15} \text{ см}^{-3}$, катод-анодних відстаней $\sim 1 \text{ см}$, довжин плазмової перемички $\sim 10 \text{ см}$, описується рівняннями електронної магнітної гідродинаміки (ЕМГД): рівнянням руху електронів у наближенні сильних зіткнень, законом Ампера без струму зміщення і законом Фарадея. Рівняння ЕМГД, для аксіально-симетричного випадку, можуть бути представлені у вигляді нелінійного конвективно-дифузійного рівняння для магнітного поля. Це рівняння містить конвективне знесення магнітного поля у плазмі за рахунок ефекту Холла і дифузію магнітного поля з коефіцієнтом дифузії, що визначається провідністю плазми. Представлено результати числового рішення рівняння для магнітного поля методом кінцевих елементів для різних початкових розподілів густини плазми у ПКС. Показано, що динаміка плазми у ПКС визначається, в основному, швидкою динамікою проникнення магнітного поля у плазмову перемичку внаслідок ефекту Холла, формуванням і рухом струмової петлі у плазмі. Показано, що керуючими параметрами, що суттєво впливають на динаміку магнітного поля і рух струмової петлі у плазмі ПКС є початкові густина плазми і її просторові розподіли.

Section 7. Beam applications, detectors and detecting nuclear radiations **Застосування прискорених пучків, детектори та** **детектування ядерних випромінювань**

7.01. THE METHOD OF RECOIL NUCLEUS IN THE PRODUCTION OF LANTHANOID ISOTOPES USING NANOTECHNOLOGY

N.P. Dikiy, Yu.V. Lyashko, E.P. Medvedeva, D.V. Medvedev, V.L. Uvarov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua

Nanoparticles of lanthanide oxides Sm_2O_3 , Yb_2O_3 , Pm_2O_3 (~ 60-80 nm) were activated by bremsstrahlung gamma radiation on the LUE with $E = 12.5$ MeV, $I = 500$ mA. Nuclear reactions were used $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$ ($T_{1/2} = 46.44$ h), $^{176}\text{Yb}(\gamma, n)^{175}\text{Yb}$ ($T_{1/2} = 100.8$ h), $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ ($T_{1/2} = 1.73$ h) – ^{149}Pm . The gamma spectra of these lanthanides were measured by a Ge(Li)-detector with a volume of 50 cm^3 and with energy resolution 3.2 keV in the area of 1332 keV with a three-layer protection layer (Pb-Cu-Al) to reduce the background load of the detector. The neutron energy in the γ -reaction at $E = 12.5$ MeV for recoil nuclei are: $^{153}\text{Sm} = 4.1$ keV, $^{175}\text{Yb} = 5.6$ keV. When using various types of acceptors, which are nanoparticles of aluminosilicates, up to 1 Ci ^{153}Sm at $E = 23$ MeV, $I = 700$ μA and up to 1.2 Ci ^{175}Yb at $E = 36$ MeV, $I = 260$ μA can be produced daily at the LUE NSC KIPT. The ^{149}Pm isotope from the cerium group can be separated by cascade column extraction using phosphoric acid tributyl ester. At the LUE NSC KIPT, daily up to 0.5 Ci ^{149}Pm can be produced at $E = 36$ MeV, $I = 700$ μA using neodymium of natural isotopic composition. With using a neodymium target by enriched to ^{150}Nd , up to 10 Ci ^{149}Pm can be produced. The use of nanoparticles for targets and acceptors significantly accelerates the dissolution and release of lanthanide isotopes. For these radioisotopes (b-emitters), the half-life and particle energy play an important role in clinical performance. The developed photonuclear technologies for the production of isotopes of lanthanides, as a rule, used for palliative therapy of bone metastases, have a high effect on anaesthesia and minimal supplementary effects.

МЕТОД ЯДЕР ВІДДАЧІ У ВИРОБНИЦТВІ ІЗОТОПІВ ЛАНТАНОЇДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЇ

М.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, О.П. Медведєва, Д.В. Медведєв, В.Л. Уваров
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua

Наночастинки оксидів лантаноїдів Sm_2O_3 , Yb_2O_3 , Pm_2O_3 (~ 60-80 нм) були активовані гальмівним гама-випромінюванням на ЛПЕ з $E = 12,5$ MeV, $I = 500$ mA. Використані ядерні реакції $^{154}\text{Sm}(\gamma, n)^{153}\text{Sm}$ ($T_{1/2} = 46.44$ год), $^{176}\text{Yb}(\gamma, n)^{175}\text{Yb}$ ($T_{1/2} = 100.8$ год), $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ ($T_{1/2} = 1.73$ год) – ^{149}Pm . Гама-спектри цих лантаноїдів були виміряні Ge(Li)-детектором об'ємом 50 cm^3 по лі-

нії ^{60}Co 1332 кеВ з тришаровим захистом (Pb-Cu-Al) для зменшення фонового завантаження детектора. Енергія нейтронів в γ -реакції при $E = 12.5$ МеВ для ядер віддачі становить: $^{153}\text{Sm} = 4.1$ кеВ, $^{175}\text{Yb} = 5,6$ кеВ. При використанні різних видів акцепторів, що представляють собою наночастинки алюмосилікатів, на ЛПЕ ННЦ ХФТІ щодня можна виробляти до 1 Сі ^{153}Sm при $E = 23$ МеВ, $I = 700$ μA і до 1.2 Сі ^{175}Yb при $E = 36$ МеВ, $I = 260$ μA . Ізотоп ^{149}Pm з церієвої групи можна виділяти шляхом каскадної екстракції в колонці з трібутіловим ефіром фосфорної кислоти. На ЛПЕ ННЦ ХФТІ щодня можна виробляти до 0,5 Сі ^{149}Pm при $E = 36$ МеВ, $I = 700$ μA при використанні неодиму природного ізотопного складу. При використанні мішені неодиму, збагаченого до ^{150}Nd , можна виробляти до 10 Сі ^{149}Pm . Використання наночастинок для мішеней і акцепторів значно прискорює процеси розчинення і виходу ізотопів лантаноїдів. У даних радіоізотопів (β -емітери) період напіврозпаду і енергія частинок грають важливу роль для клінічних характеристик. Розроблені фотоядерні технології отримання ізотопів лантаноїдів особливо необхідні при проведенні паліативної терапії кісткових метастазів. Ці ізотопи демонструють високі ефекти неболеання з мінімальними побічними проявами.

7.02. ESTIMATION OF GROSS-STRUCTURE PARAMETERS OF GIANT DIPOLE RESONANCE

*N.P. Dikiy, A.A. Zakharchenko, Yu.V. Lyashko, V.L. Uvarov,
V.A. Shevchenko, A.Eh. Tenishev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

Experimental testing of a novel technique for determination of width and maximum of excitation function of a photonuclear reaction with dominant giant dipole resonance is conducted. The method is based on measurement of normalized reaction yield in a thin target, overlapping entirely a flux of X-rays, and on processing of data with the use of developed analytical model. For the checking of method, the nickel and molybdenum foils of natural isotopic composition were activated by bremsstrahlung radiation at four energies of the electron beam in the range 40...95 MeV. The obtained parameters of cross-section of the reference reactions $^{58}\text{Ni}(\gamma,n)^{57}\text{Ni}$ and $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$ are in good agreement with those presented in the available databases.

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ГРОСС-СТРУКТУРИ ГІГАНТСЬКОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ

*М.П. Дикий, О.О. Захарченко, Ю.В. Ляшко, В.Л. Уваров,
В.А. Шевченко, А.Е. Тенішев
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

Проведена експериментальна перевірка нового методу визначення ширини і максимуму функції збудження фотоядерної реакції з домінуванням гігантського дипольного резонансу. Метод базується на вимірюванні нормованого виходу

реакції у тонкій мішені, що повністю перекриває потік гальмівного випромінювання прискорювача електронів, і обробці даних з використанням розробленої теоретичної моделі. Для перевірки методу були активовані фольги з нікелю та молібдену природного складу гальмівним випромінюванням при чотирьох значеннях енергії пучку електронів у діапазоні 40...95 МеВ. Одержані характеристики референтних реакцій $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ та $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ добре узгоджуються з такими, що представлені у наявних базах даних.

7.03. APPLICATION OF A SCINTILLATION GAMMA-SPECTROMETER FOR DETERMINATION OF RADON CONTENT IN WATER

*D.A. Hakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets
Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny
of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
E-mail: dilshod.4567@mail.ru*

Natural concentrations of uranium and, accordingly, radium-226 in soils and rocks are a source of radon. Concentration of radon in water coming from underground sources is higher than in water from surface sources as a rule. Radon baths for treatment of various diseases at spa treatment contain radioactive gas radon-222 dissolved in water and its daughter decay products. The scientific institution «JIPNR-Sosny» carries out measurements of the content of radon-222 in mineral water for spa hotels of the Republic of Belarus. The samples are measured using a stationary gamma-spectrometer with a semiconductor detector. The article presents the results of experimental studies for determination of the sensitivity of a mobile scintillation gamma-spectrometer to radon-222 in mineral water samples for the selected measurement geometry and the minimum measurable activity of radon-222 in such samples. The measurement results of radon content in mineral water samples obtained using that scintillation gamma-spectrometer, as well as the results of determination of radon-222 content in the same samples, obtained using stationary gamma-spectrometers with a semiconductor detector including from other laboratories are also presented. The ongoing research is aimed to increase efficiency and mobility of measurements for determination of the radon-222 content in mineral water samples.

7.04. MONTE-CARLO SIMULATION OF QUASI-INFINITE DEPLETED URANIUM TARGET IRRADIATED BY 1...10 GeV DEUTERON AND PROTON BEAM

*V.V. Bukhal, K.V. Husak, I.V. Zhuk, V.A. Voronko, V.V. Sotnikov,
A.A. Zadan, A.A. Baldin, S.I. Tyutyunnikov
Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny
of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
E-mail: o.bukhal@gmail.com*

The Monte-Carlo simulation of a quasi-infinite depleted uranium target irradiated by 1...10 GeV proton and deuteron particles with the help of FLUKA package was carried out. The main neutron-physical characteristics of a system accelerator plus uranium target are presented. Spectra of secondary particles generated in target and

neutron multiplicity are obtained. Total number of ^{235}U (n,f), ^{238}U (n,f) reactions occurred in a target are calculated. Beam particle power multiplications were determined. Calculations were performed with the aim of planning experiments on irradiation of the uranium target at JINR (Dubna, Russia) in the frame of international project "Energy and transmutation of Radioactive Waste".

7.05. FORMATION OF MIXED X,n-RADIATION FIELD AT AN ELECTRON ACCELERATOR

*A.A. Zakharchenko, V.L. Uvarov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

For conducting photonuclear programs with the use of a high-intensity photon source, the latter is ordinarily obtained by transformation of electron beam into X-ray radiation. Such a process is performed using an intermediate target-converter that made from a high-Z material. The (γ ,n) reactions take place in the converter under the action of high-energy bremsstrahlung photons. As a result, a quasi-isotropic neutron flux escapes the converter jointly with the photon beam directed forward. The relation of their intensities plays the important role depending on a program under way. In the work, the spatial radiant characteristics of a mixed X,n-radiation on a photonuclear target at various conditions of its formation in the electron energy range 40...95 MeV are studied by computer simulations with the use of a GEANT4 transport code.

ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ МІШАНОГО X,n-ВИПРОМІНЕННЯ НА ПРИСКОРЮВАЧІ

*A.A. Захарченко, В.Л. Уваров.
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

Для виконання фотоядерних програм з використанням джерела фотонів великої інтенсивності останнє зазвичай одержують шляхом трансформації пучка електронів у гальмівне випромінення. Цей процес здійснюють за допомогою проміжної мішені-конвертера, яку виготовляють з матеріалу з великим Z. Під дією високоенергетичних гальмівних фотонів у конвертері відбуваються (γ ,n) реакції. Як результат, з нього крім спрямованого вперед потоку фотонів виходить також квазіізотропний потік нейтронів. Співвідношення їх інтенсивностей грає важливу роль залежно від програми, що виконується. Методом комп'ютерного моделювання з використанням транспортного коду GEANT4 досліджено просторово-енергетичні характеристики мішаного X,n-випромінення на фотоядерній мішені при різних умовах його формування в діапазоні енергії електронів 40...95 MeV.

7.06. FORMATION AND MONITORING OF SECONDARY X-RAY RADIATION AT PRODUCT PROCESSING WITH AN ELECTRON BEAM

*R.I. Pomatsalyuk, D.V. Titov, A.Ye. Tennishev, V.L. Uvarov,
V.A. Shevchenko, A.A. Zakharchenko, V.N. Vereshchaka
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: rompom@kipt.kharkov.ua*

Conducting of radiation-technological programs at an electron accelerator is accompanied with absorption of part of the beam in an irradiated object followed with transformation of energy into ionization losses and bremsstrahlung radiation. In such a way, a mixed e,X-ray flux is formed in the area behind the object, the intensity of the electron and photon components in which is determined by the energy and power of the primary electron beam, as well as by the parameters of the object and devices positioned behind it. In the paper, the characteristics of the e,X-radiation accompanying product processing with a scanning electron beam with energy 8...12 MeV at an industrial accelerator LU-10 NSC KIPT are studied.. The conditions for obtaining a source of secondary bremsstrahlung radiation in a state of electronic equilibrium, as well as its monitoring using an extended free-air ionization chamber have been explored. Such an additional source of radiation can be used in the various non-commercial programs like radiation tests, sanitization of archival materials and cultural heritage objects, etc.

ФОРМУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ ВТОРИННОГО ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОДУКЦІЇ ПУЧКОМ ЕЛЕКТРОНІВ

*Р.І. Помацалюк, Д.В. Тітов, А.Е. Тенішев, В.Л. Уваров,
В.О. Шевченко, А.О. Захарченко, В.Н. Верещака
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: rompom@kipt.kharkov.ua*

При проведенні радіаційно-технологічних програм на прискорювачі електронів частина пучка поглинається в об'єкті, що обробляється, з трансформацією енергії в іонізаційні втрати та гальмівне випромінення. Як наслідок у області за об'єктом формується потік мішаного е,X-випромінення, інтенсивність електронного та фотонного компонентів в якому визначається енергією і потужністю первинного пучка електронів, а також параметрами об'єкта та розміщених за ним пристроїв. У роботі досліджені характеристики е,X-випромінення, що супроводжує обробку продукції скануючим пучком електронів з енергією 8...12 МеВ на промисловому прискорювачі ЛУ-10 ННЦ ХФТІ. Вивчені умови отримання джерела вторинного гальмівного випромінення в стані електронної рівноваги, а також його моніторингу з використанням протяжної вільноповітряної іонізаційної камери. Таке додаткове джерело випромінювання може бути використано для проведення різних некомерційних програм, наприклад, радіаційних випробувань, санітарної обробки архівних матеріалів, об'єктів культурної спадщини та інше.

7.07. ON-LINE LUMINESCENT DOSIMETRY OF PRODUCT PROCESSING MODE AT AN ELECTRON ACCELERATOR

*R.I. Pomatsalyuk, S.K. Romanovsky, A.E. Tennishev, Yu.A. Titarenko,
D.V. Titov, V.L. Uvarov, V.A. Shevchenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: romanovsky@kipt.kharkov.ua*

Radiation-technological processes based on electron accelerators, in particular, sterilization of medical devices, are regulated by international standards. The distribution of the electron flux density and absorbed dose of radiation are the main parameters of such processes, which require constant monitoring. In this work, we investigated the possibility to determine in real time the absorbed dose profile on the surface of an object being processed using the effect of cathodoluminescence, that occurs when the electron flux acts on technical materials (mainly amorphous dielectrics). The calibration results of cathodoluminescent radiators of different composition against the absorbed dose by calorimetric method are presented. The validation of the novel technique at an LU-10 electron Linac of NSC KIPT made it possible to establish uncertainty of dose measurements and to specify its sources.

ЛЮМІНЕСЦЕНТНА ON-LINE ДОЗИМЕТРІЯ РЕЖИМУ ОБРОБКИ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИСКОРЮВАЧІ ЕЛЕКТРОНІВ

*Р.І. Помацалюк, С.К. Романовський, А.Е. Тенішев, Ю.О. Титаренко,
Д.В. Тітов, В.Л. Уваров, В.А. Шевченко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: romanovsky@kipt.kharkov.ua*

Радіаційно-технологічні процеси із застосуванням прискорювачів електронів, зокрема, стерилізація виробів медичного призначення, регламентуються міжнародними стандартами. Основними параметрами таких процесів, що вимагають постійного контролю, є розподіл щільності потоку електронів і поглинута доза випромінювання. Досліджено можливість застосування ефекту катодолумінесценції, яка виникає при дії потоку електронів на технічні матеріали (головним чином, аморфні діелектрики) для визначення в режимі реального часу профілю поглинутої дози на поверхні оброблюваного об'єкта. Наведено результати калібрування катодолумінесцентних радіаторів різного складу за поглинутою дозою із застосуванням калориметричного методу. Апробація нового методу на прискорювачі електронів ЛУ-10 ННЦ ХФТІ дозволила встановити величину і джерела невизначеності результату вимірювань дози.

7.08. THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF PYROMETRIC METHOD IN INDUSTRIAL DOSIMETRY OF ELECTRON BEAM RADIATION

*R.I. Pomatsalyuk, S.K. Romanovsky, V.A. Shevchenko, A.E. Tennishev,
D.V. Titov, V.L. Uvarov, A.A. Zakharchenko, V.F. Zhiglo
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: rompom@kipt.kharkov.ua*

Validation of process of medical product sterilization includes absorbed dose mapping in a phantom made of material representative of the object being processed.

Typically, such measurements are carried out using disposable chemical dosimeters placed in the phantom at the nodes of the 3D grid. Such a procedure is very laborious and costly in terms of the consumption of dosimetry systems. In the work, we investigated the possibility of using pyrometric method for prompt mapping of the absorbed dose. The studies were carried out using a rectangular phantom in the form of a set of expanded polystyrene plates, which is exposed to a scanned electron beam. The temperature and absorbed dose distributions in the phantom were measured. A linear dependence between them has been established. The calculation of the absorbed dose profile was also performed by the MC simulations. Satisfactory agreement of the calculated dose distribution with the measured one is shown. The limitations of applicability of the proposed method are determined.

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПІРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ В ПРОМИСЛОВІЙ ДОЗИМЕТРІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ВИПРОМІНЕННЯ

*Р.І. Помацалюк, С.К. Романовский, В.О. Шевченко, А.Е. Тенішев,
Д.В. Тітов, В.Л. Уваров, А.О. Захарченко, В.Ф. Жигло
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: romprom@kipt.kharkov.ua*

Валідація процесу стерилізації виробів медичного призначення включає картування просторового розподілу поглинутої дози у фантомі з матеріалу, який є репрезентативний до оброблюваного об'єкту. Зазвичай такі вимірювання проводяться з використанням одноразових хімічних дозиметрів, що розміщені у фантомі в вузлах 3D-сітки. Ця процедура є досить трудомісткою та затратною щодо витрати дозиметричних систем. У роботі вивчена можливість застосування пірометричного методу для оперативного картування поглинутої дози. Дослідження проводилися з використанням прямокутного фантома у вигляді набору пластин з пінополістиролу, на який діє сканований пучок електронів. Проведено спільне вимірювання розподілу температури і поглинутої дози в фантомі. Встановлено лінійну залежність між ними. Розрахунок профілю поглинутої дози виконано також методом MC моделювання. Показана задовільна відповідність розрахункового розподілу дози з вимірним. Визначено граничні умови застосування запропонованого методу.

7.09. AN ESTIMATE OF CROSS-SECTION OF PHOTO-PROTON REACTIONS ON $^{47-50}\text{Ti}$ ISOTOPES

*N.P. Dikiy, A.A. Zakharchenko, Yu.V. Lyashko, V.L. Uvarov,
V.A. Shevchenko, A.Eh. Tennishev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

Development of technologies of isotope production at an electron accelerator, in particular ^{47}Sc by the $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$ reaction, requires accurate data on the cross-sections of this and other photo-proton reactions on the titanium isotopes. The available reaction parameters are characterized by considerable scatter. Earlier, a simple technique for estimating maximum and width of excitation function of a reaction with

dominating giant dipole resonance has been proposed and validated. The method is based on measurement of normalized reaction yield in a thin target, overlapping completely a flux of X-rays, and processing of data obtained with the use of developed analytical model. The joint activation of foils from natural nickel, molybdenum and titanium by bremsstrahlung radiation with end-point photon energy in the range 40...95 MeV was carried out. The characteristics of the reactions $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$, $^{49}\text{Ti}(\gamma, p)^{48}\text{Sc}$, $^{50}\text{Ti}(\gamma, np)^{48}\text{Sc}$, $^{47}\text{Ti}(\gamma, p)^{46}\text{Sc}$ and $^{48}\text{Ti}(\gamma, np)^{46}\text{Sc}$ were studied by new technique. For verifying results, the well-examined $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ and $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ reactions were used.

ОЦІНКА ПЕРЕРІЗІВ ФОТОПРОТОННИХ РЕАКЦІЙ НА ІЗОТОПАХ $^{47-50}\text{Ti}$

*М.П. Дикий, О.О. Захарченко, Ю.В. Ляшко, В.Л. Уваров,
В.А. Шевченко, А.Е. Тенішев
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: uvarov@kipt.kharkov.ua*

Розвиток технології виробництва ізоотопів на прискорювачах електронів, зокрема ^{47}Sc за реакцією $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$ потребує більш точних даних щодо перерізів цієї та інших фотопротонних реакцій на ізотопах титану. Наявні параметри реакцій характеризуються суттєвим розкидом. Раніш був запропонований та валідований простий метод оцінки максимуму і ширини функції збудження для реакції з домінуванням гігантського дипольного резонансу. Метод заснований на вимірюванні нормованого виходу реакції у тонкій мішені, яка повністю перекриває потік гальмівних фотонів, і обробці одержаних даних з використанням розробленої аналітичної моделі. Було проведено сумісну активацію фоль з нікелю, молібдену та титану гальмівним випроміненням з граничною енергією фотонів у діапазоні 40...95 MeV. З використанням нового методу досліджено параметри реакцій $^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$, $^{49}\text{Ti}(\gamma, p)^{48}\text{Sc}$, $^{50}\text{Ti}(\gamma, np)^{48}\text{Sc}$, $^{47}\text{Ti}(\gamma, p)^{46}\text{Sc}$ та $^{48}\text{Ti}(\gamma, np)^{46}\text{Sc}$. Для верифікації одержаних результатів були використані добре вивчені реакції $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ та $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$.

7.10. RADIATION INDUCED SOFTENING OF CRYSTALS

*V.I. Dubinko, V.N. Borysenko, V.A. Kushnir, I.V. Hodak,
V.V. Mytrochenko, V.O. Gamov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vdubinko@kipt.kharkov.ua*

Under irradiation of crystals, atomic vibrations of the lattice that are large enough in amplitude so that the linear approximation and therefore the conventional phonon description of the lattice is not enough. At the same time, these vibrations are localized and can travel long distances in a crystal lattice. In metals and other crystals they are called intrinsic localized modes (ILMs) or discrete breathers (DBs) and are the secondary products of irradiation damage, the primary one being the creations of defects that involve atom displacements to produce vacancies and self-interstitial atoms. ILMs are produced in irradiated materials, where the primary damage consists of displacements of atoms producing point and extended defects, which results in radiation induced hardening (RIH). A part of the remaining energy will transform in ILMs before decaying into phonons. Thus, while a material is being irradiated in operational conditions as in a reactor a considerable amount of DBs with energies of the order of one eV exist which helps dislocations to unpin from pinning centers, producing Radiation Induced Softening (RIS), which opposes RIH. This effect is investigated under (in-situ) impulse and steady-state electron irradiation.

РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНА ПЛАСТИФІКАЦІЯ КРИСТАЛІВ

*В.І. Дубінко, В.М. Борисенко, В.А. Кушнір, І.В. Ходак,
В.В. Митроченко, В.О. Гамов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: vdubinko@kipt.kharkov.ua*

При опроміненні кристалів атомні коливання решітки, які є достатньо великими за амплітудою, так що лінійного наближення і, отже, звичайного фононного опису решітки недостатньо. У той же час ці вібрації локалізовані і можуть проїжджати великі відстані в кристалічній решітці. У металах та інших кристалах вони називаються власними локалізованими модами (ВЛМ) або дискретними бризерами (ДБ) і є вторинними продуктами пошкодження опроміненням, основним з яких є утворення дефектів, що включають переміщення атомів для отримання вакансій та міжвузельних атомів. ВЛМ виробляються в опроміненних матеріалах, де основне пошкодження складається із переміщень атомів, що утворюють точкові та розширені дефекти, що призводить до радіаційно-індукованого зміцнення (РІЗ). Частина енергії, що залишилася, трансформується в ВЛМ, перш ніж розпадатися на фонони. Таким чином, поки матеріал опромінюється в робочих умовах, як у реакторі, існує значна кількість ДБ з енергіями порядку одного Ев, що допомагає дислокаціям відкріпитися від центрів закріплення, виробляючи радіаційно-індуковану пластифікацію (РІП), кристалів що протистоїть РІЗ. Цей ефект досліджується при (in-situ) імпульсному та стаціонарному електронному опроміненні.

7.11. PHOTONUCLEAR REACTIONS $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$,
 $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{24}\text{Na}$, $^{93}\text{Nb}(\gamma, 3n)^{90}\text{Nb}$ AS MONITORS OF BREMSSTRAHLUNG FLUX

*O.S. Deiev, I.S. Timchenko, S.M. Olejnik, A.N. Vodin, V.A. Kushnir,
V.V. Mytrochenko, S.O. Perezhogin, V.O. Bocharov, Ye.O. Vasilev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: deev@kipt.kharkov.ua*

The use of bremsstrahlung is a good alternative to quasi-monochromatic γ -quanta for conducting experiments on photodisintegration of nuclei in a wide range of energies. To obtain cross-sections of the reaction, it is necessary to know the exact value of the flux of bremsstrahlung quanta on the target, which is usually calculated using the code GEANT4. Some factors of the experiment can make an error: geometric (displacement of the target center relative to the beam axis), inaccuracy of the irradiation dose, current, slight decrease in electron beam energy at long exposures, beam profile, etc. For the control of the irradiation parameters, targets-monitors are used, which are in the same conditions as the studied target. After this, the calculated and measured cross-sections of the known reaction are compared, and a normalization factor is obtained, which is used when calculating the values of the investigated cross-sections. In experiments on the LUE-40 accelerator of RDC "Accelerator" NSC KIPT, the yields and flux-averaged cross-section $\langle \sigma(E_{\gamma\text{max}}) \rangle_{\text{exp}}$ of photonuclear reactions $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$, $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{24}\text{Na}$, $^{93}\text{Nb}(\gamma, 3n)^{90}\text{Nb}$ were measured using the γ -activation technique. The possibility of using these reactions to monitor the flux of bremsstrahlung γ -quanta was investigated. The theoretical calculation of the cross-sections $\langle \sigma(E_{\gamma\text{max}}) \rangle_{\text{th}}$ was performed using the cross-sections $\sigma(E)$ from the code Talys1.95 for monochromatic photons. The normalization coefficients $k = \langle \sigma(E_{\gamma\text{max}}) \rangle_{\text{th}} / \langle \sigma(E_{\gamma\text{max}}) \rangle_{\text{exp}}$ were obtained, which displays the deviation of the calculated in the GEANT4 code flux of inhibitory γ -quanta from the real flux that fell on the target.

ФОТОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$, $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{24}\text{Na}$,
 $^{93}\text{Nb}(\gamma, 3n)^{90}\text{Nb}$ ЯК МОНІТОРИ ПОТОКУ ГАЛЬМІВНИХ КВАНТІВ

*О.С. Деев, І.С. Тімченко, С.М. Олійник, О.М. Водін, В.А. Кушнір,
В.В. Митроченко, С.О. Пережогін, В.О. Бочаров, Є.О. Васильєв
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: deev@kipt.kharkov.ua*

Застосування гальмівних фотонів є хорошою альтернативою квазімонохроматичним γ -квантам для проведення експериментів по фоторозщепленню ядер у широкому інтервалі енергій. Для отримання перерізів реакції необхідно знати точне значення потоку гальмівних квантів на мішені, який, як правило, розраховують за допомогою коду GEANT4. Деякі фактори експерименту можуть вносити помилку: геометричний (зміщення центру мішені щодо осі пучка), неточність дози опромінення, струму, незначне зменшення енергії пучка електронів при тривалих експозиціях, точність профілю пучка та ін. Для контролю параметрів опромінення застосовують мішені-монітори, які знаходяться в однакових з досліджуваною мішенню умовах. Для цього порівнюють розрахункові та

виміряні перерізи відомої реакції, та отримують коефіцієнт нормування, який використовують при обчисленні значень досліджуваних перерізів. В експериментах на прискорювачі ЛПЕ-40 НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ із застосуванням методу наведеної γ -активності виміряно виходи та середні по гальмівному потоку перерізи $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{exp}}$ фотоядерних реакцій $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$, $^{65}\text{Cu}(\gamma,n)^{64}\text{Cu}$, $^{27}\text{Al}(\gamma,x)^{24}\text{Na}$, $^{93}\text{Nb}(\gamma,3n)^{90}\text{Nb}$. Досліджена можливість використання цих реакцій для моніторингу потоку гальмівних γ -квантів. Теоретичний розрахунок перерізів $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{th}}$ проводився з використанням перерізів $\sigma(E)$ з коду Talys1.95 для монохроматичних фотонів. Були отримані коефіцієнти нормування $k = \langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{th}} / \langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{exp}}$, які відображали відхилення розрахованого в коді GEANT4 потоку гальмівних γ -квантів від реального потоку, який упав на мішень.

7.12. ISOMERIC RATIO OF NUCLEAR PRODUCTS FROM THE REACTION $^{181}\text{Ta}(\gamma,3n)^{178\text{g,m}}\text{Ta}$ AT ENERGIES $E_{\gamma\max} = 33\dots95$ MeV

*O.S. Deiev, I.S. Timchenko, S.M. Olejnik, A.N. Vodin, V.A. Kushnir,
V.V. Mytrochenko, S.O. Perezhogin
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: timchenko@kipt.kharkov.ua*

A study of photoneutron reactions of $^{181}\text{Ta}(\gamma,3n)^{178\text{m,g}}\text{Ta}$ in the region of bremsstrahlung energies $E_{\gamma\max} = 33\dots95$ MeV was performed. The measurements were performed on the beam of the linear electron accelerator LUE-40 in RDC “Accelerator” NSC KIPT using the of the γ -activation technique. The flux-averaged cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$, $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{m}}$, $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{g}}$ and isomeric ratios $d(E_{\gamma\max})$ of the nuclei-products of the studied reaction were determined experimentally. The calculation of the bremsstrahlung flux was performed using the code GEANT4.9.2 and was additionally monitored by the reaction yield of $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$. The values of the theoretical flux-averaged cross-sections were obtained using $\sigma(E)$ from the TALYS1.95 code for different models of the density levels LD1-6. It is shown that the experimental values of $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$, $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{g}}$ and $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle_{\text{m}}$ best agree with the theoretical calculations performed using the code TALYS1.95 for the model LD5: Microscopic level densities (Skyrme force) from Hilaire's combinatorial tables. The found isomeric relations $d(E_{\gamma\max})$ are consistent with the data from the literature and in the energy range $E_{\gamma\max} = 24-95$ MeV are grouped around a constant value of 0.34 ± 0.02 . Experimental values of $d(E_{\gamma\max})$ points to a significant (by a factor of 2.5) suppression of the reaction with occupation of the isomeric state of the nucleus $^{178\text{m}}\text{Ta}$ relative to the ground-state occupation of $^{178\text{g}}\text{Ta}$. It is shown that the calculated value of the isomeric ratio $d(E_{\gamma\max})$ increases with decreasing energy of γ -quanta for all models LD1-6, but the available experimental data do not confirm such dynamics.

ІЗОМЕРНІ ВІДНОШЕННЯ ЯДЕР-ПРОДУКТІВ З РЕАКЦІЇ $^{181}\text{Ta}(\gamma,3n)^{178\text{m,g}}\text{Ta}$
ПРИ ЕНЕРГІЯХ $E_{\gamma\text{max}} = 33\dots95$ МеВ

О.С. Десв, І.С. Тімченко, С.М. Олійник, О.М. Водін, В.А. Кушнір,
В.В. Митроченко, С.О. Пережогін
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: timchenko@kipt.kharkov.ua

Проведено дослідження фотонейтронних реакцій $^{181}\text{Ta}(\gamma,3n)^{178\text{m,g}}\text{Ta}$ в області граничних енергій гальмівних γ -квантів $E_{\gamma\text{max}} = 33\dots95$ МеВ. Вимірювання проведені на пучку лінійного прискорювача електронів ЛПЕ-40 НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ з застосуванням методу наведеної γ -активності. Експериментально визначені середні по гальмівному потоку перетини $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$, $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle_{\text{m}}$, $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle_{\text{g}}$ та ізомерні відношення $d(E_{\gamma\text{max}})$ ядер-продуктів досліджуваної реакції. Розрахунок потоку гальмівних гамма-квантів проводився за допомогою коду GEANT4.9.2 і додатково монітувався по виходу реакції $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$. Значення теоретичних середніх перетинів отримані з використанням $\sigma(E)$ з коду TALYS1.95 для різних моделей щільності рівнів LD1-6. Показано, що експериментальні значення $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$, $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle_{\text{g}}$ і $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle_{\text{m}}$ найкраще узгоджуються з теоретичними розрахунками, виконаними з використанням коду TALYS1.95 для моделі LD5: Microscopic level densities (Skyrme force) from Hilaire's combinatorial tables. Знайдені ізомерні відношення $d(E_{\gamma\text{max}})$ узгоджуються з даними з літератури і у діапазоні енергій $E_{\gamma\text{max}} = 24-95$ МеВ групуються навколо сталої величини $0,34 \pm 0,02$. Експериментальні значення $d(E_{\gamma\text{max}})$ вказують на значне пригнічення заселення ізомерного стану ядра $^{178\text{m}}\text{Ta}$ по відношенню до основного $^{178\text{g}}\text{Ta}$ (приблизно в 2,5 рази). Показано, що розрахункова величина ізомерного відносини $d(E_{\gamma\text{max}})$ зі зменшенням енергії γ -квантів зростає для всіх моделей LD1-6, проте наявні експериментальні дані не підтверджують подібну динаміку.

7.13. BONNER SPHERICAL NEUTRON SPECTROMETER CALIBRATION
WITH A STANDARD NEUTRON SOURCE

S.A. Kalenik¹, S.H. Karpus¹, V.Y. Kasilov¹, V. Kovtun², P. Kizim², O. Shchus²
¹NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;
²V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua

The method of activation type Bonner spherical neutron spectrometer calibration which was developed in the Department of Fundamental and Applied Nuclear Research of the Institute of High Energy Physics and Nuclear Physics of NSC KIPT for the research of neutron fields in the LPE-30 accelerator hopper is presented. As a standard source of fast neutrons used PuBe-source of V.N. Karazin Kharkiv National University (type DSHN-27/112, neutron flux is 4.96×10^7 n/s in 4π). The activity of natural indium samples was measured by a gamma spectrometer based on a GeLi detector. The spectra of activation yields $^{116\text{m}}\text{In}$ were obtained for all ten spheres of the neutron spectrometer, with radii from 5 to 24 cm. A comparison with experimental

data of neutron field measurements in the LPE-30 accelerator hopper when irradiated with an electron beam of e- γ -n-converter was done.

КАЛІБРУВАННЯ КУЛЬОВОГО НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА БОННЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНОГО ДЖЕРЕЛА НЕЙТРОНІВ

С.А. Каленик¹, С.Г. Карпусь¹, В.Й. Касілов¹, В. Ковтун², П. Кизим², О. Щусь²

¹ННЦ ХФТІ, Харків, Україна;

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua

Представлено методику калібрування кульового нейтронного спектрометра Боннера активаційного типу, розробленого у відділі фундаментально-прикладних ядерних досліджень Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ ХФТІ для дослідження нейтронних полів у бункері прискорювача ЛПЕ-30. У якості стандартного джерела швидких нейтронів використано RuBe-джерело типу ДШН-27/112 з потоком нейтронів $4,96 \times 10^7$ н/с в 4π ср Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Активність зразків натурального індію визначалась за допомогою гамма-спектрометра на базі GeLi-детектору. Отримано спектри активаційних виходів ^{116m}In для усіх десяти куль нейтронного спектрометра, радіусами від 5 до 24 см. Проведено порівняння з експериментальними даними вимірювання нейтронних полів в бункері прискорювача ЛПЕ-30 при опроміненні пучком електронів e- γ -n-конвертора.

7.14. WORLD TRENDS IN THE APPLICATION OF ACCELERATORS FOR THE PRODUCTION OF BASIC ISOTOPES FOR NUCLEAR MEDICINE

I.S. Guk

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: guk@kipt.kharkov.ua

More than 53 isotopes have been added to the international nuclear medicine database for use in the diagnosis and treatment of diseases. However, the main place in all the variety used belongs to the production of two isotopes - ^{99}Mo and ^{18}F . Diagnostic imaging techniques account for approximately 90% of all nuclear medicine procedures and 85% of diagnostic scans are performed using ^{99}Mo (^{99m}Tc), which is about 40 million procedures worldwide each year. Therefore, special attention is paid to the production of this isotope in the world. There is a tendency of a gradual transition from the irradiation of weapons-grade uranium targets at nuclear reactors to the use for these purposes of electron accelerators with superconducting accelerating structures and deuteron accelerators with the transition to liquid targets from low-enriched ^{235}U . The main use of the isotope ^{18}F is in PET diagnostics, as it has proven to be the most accurate method for detecting and assessing most types of cancer. It is also widely used in the imaging of the vessels of the heart and brain. The leading role in this diagnostics is played by small cyclotrons with superconducting magnets operating at nitrogen temperatures. The creation of special accelerators for the production of other isotopes that can be used in modern nuclear medicine is currently not economically justified, given their small share in the cost in relation to the isotopes considered above.

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИКОРИСТАННІ ПРИСКОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ОСНОВНИХ ІЗОТОПІВ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ

*I.C. Гук
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: guk@kipt.kharkov.ua*

У міжнародну базу даних по ядерній медицині для використання в діагностиці і лікуванні хвороб внесено більш 53 ізотопів. Однак головне місце у всьому різноманітті використовуваних належить виробництву двох ізотопів - ^{99}Mo і ^{18}F . Методи діагностичної візуалізації займають приблизно 90% усіх процедур ядерної медицини і 85% діагностичних сканувань проходять з використанням ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), що складає близько 40 мільйонів процедур по усім світі щороку. Тому виробництву цього ізотопу у світі приділяється особлива увага. Спостерігається тенденція поступового переходу від опромінення мішеней зі збройового урану на ядерних реакторах до використання для цих цілей електронних прискорювачів з надпровідними прискорюючими структурами і прискорювачів дейтронів з переходом на рідкі мішені з низькозбагаченим ^{235}U . Основне використання ізотопу ^{18}F - у ПЕТ діагностиці, оскільки вона виявилася найбільш точним методом виявлення й оцінки більшості видів рака. Він також широко використовується при візуалізації судин серця і головного мозку. Ведучу роль у цій діагностиці грають малогабаритні циклотрони з надпровідними магнітами, що працюють при азотних температурах. Створення спеціальних прискорювачів для виробництва інших ізотопів, що можуть використовуватися в сучасній ядерній медицині, у даний час економічно не виправдано з огляду на їхню малу частку у вартості стосовно розглянутих вище ізотопів.

7.15. ANALYSIS OF SECONDARY ELECTRON EMISSION MEASUREMENT SYSTEMS

*H.D. Kovalenko, S.H. Karpus, Yu.H. Kazarinov, V. Borysenko,
S.S. Kochetov, Ye.V. Tsyatsko, O.O. Shopen, V.Y. Kasilov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua*

The analysis of experimental systems for research of the electrons secondary emission yields during the passage of high-energy electrons through thin films is presented. The peculiarities of current registration of secondary electrons emitted from the surface of the investigated samples depending on the design features of the target device are considered, namely: when using only emitter, systems equipped with continuous and through collectors. The issue of improving the three-electrode system (collector-emitter-collector) with through-collectors in order to suppress the residual magnetization of the experimental equipment is considered.

АНАЛІЗ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ВИХОДУ ВТОРИННОЇ ЕМІСІЇ ЕЛЕКТРОНІВ

*Г.Д. Коваленко, С.Г. Карпусь, Ю.Г. Казарінов, В. Борисенко,
С.С. Кочетов, Є.В. Цяцько, О.О. Шопен, В.Й. Касілов
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua*

Представлено аналіз експериментальних систем дослідження виходу вторинної емісії електронів при проходженні високоенергетичних електронів через тонкі плівки. Розглянуто особливості реєстрації струму вторинних електронів емітованих з поверхні досліджуваних зразків в залежності від конструкційних особливостей пристрою мішені, а саме: при використанні однієї мішені, систем оснащених суцільними та прохідними колекторами. Розглядається питання удосконалення трьохелектродної системи з прохідними колекторами з метою пригнічення пливу залишкової намагніченості експериментального устаткування.

7.16. CORRELATION BETWEEN MULTIPLE SCATTERING ANGLE AND IONIZATION ENERGY LOSS FOR FAST ELECTRONS

*M.V. Bondarenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: bon@kipt.kharkov.ua*

A correlation between the angle of multiple scattering and the ionization energy loss for relativistic electrons in an amorphous medium is computed by solving the combined transport equation. The correlation is found to be the most pronounced at deflection angles larger than typical, reflecting the underlying single-scattering kinematical correlation, but is also sizable at typical deflection angles, where the width of the angular distribution increases with the increase of the energy loss. The mean energy loss as a function of the deflection angle is calculated. It grows quadratically both at small and at large angles, but the proportionality coefficient at large angles is greater than at small ones.

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ КУТОМ БАГАТОРАЗОВОГО РОЗСІЯННЯ ТА ІОНІЗАЦІЙНОЮ ВТРАТОЮ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ШВИДКИХ ЕЛЕКТРОНІВ

*М.В. Бондаренко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: bon@kipt.kharkov.ua*

Кореляція між кутом багаторазового розсіяння та іонізаційною втратою енергії для релятивістських електронів в аморфній речовині обчислюється шляхом розв'язання комбінованого рівняння переносу. Встановлено, що кореляція є найбільш вираженою при кутах відхилення, більших, ніж типові, що відображає кінематичну кореляцію на рівні одноразового розсіювання, але також є значною на типових кутах відхилення, де ширина кутового розподілу збільшується зі збільшенням втрат енергії. Обчислюється середня втрата енергії як функція кута відхилення. Вона росте квадратично як для малих, так і для великих кутів, але коефіцієнт пропорційності для великих кутах більший, ніж для малих.

7.17. HYBRID-PS AND MAPS DETECTOR SYSTEMS FOR NUCLEAR PHYSICS EXPERIMENTS

*M.V. Pugach, V.M. Dobishuk, S.B. Chernyshenko, V.O. Kyva, V.M. Pugatch
Kyiv Institute for Nuclear Research, Kyiv, Ukraine
E-mail: mvpugach@gmail.com*

Detector systems comprising Hybrid pixel sensors and Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS) are discussed. The emphasis is on the implementation of micropixel sensors for the studies of the aneutronic nuclear reaction $^{11}\text{B}(p,3\alpha)$. Features of the experimental setup at the KINR Tandem generator and the algorithms developed for reconstruction of three-particle final state as well as for the data analysis are presented. The features of the Hybrid pixel sensors (Timepix family) incorporate high spa-

tial resolution (less than 50 μm), perfect timing (few ns) incoincident mode studies, ideal particle identification (alpha-clusters are well distinguished), good energy resolution (about 50 keV), high radiation tolerance (40 Mrad for the latest version of Timepix detectors) make their application advantageous in comparison with the CR-39 tracking films method. Detector systems based on Monolithic Active Pixel Sensors are considered as potentially promising radiation hard devices (produced in frames of 65 nm CMOS technology) aiming at building large area tracking systems for future high energy physics experiments (PANDA @ FAIR/GSI, NICA @ Dubna and others).

HYBRID-PS TA MAPS ДЕТЕКТОРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

М.В. Пугач, В.М. Добішук, С.Б. Чернишенко, В.О. Кива, В.М. Пугач
Інститут ядерних досліджень, Київ, Україна
E-mail: mvpugach@gmail.com

Розглянуто детекторні системи, що включають гібридні піксельні детектори та монолітні активні піксельні детектори (MAPS). Акцент робиться на впровадженні мікропіксельних детекторів для дослідження анейтронної ядерної реакції $^{11}\text{B}(\text{p},3\alpha)$. Особливості експериментальної установки на Тандемний генератор KINR та розроблені алгоритми реконструкції трьохчастинкового кінцевого стану аналізу даних. Особливості гібридних піксельних детекторів (Сімейство Timepix) включають високу просторову роздільну здатність (менше 50 мкм), ідеальну синхронізацію (кілька нс) вдослідження випадкових режимів, ідеальну ідентифікацію частинок (альфа-кластери добре розрізняються), добре енергетичну роздільну здатність (близько 50 кеВ), високу толерантність до випромінювання (40 Мрад для останньої версії Детектори Timepix) роблять їх застосування вигіднішим у порівнянні з методом відстеження CR-39 фільмів. Детекторні системи, засновані на монолітних активних піксельних датчиках, розглядаються як потенційно перспективні випромінювальні жорсткі пристрої (виготовляються в рамках 65-нм КМОП-технології) спрямовані на створення систем відстеження великих площ для майбутніх експериментів з фізики високих енергій (PANDA @ FAIR / GSI, NICA @ Dubna та інші).

7.18. SIMULATION STUDIES OF THE MOLIERE RADIUS FOR EM CALORIMETER MATERIALS

О.Р. Gavrishchuk, V.E. Kovtun, T.V. Malykhina
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
E-mail: malykhina@karazin.ua

The detailed Monte Carlo calculations of the Moliere radius (R_m) for some homogeneous and heterogeneous media used in high-energy electromagnetic calorimetry are presented. The obtained results, the uncertainties in determining R_m , estimates of the absorbed energy, methods for approximating the absorbed energy, and the accuracy of the results are discussed. Some R_m are given for prototype calorimeters of the SPD experiment. The obtained results can be useful in the development of detecting systems for electromagnetic calorimeters.

МОДЕЛЮВАННЯ РАДІУСА МОЛЬЄРА ДЛЯ МАТЕРІАЛІВ ЕМ-КАЛОРИМЕТРА

О.П. Гавришук, В.Є. Ковтун, Т.В. Малихіна
Харківський національний університет ім. Каразіна, Харків, Україна
E-mail: malykhina@karazin.ua

Представлені детальні обчислення методом Монте-Карло радіусу Мольєра (R_m) для деяких гомогенних і гетерогенних середовищ, які застосовуються в електромагнітній калориметрії високих енергій. Обговорюються отримані результати, невизначеності опису R_m , оцінки поглиненої енергії, методи апроксимації поглиненої енергії, точність отриманих результатів. Наведено R_m для прототипів калориметра установки SPD. Отримані результати можуть бути корисними при розробці детектуючих систем електромагнітних калориметрів.

7.19. CROSS-SECTIONS OF PHOTONUCLEAR REACTIONS ON ^{nat}Mo TARGETS AT END-POINT BREMSSTRAHLUNG ENERGIES UP TO $E_{\gamma\text{max}} = 100 \text{ MeV}$

O.S. Deiev, I.S. Timchenko, S.M. Olejnik, A.N. Vodin, V.A. Kushnir,
V.V. Mytrochenko, S.O. Perezhogin, V.O. Bocharov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: deev@kipt.kharkov.ua

The experiments to determine the yields $Y(E_{\gamma\text{max}})$ and bremsstrahlung flux-averaged cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ of photonuclear reactions for the natural Mo targets were performed with the beam from the electron linear accelerator LUE-40 RDC "Accelerator" NSC KIPT with the use of the γ -activation technique. The end-point bremsstrahlung energies were in the range $E_{\gamma\text{max}} = 35 \dots 80 \text{ MeV}$. For multiparticle reactions $^{nat}\text{Mo}(\gamma, xn)^{90}\text{Mo}$ and $^{nat}\text{Mo}(\gamma, pxn)^{90}\text{Nb}$, the cross-sections $\sigma(E)$ were calculated for stable Mo isotopes in the range $E_{\gamma\text{max}}$ up to 100 MeV in the TALYS1.95 code with default parameters (level density model LD1). These values $\sigma(E)$ are used to calculate the yields and average cross-sections. It is shown that in the studied energy range for the reactions $^{nat}\text{Mo}(\gamma, xn)^{90}\text{Mo}$ and $^{nat}\text{Mo}(\gamma, pxn)^{90}\text{Nb}$ the dominant channels are $^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{90}\text{Mo}$ and $^{92}\text{Mo}(\gamma, pn)^{90}\text{Nb}$, respectively. Comparison of the experimental and calculated values of $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ for the reaction $^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{90}\text{Mo}$ has shown a noticeable excess (up to two times) of the experimental results over the TALYS1.95 estimates. This can be explained by the underestimation of the cross-section $\sigma(E)$ from the TALYS1.95 code. A similar result was obtained by comparing the experimental and calculated $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ values for the $^{92}\text{Mo}(\gamma, pn)^{90}\text{Nb}$ reaction.

ПЕРЕРІЗИ ФОТОЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ НА МІШЕНЯХ З ^{nat}Mo ПРИ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНИХ КВАНТІВ ДО $E_{\gamma\text{max}} = 100 \text{ MeV}$

О.С. Деев, І.С. Тімченко, С.М. Олійник, О.М. Водін, В.А. Кушнір,
В.В. Митроченко, С.О. Пережогін, В.О. Бочаров
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: deev@kipt.kharkov.ua

Експерименти по визначенню виходів $Y(E_{\gamma\text{max}})$ і середніх по гальмівному потоку перерізів фотоядерних реакцій на мішенях з натурального Мо виконані на

пучку лінійного прискорювача електронів ЛПЕ-40 НДК «Прискорювач» NSC КІРТ з використанням γ -активаційної методики. Область граничних енергій гальмівних γ -квантів становила $E_{\gamma\max} = 35 \dots 80$ МеВ. Для реакцій ${}^{\text{nat}}\text{Mo}(\gamma, xn) {}^{90}\text{Mo}$ і ${}^{\text{nat}}\text{Mo}(\gamma, pxn) {}^{90}\text{Nb}$ перерізи $\sigma(E)$ були розраховані для стабільних ізотопів Мо у діапазоні $E_{\gamma\max}$ до 100 МеВ у кодї TALYS1.95 з параметрами за замовчуванням (модель щільності рівнів LD1). Ці значення $\sigma(E)$ використовуються для розрахунку виходів та середніх перерізів реакцій. Показано, що в досліджуваному діапазоні енергій для реакцій ${}^{\text{nat}}\text{Mo}(\gamma, xn) {}^{90}\text{Mo}$ та ${}^{\text{nat}}\text{Mo}(\gamma, pxn) {}^{90}\text{Nb}$ домінуючими каналами є ${}^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n) {}^{90}\text{Mo}$ та ${}^{92}\text{Mo}(\gamma, pn) {}^{90}\text{Nb}$, відповідно. Порівняння експериментальних та розрахункових значень $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ для реакції ${}^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n) {}^{90}\text{Mo}$ показало помітне перевищення (до двох разів) результатів експерименту над оцінками TALYS1.95. Це можна пояснити недооцінкою перерізу $\sigma(E)$ з коду TALYS1.95. Подібний результат був отриманий шляхом порівняння експериментальних та розрахованих значень $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ і для реакції ${}^{92}\text{Mo}(\gamma, pn) {}^{90}\text{Nb}$.

7.20. RESEARCH OF MULTICHANNEL REACTION ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ AT ENERGIES $E_{\gamma\max} = 35 \dots 95$ MeV

*O.S. Deiev, I.S. Timchenko, S.M. Olejnik, A.N. Vodin, V.A. Kushnir,
V.V. Mytrochenko, S.O. Perezhogin
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: olejniksn@kipt.kharkov.ua*

The experiments to study the photonuclear multichannel reaction ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ were performed on the beam of the linear electron accelerator LUE-40 in RDC “Accelerator” NSC KIPT using the γ -activation technique. The peculiarity of the studied reaction is the presence of seven output channels: $x = (n\alpha) + (2p3n) + (2npd) + (n2d) + (tnp) + (2n^3\text{He}) + (td)$, which lead to the formation of the final nucleus-product ${}^{22}\text{Na}$. The bremsstrahlung flux-averaged cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ and the cross-sections per equivalent photon $\langle\sigma(E_{\gamma\max})_Q\rangle$ were first measured for the photonuclear multiparticle reaction ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ at end-point bremsstrahlung energies ranging from 35 MeV to 95 MeV. The obtained values of $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ і $\langle\sigma(E_{\gamma\max})_Q\rangle$ were compared with calculations performed using the TALYS1.95 code for different models of the density levels LD1-6. Consideration is given to special features of calculating the cross-sections $\langle\sigma(E_{\gamma\max})\rangle$ and $\langle\sigma(E_{\gamma\max})_Q\rangle$ for the case of the final nucleus ${}^{22}\text{Na}$ production in the photodisintegration reaction ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ via several partial channels.

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ РЕАКЦІЇ ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ У ДІАПАЗОНІ ЕНЕРГІЙ $E_{\gamma\max} = 35 \dots 95$ MeV

*O.C. Деєв, I.C. Тімченко, С.М. Олійник, O.M. Водін, В.А. Кушнір,
В.В. Митроченко, С.О. Пережогін
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: olejniksn@kipt.kharkov.ua*

На пучку лінійного прискорювача електронів ЛПЕ-40 НДК «Прискорювач» ННЦ ХФТІ проведені експерименти по дослідженню фотоядерної багатоканальної реакції ${}^{27}\text{Al}(\gamma, x) {}^{22}\text{Na}$ з використанням методу наведеної γ -активності. Осо-

близькістю досліджуваної реакції є наявність семи вихідних каналів: $x = (n\alpha) + (2p3n) + (2npd) + (n2d) + (tnp) + (2n^3\text{He}) + (td)$, що приводять до утворення кінцевого ядра-продукту ^{22}Na . Уперше виміряні середні по гальмівному потоку перерізи $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ і перерізи на еквівалентний фотон $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})_Q\rangle$ реакції $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{22}\text{Na}$ в області граничних енергій гальмівних γ -квантів $E_{\gamma\text{max}} = 35\dots 95$ МеВ. Проведено порівняння здобутих значень $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ і $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})_Q\rangle$ з розрахунками, виконаними з використанням коду TALYS1.95 для різних моделей щільності рівнів LD1-6. Обговорюються деталі розрахунку середніх перерізів $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})\rangle$ і $\langle\sigma(E_{\gamma\text{max}})_Q\rangle$ у випадку протікання фотоядерної реакції $^{27}\text{Al}(\gamma, x)^{22}\text{Na}$ по декількох каналах з утворенням одного і того ж кінцевого ядра-продукту ^{22}Na .

7.21. PRODUCT YIELDS FOR THE PHOTOFISSION OF ^{239}Pu WITH BREM?-STRAHLUNG AT 17.5 MeV BOUNDARY ENERGY

O.O. Parlag, V.T. Maslyuk, E.V. Oleynikov, I.V. Pylypchynets, A.I. Lengyel
Institute of Electron Physics, Uzhhorod, Ukraine
E-mail: eugene.oleinikov@gmail.com

One of the most important tasks of the nuclear industry is to control the non-proliferation of fissile nuclear materials at all stages of their utilization, transportation, and storage. To successfully solving this problem, reliable data on the yields of fission products obtained, especially in the photofission reactions, are required. In this report, the results of the investigation of the photofission products of the Pu-239 nucleus carried out on the electron accelerator of IEP NAS of Ukraine – microtron M-30 at the maximum bremsstrahlung energy of 17.5 MeV are presented. The semiconductor gamma-spectroscopy method has been used for measuring the relative cumulative yields of the 14 photofission fragments of Pu-239. The cumulative yields were determined relative to references – of Te-132 and I-133 products. The total yields of the products, summed over the entire mass chain, were calculated using a semi-empirical formula for the average charge distribution of fragments for a given mass number. To simulate the spectra of bremsstrahlung's photons, secondary electrons, and photoneutrons that interacted with the Pu-239 target, the GEANT4 code was used. The input of accompanying nuclear reactions to the total yield of Pu-239 photofission products for the given experimental parameters was also evaluating. The obtained experimental results of the total yields of products Pu-239 photofission were compared with the program codes GEF and Talys1.9.5 simulations. The studies were conducted to testify the sufficient harmonization of both the experimental and theoretical data obtained for Pu-239.

ВИХОДИ ПРОДУКТІВ ФОТОПОДІЛУ ^{239}Pu ПРИ МАКСИМАЛЬНІЙ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 17,5 МеВ

O.O. Парлаг, В.Т. Маслюк, Є.В. Олейніков, І.В. Пилипчинець, О.І. Лендел
Інститут електронної фізики, Ужгород, Україна
E-mail: eugene.oleinikov@gmail.com

Одним з найважливіших завдань ядерної промисловості є контроль за не-

розповсюдженням подільних ядерних матеріалів на всіх етапах їх використання (переміщення, зберігання тощо). Для успішного вирішення цієї проблеми потрібна достовірна інформація про виходи продуктів поділу. Е цьому плані продукти фотоподілу ядра Pu-239 представляють особливий інтерес. Методом напівпровідникової гамма-спектроскопії проведено вимірювання відносних кумулятивних виходів 14 продуктів при максимальній енергії гальмівного випромінювання 17,5 МеВ. Кумулятивні виходи визначалися відносно виходів уламків-реперів Te-132 та I-133. За допомогою напівемпіричної формули для розподілу середніх зарядів уламків з даним масовим числом розраховані повні виходи продуктів поділу, просумовані по всім масовим ланцюжкам. Стимуляція реакції фотоподілу Pu-239 проводилася на електронному прискорювачі ІЕФ НАН України - мікротроні М-30 при максимальній енергії гальмівного випромінювання 17,5 МеВ. Для розрахунку спектрів фотонів, вторинних електронів та фотонейтронів, які взаємодіяли з мішенню Pu-239, був використаний програмний пакет GEANT4. Виконана оцінка внеску продуктів супутніх ядерних реакцій у загальний вихід продуктів фотоподілу ядра Pu-239 при заданих параметрах експерименту. Проведене порівняння отриманих експериментальних результатів повних виходів продуктів фотоподілу Pu-239 з результатами моделювання програмними кодами GEF і Talys1.9.5. Наші результати якісно узгоджуються з результатами розрахунків за цими кодами.

7.22. OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF PHARMACEUTICALS WITH ISOTOPE ^{11}C ON THE BEAM OF ELECTRON ACCELERATOR

*I.S. Guk, O.S. Deiev, R.M. Dronov, B.I. Shramenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: bshram@kipt.kharkov.ua*

Photonuclear production of radiopharmaceuticals labeled with the isotope ^{11}C , involves the use of a beam of gamma quanta free from the charged component. The paper shows that this can be done using compact permanent NdFeB magnets. For this installation geometry, the spectral and angular characteristics of gamma-ray beams and secondary electrons after the converter are calculated. With a magnetic field of 0.5 T, the possibility of removing secondary electrons from the trajectory of the gamma ray beam is realized. Activity of radiopharmaceuticals that develops in the working target is sufficient for the diagnosis and treatment of oncological neoplasms.

ОПТИМІЗАЦІЯ НАПРАЦЮВАННЯ ФАРМПРЕПАРАТІВ З ІЗОТОПОМ ^{11}C НА ПУЧКУ ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ

*I.S. Guk, O.S. Deiev, R.M. Dronov, B.I. Shramenko
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: bshram@kipt.kharkov.ua*

Отримання фотоядерним способом РФП, мічених ізотопом ^{11}C , передбачає застосування пучку гамма-квантів очищеного від зарядженої компоненти. В роботі показано, що це може бути зроблено із застосуванням компактних постійних магнітів на основі сплаву NdFeB. Для даної геометрії установки розра-

ховані спектральні та кутові характеристики пучків гамма-квантів та вторинних електронів після конвертора. При величині магнітного поля 0,5 Тл реалізується можливість видалити вторинні електрони від траєкторії пучку гама-квантів. В робочій мішені напрацьовується активність РФП, якої достатньо для діагностики та лікування онкологічних новоутворень.

7.23. FOUR CHANNEL CONTROL MODULE GONIOMETER

*G.P. Vasiliev, S.K. Kiprich, O.A. Kapliy, G.D. Kovalenko, N.I. Maslov,
S.M. Potin, V.D. Ovchinnik, M.Y. Shulika, I.N. Shlyakhov, V.I. Yalovenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: m_shulika@kipt.kharkov.ua*

A four-channel goniometer control module has been developed and created. The module is designed to control 4 motors of the goniometer, which provide movement in azimuth, corner of the place, rotation around the axis, moving vertically for output - cleaning the target on the beam. The module consists of four independent programmable control channels for stepper motors, four logic channels for analysis of the state of limit switches and a primary power supply. Powerful field-effect transistors from International Rectifier are used as controlled power switches. To generate output signals and communicate with a computer, each control channel uses an ATmega328 microcontroller. This construction of the channel allows you to control almost any type of stepper motors, you only need to replace the control program. The software is written using the WinAVR package and has a General Public License. Data transfer between the computer and the unit is carried out via the USB interface.

ЧОТИРЬОХКАНАЛЬНИЙ МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ ГОНІОМЕТРОМ

*Г.П. Васильєв, С.К. Кіпріч, О.А. Каплій, Г.Д. Коваленко, М.І. Маслов,
С.М. Потін, В.Д. Овчинник, М.Ю. Шуліка, І.М. Шляхов, В.І. Яловенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: m_shulika@kipt.kharkov.ua*

Розроблено і створено чотирьох каналний модуль керування гоніометром. Призначений для управління 4 двигунами гоніометра, які забезпечують рух по азимут, розі місця, обертання навколо осі, переміщення по вертикалі для виведення-прибирання мішені на пучок. До складу модуля входять чотири незалежних програмованих канали управління кроковими двигунами, чотири логічних канали аналізу стану кінцевих вимикачів і джерело первинного електроживлення. У якості керованих силових ключів використовуються потужні польові транзистори фірми International Rectifier. Для формування вихідних сигналів і зв'язку з комп'ютером, в кожному каналі управління використовується мікроконтролер ATmega328. Така побудова каналу, дозволяє управляти практично будь-яким типом крокових двигунів, потрібно тільки замінити програму управління. Програмне забезпечення написано з використанням пакета WinAVR має General Public License. Передача даних між комп'ютером і блоком здійснюється по USB інтерфейсу.

Posters

P.01. LU-10M LINAC SYNCHRONIZATION SYSTEM

*V.M. Boryskin, V.O. Momot, V.V. Churikov, V.I. Solodovnikov, E.I. Zaitsev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine*

The synchronization system is based on STM32F407VG and DP83848. The system generates pulses with a frequency of 1 to 600 Hz, a length of up to 2500 ns to synchronize the operation of the klystron modulator, master oscillator, gun modulator, control equipment of LINAC. The setting of the delay of the synchronization pulses is adjustable from 0.01 to 20 μ s. Synchronization system control is implemented via USB or Ethernet network via TCP / IP protocol. A set of applications was implemented for the organization of system management and monitoring of LINAC, compatible with Windows XP/7/10.

СИСТЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ ЛУ-10М

*В.М. Борискін, В.О. Момот, В.В. Чуриков, В.І. Солодовніков, Є.І. Зайцев
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна*

Система синхронізації розроблена на основі STM32F407VG та DP83848. Система формує імпульси частотою від 1 до 600 Гц, довжиною до 2500 нс для синхронізації роботи модулятора клістрона, задаючого генератора, модулятора джерела, контрольної апаратури ЛПЕ. Установка затримки імпульсів синхронізації регулюється від 0.01 до 20 мкс. Керування системою синхронізації реалізовано за допомогою USB або Ethernet мережі за протоколом TCP/IP. Реалізований комплекс додатків для організації керування системою та спостереження за роботою ЛПЕ, сумісний з ОС Windows XP/7/10.

P.02. DEVELOPMENT OF DEVICE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ACOUSTIC DIAGNOSIS OF PROCESSES OCCURRING IN THE SUPER-CRITICAL STATE OF FLUID AND MAGNETIC SYSTEM MONITORING

*V.M. Boryskin, V.V. Churikov, V.O. Momot, O.S. Bakai
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine*

There is a problem of studying the processes that occur during the transition of the liquid to the supercritical state and in the process of studying and conducting experiments. There is also a problem of controlling the operation of the electromagnetic system. Since optical, mechanical, electronic, and other control methods are complicated by the conditions (ultra-high pressure, high temperature, a part that requires monitoring is inside a sealed irradiated metal system), the acoustic research method was chosen. As a result of the development, a device based on STM32F407VGT6, DP83848, MAX9814 was created, which allows to receive acoustic data and transmit them over giant distances via Ethernet. Applications have also been developed that allow you to visualize, store and process acoustic data: TCP server for data exchange, operator application, application for processing stored data using statistical and spectral analysis methods. The data of calibration and quality control of the data are given, after which a series of acoustic measurements of the supercritical water convection loop and the magnetic device in different conditions was carried out.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ
ДЛЯ АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ
В НАДКРИТИЧНОМУ СТАНІ РІДИНИ, ТА КОНТРОЛЮ РОБОТИ
МАГНІТНОГО ПРИСТРОЮ

В.М. Борискін, В.В. Чуриков, В.О. Момот, О.С. Бакай
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна

Постає проблема вивчення процесів, що відбуваються під час переходу рідини у надкритичний стан та у процесі вивчення та проведення експериментів. Також існує проблема контролю роботи системи електромагнітного пристрою. Так як оптичний, механічний, електронний, та інші методи контролю ускладнені за умовами (надвисокий тиск, висока температура, знаходження частини, що потребує контролю всередині герметичної металевої системи та знаходиться в умовах опромінення) було обрано акустичний метод дослідження. В результаті розробки було створено пристрій на базі STM32F407VGT6, DP83848, MAX9814 що дозволяє отримувати акустичні дані та передавати їх на значні відстані за допомогою мережі Ethernet. Також були розроблені додатки, що надають змогу візуалізувати, зберігати та опрацьовувати акустичні дані: ТСП-сервер для обміну даними, додаток оператора, додаток для опрацювання збережених даних з використанням методів статистичного та спектрального аналізу. Приводяться дані калібрування та перевірки якості даних, після чого була проведена серія акустичних вимірів роботи надкритичної водної конвекційної петлі та магнітного пристрою в різних умовах.

P.03. TRANSITION RADIATION OF A RELATIVISTIC ELECTRON BUNCH
ON A SEMI-INFINITE METAL CYLINDER

V.A. Balakirev, I.N. Onishchenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vabalakirev@rambler.ru

The transition radiation of a relativistic electron bunch is considered when it collides with the end face of a semi-infinite ideally conductive cylinder. Expressions for the electric field strength of electromagnetic radiation in the wave zone are obtained. It is shown that this expression contains two terms. The first term describes the actual transition electromagnetic radiation of the electron bunch. This radiation is primarily determined by the properties and parameters of the electron bunch itself. The radiation is directed at a small angle to the cylinder axis (the direction of the bunch motion). The angle of radiation is inversely proportional to the relativistic factor of the bunch, and the strength of the electric (magnetic) field in this direction is proportional to the relativistic factor. The second term describes the radiation of the current induced on the surface of a perfectly conducting cylinder and propagating along the cylinder at the speed of light in vacuum. The strength of this field has an integrable singularity (is equal infinity) strictly along the surface of the cylinder. This singularity is well known in electrodynamics and is due to the guiding properties of a perfectly conducting cylinder. The spatial structure (directional pattern) of the electromagnetic radiation of the surface current weakly depends on the parameters (energy) of the

bunch, and is mainly determined by the geometry of the considered cylindrical antenna. The shape of the radiated electromagnetic pulse, its total energy and the efficiency of the bunch radiator have been determined.

ПЕРЕХІДНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ЕЛЕКТРОННОГО ЗГУСТКА НА НАПІВНЕСКІНЧНОМУ МЕТАЛЕВОМУ ЦИЛІНДРІ

*В.А. Балакірев, І.М. Оніщенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: vabalakirev@rambler.ru*

Розглянуто перехідне випромінювання релятивістського електронного згустку при його зіткненні з торцем напівнескінченного ідеально провідного циліндра. Отримані вирази для напруженості електромагнітного випромінювання в хвильовій зоні. Показано, що цей вислів містить два доданків. Перший доданок описує власне перехідне електромагнітне випромінювання електронного згустку. Це випромінювання визначається в першу чергу властивостями і параметрами самого електронного згустку. Випромінювання направлено під малим кутом до осі циліндра (напрямку руху згустку). Кут випромінювання обернено пропорційний релятивістському фактору згустку, а напруженість електричного (магнітного) поля в цьому напрямку пропорційна релятивістському фактору. Другий доданок описує випромінювання струму, індукованого на поверхні ідеально провідного циліндра і поширюється уздовж циліндра зі швидкістю світла у вакуумі. Напруженість цього поля має інтегровану особливість (звертається в нескінченність) строго уздовж поверхні циліндра. Ця особливість добре відома в електродинаміці і обумовлена напрямними властивостями ідеально провідного циліндра. Просторова структура (діаграма спрямованості) електромагнітного випромінювання поверхневого струму слабо залежить від параметрів (енергії) згустку, і в основному визначається геометрією розглянутої циліндричної антени. Визначено форма випромінюваного електромагнітного імпульсу, його повна енергія і ККД випромінювача.

P.04. EXCITATION OF WAKE FIELDS BY A RELATIVISTIC ELECTRON BUNCH IN AN IONIC SEMICONDUCTOR WAVEGUIDE

*V.A. Balakirev, I.N. Onishchenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vabalakirev@rambler.ru*

All crystalline compounds have a mixed covalent-ionic bond. The presence of ionic bond in semiconductor compounds will influence on the polarization properties of semiconductors and, accordingly, the frequency dispersion of the dielectric constant of semiconductors. The appearance of a phonon component in the dielectric constant, in turn, will lead to a significant change spectra of longitudinal (potential) and transverse (vortex) electromagnetic oscillations in semiconductors. In this work, we investigate the process of wake fields excitation by a relativistic electron bunch in a polar semiconductor cylindrical waveguide. The frequency spectrum and electric field strength of longitudinal plasmon-phonon wake oscillations are determined. The

frequency spectrum, the electric field strength and the spatial structure of the electromagnetic wakefield, which is a superposition of the radial harmonics of a semiconductor waveguide, have also been investigated.

ЗБУДЖЕННЯ КІЛЬВАТЕРНИХ ПОЛІВ РЕЛЯТИВІСТСЬКИМ ЕЛЕКТРОННИМ ЗГУСТКОМ В ІОННОМУ НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ХВИЛЕВОДІ

*В.А. Балакірев, І.М. Оніщенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: vabalakirev@rambler.ru*

Як відомо, всі сполуки мають змішаний ковалентно-іонний зв'язок. Наявність іонного зв'язку в напівпровідникових сполуках буде впливати на поляризаційні властивості напівпровідників і, відповідно, на частотну дисперсію діелектричної проникності напівпровідників. Поява фононної компоненти в діелектричній проникності, в свою чергу, призведе до істотної зміни спектрів поздовжніх (потенційних) і поперечних (вихрових) електромагнітних коливань в напівпровідниках. Досліджено процес збудження кільватерних полів релятивістським електронним згустком в полярному напівпровідниковому циліндричному хвилеводі. Визначено частотний спектр і напруженість електричного поля поздовжніх плазмон-фононних кільватерних коливань. Досліджено також частотний спектр, напруженість електричного поля і просторова структура електромагнітного кільватерного поля, яке є суперпозицією радіальних гармонік напівпровідникового хвилеводу.

P.05. THE PROSPECTS FOR SMALL-GAP RESONATORS BASED ON COMBINED RF FOCUSING FOR USE IN PROTON LINACS

*S.S. Tishkin, M.G. Shulika, O.M. Shulika
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua*

For high-current ion linacs operating over 10...100 MeV energy range, the use of accelerating structures that implement combined RF focusing, based on 2-, 3-gap spoke cavity and/or 5-7-gap CH-resonators is suggested. If 2-gap resonators are used, additional electrodes which create a quadrupole component of the field are introduced into the accelerating gaps. Thus, an RF focusing quadrupole element with adjustable focusing stiffness is obtained if autonomous power-supply is provided for these electrodes. Accelerating and phase stability is ensured in conventional 2-, 3-gap spoke cavities. If the resonator is a CH-structure with 5-7 accelerating gaps, the quadrupole elements are located in the first and last gaps. In this case, due to the fact that at the marginal gaps the field strength is approximately 2 times less than at the inner gaps, the electrical strength of the quadrupole gaps is provided automatically. The absence of external focusing elements and the structural simplicity of the proposed resonators makes them promising for use in accelerators operating in continuous or low-duty mode, which are built on superconducting cavities.

ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ МАЛОЗАЗОРНИХ РЕЗОНАТОРІВ З КОМБІНОВАНИМ ВЧ-ФОКУСУВАННЯМ У ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЮВАЧАХ ПРОТОНІВ

С.С. Тішкін, М.Г. Шуліка, О.М. Шуліка
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua

Для великострумових лінійних прискорювачів іонів в діапазоні енергій 10...100 МеВ запропоновано використання прискорюючих структур з комбінованим ВЧ-фокусуванням на основі 2-, 3-зазорних спицеподібних резонаторів (spoke cavity) та/або 5-7-зазорних СН резонаторів. У випадку використання 2-зазорних резонаторів до прискорюючих зазорів вводяться додаткові електроди, які створюють квадрупольну компоненту поля. У разі використання автономного живлення для електродів отримуємо ВЧ фокусуєчий квадрупольний елемент з регульованою жорсткістю фокусування. Прискорення та фазова стійкість забезпечується у звичайних 2-, 3-зазорних спицеподібних резонаторах (spoke cavity). Якщо резонатор є СН структурою з 5-7 прискорюючими зазорами, то квадрупольні елементи розташовані в першому та останньому зазорах. При цьому завдяки тому, що на крайніх зазорах напруженість поля приблизно в 2 рази менша, чим на решті зазорів, електрична міцність квадрупольних зазорів забезпечується автоматично. Відсутність зовнішніх фокусуєчих елементів та конструктивна простота запропонованих варіантів робить їх перспективними при використанні у прискорювачах, що працюють в неперервному режимі або режимі з малою скважністю, які побудовані на надпровідних резонаторах.

P.06. METHODS OF ADJUSTING FORMING LINES USING A LOW VOLTAGE THYRISTOR SWITCH

O.I. Kosoy, V.O. Mats, V.V. Mytrochenko, V.Yu. Titov, I.O. Chertishev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: Kosoy@kipt.kharkov.ua

The method of adjusting the generating lines of a powerful high-voltage pulse modulator using a thyristor switch at a charging voltage of 150 V is presented. The degree of pre-distortion is determined to obtain in the operating mode (60 kV) a voltage pulse with the required non-uniformity at the optimal value of the degaussing current of the transformer. An element of fine tuning of forming lines at operating voltage is developed and applied.

МЕТОДИКА НАЛАШТУВАННЯ ФОРМУЮЧИХ ЛІНІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ТИРИСТОРНОГО КОМУТАТОРА

O.I. Kosoy, V.O. Maц, B.B. Mитроченко, B.Ю. Титов, I.O. Чертіщев
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: Kosoy@kipt.kharkov.ua

Приведено спосіб налаштування формуючих ліній потужного високовольтного імпульсного модулятора за допомогою тиристорного ключа при зарядній

напрузі 150 В. Метод полягає у введенні у форму імпульсу модулятора при низькій напрузі перед спотворень з метою отримання високовольтного імпульсі з плоскою вершиною при робочій напрузі. Визначено ступінь перед спотворень для отримання у робочому режимі (60 кВ) імпульсу напруги з необхідною нерівномірністю при оптимальній величині струму розмагнічування трансформатора. Розроблено та застосовано елемент точного налаштування формуючих ліній при робочій напрузі.

P.07. DEVICE OF REMOTE MEASUREMENT OF THE MODE OF OPERATION OF THE HEATER OF THE ELECTRON ACCELERATOR "LU-10"

V.O. Mats, S.K. Romanovsky, Yu.O. Titarenko, V.Yu. Titov, Yu.D. Tur

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: Tur@kipt.kharkov.ua

The method of remote measurement and control of signals from an electron source is given in the work. The remote measuring device was created using NRF24L01 wireless modules and STM32 microprocessors. The transmitting device is located in the accelerator hopper, mounted on the incandescent transformer and connected to the secondary winding, the voltage of which is measured and is used for power supply. A current transformer is used to measure the incandescent current. The measured current and voltage by the ADC after software processing are transmitted to the receiving device. Of interest is the reliability of the device, which operates at a potential of 5V relative to the ground bus. Reception of the measured signals occurs directly at work with a beam.

ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ РОЗЖАРЮВАННЯ ПРИСКРЮВАЧА «ЛУ-10»

В.О. Мац, С.К. Романовський, Ю.О. Титаренко, В.Ю. Тітов, Ю.Д. Тур

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

E-mail: Tur@kipt.kharkov.ua

Приведено методику дистанційного вимірювання та контролю сигналів з джерела електронів. Пристрій дистанційного вимірювання створено з використанням бездротових модулів NRF24L01 та мікропроцесорів STM32. Передатковий пристрій розташований у бункері прискорювача, встановлений на трансформаторі розжарювання та підключений до вторинної обмотки, напруга якої вимірюється та використовується для живлення. Для вимірювання струму розжарювання використовується трансформатор струму. Виміряні струм та напруга за допомогою АЦП після програмної обробки передаються на приймальний пристрій. Викликає інтерес надійність пристрою, який працює під потенціалом 5V відносно земляної шини. Прийом виміряних сигналів відбувається безпосередньо при роботі з пучком.

P.08. SHORT SOLENOID DESIGN FOR ACCELERATOR LUE-40

*S.A. Perezhogin, V.A. Kushnir, V.V. Mytrochenko, L.I. Selivanov,
V.Ph. Zhiglo, A.M. Opanasenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: psa@kipt.kharkov.ua*

Simulation of the electron beam dynamics in an accelerator LUE-40 has been carried out when a short solenoidal field is imposed on the initial part of the 1st accelerating section. The use of a short solenoid along the initial part of the accelerating section makes it possible to ensure a small transverse size of the beam inside the accelerating section and, as a consequence, to reduce the degradation of the transverse effective emittance. The calculation of a short solenoid is made using numerical simulation methods. The design and system for winding the solenoid directly onto the accelerating section have been developed.

РОЗРОБКА КОРОТКОГО СОЛЕНОЇДА ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧА ЛУЕ-40

*С.О. Пережогін, В.А. Кушнір, В.В. Митроченко, Л.І. Селіванов,
В.Ф. Жигло, А.М. Опанасенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: psa@kipt.kharkov.ua*

Проведено моделювання динаміки електронного пучка в прискорювачі ЛУЕ-40 при накладенні короткого соленоїдального поля на початковій частині 1ої прискорювальної секції. Застосування короткого соленоїда уздовж початкової частини прискорювальної секції дозволяє забезпечити малий поперечний розмір пучка всередині прискорювальної секції і, як наслідок, зменшити деградацію поперечного ефективного емітанса. Зроблено розрахунок короткого соленоїда за допомогою методів чисельного моделювання. Розроблено конструкцію й систему намотування соленоїда безпосередньо на прискорювальну секцію.

P.09. VACUUM SYSTEM OF KLYSTRON REPAIR FACILITY FOR ELECTRON ACCELERATORS

*R.M. Dronov, M.V. Ivakhnenko, V.O. Mats, Yu.O. Titarenko, V.Yu. Titov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: romandronov@kipt.kharkov.ua*

AVRORA-type KIU-12AM klystron has been the main source of rf power for the accelerators for many decades. Despite the fact that this klystron is no longer commercially available it is still in use in NSC KIPT. Large accumulations of malfunctioning klystrons made it possible to recycle them using the donor parts, which are well preserved and still functional. Klystron repair process comprises of few stages and part of these stages requires maintaining the high vacuum inside the klystron and adjacent systems. The paper describes the vacuum system intended to hold the pressure of residual gases within the required limits during the restoration process that ensures normal klystron performance in future operation.

ВАКУУМНА СИСТЕМА УСТАНОВКИ З РЕСТАВРАЦІЇ КЛІСТРОНІВ ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОНІВ

Р.М. Дронов, М.В. Івахненко, В.О. Мац, Ю.О. Титаренко, В.Ю. Тітов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: romandronov@kipt.kharkov.ua

Клістрон КІУ-12АМ типу АВРОРА протягом багатьох десятиліть був основним джерелом радіочастотної потужності для прискорювачів. Незважаючи на те, що цей клістрон більше не виготовляється, він все ще використовується у ННЦ ХФТІ. Велика кількість неприцездатних клістронів дає можливість їх реставрувати підбираючи донорські компоненти, які досі перебувають у працездатному стані. Процес ремонту клістрону складається з декількох етапів, і частина з цих етапів вимагає підтримання високого вакууму всередині клістрону та допоміжних системах. Дан опис вакуумної системи, призначеної для утримання тиску залишкових газів у необхідних межах під час процесу відновлення, що забезпечує нормальну роботу клістрону в майбутній експлуатації.

P.10. APFRFQ – AN INTEGRATED ENVIRONMENT FOR THE DEVELOPMENT OF HIGH-CURRENT LINEAR ION ACCELERATORS WITH RF FOCUSING

S.S. Tishkin, M.G. Shulika, O.M. Shulika
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua

Presented is an interactive environment, APFRFQ, for calculating linear accelerators with RF focusing. APFRFQ allows one to make calculations of linac channels of any complexity not only for the well-known methods of ensuring stability of charged particle beam acceleration by RF field but also to investigate the most common case of RF focusing, namely, the combination of alternating-phase focusing and RF quadrupole one. New methods implemented into the program are the following: (1) the method to construct an irregular (quasi-periodic) accelerating channel as a set of separate consistent focusing periods. In this case, the focusing periods themselves may differ from each other by the number of accelerating gaps, the phase distribution of synchronous particles and the accelerating field amplitudes along the gaps, the gap coefficient, the diameter of the channel aperture, etc.; (2) the “local stability” method, which allows calculating the radial stability of motion not only in the vicinity of a synchronous particle but also for nonequilibrium particles trapped in the acceleration mode along the longitudinal motion, taking into account their phase motion for channels with real distribution of accelerating fields and Coulomb forces. Moreover, the similar analysis can be carried out for any group of focusing periods, including the whole accelerating structure; (3) the method to match the input parameters of a beam that has an arbitrary six-dimensional phase distribution to the parameters of any (irregular) accelerating structure with the space charge taken into account.

APFRFQ – ІНТЕГРОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ РОЗРОБКИ
ВЕЛИКОСТРУМОВИХ ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ
ІОНІВ З ВЧ-ФОКУСУВАННЯМ

С.С. Тішкін, М.Г. Шуліка, О.М. Шуліка
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: tishkin@kipt.kharkov.ua

Представлено інтерактивне середовище для розрахунку прискорювачів з фокусування ВЧ-полем APFRFQ, яке дозволяє робити розрахунки трактів лінійних прискорювачів будь-якої складності не тільки для відомих методів забезпечення стійкості прискорення пучків заряджених частинок за допомогою ВЧ поля, але й досліджувати найбільш загальний випадок фокусування ВЧ-полем – комбінації змінно-фазового та ВЧ-квадрупольного фокусування. Нові методи, що використовуються в цьому середовищі, є наступні: (1) метод побудови нерегулярного (квазіперіодичного) прискорюючого каналу лінійного прискорювача, в якому прискорюючий тракт представлено як сукупність окремих узгоджених між собою фокусуєчих періодів. При цьому самі фокусуєчі періоди можуть відрізнятися один від іншого кількістю прискорюєчих зазорів, розподіленням фаз синхронних частинок та амплітуд прискорюєчих полів в них, коефіцієнтом зазорів, діаметром апертури каналу тощо; (2) метод «локальної стійкості», який дозволяє визначити радіальну стійкість руху не тільки навколо синхронної частинки, але також й для нерівноважних частинок, що захоплені в режим прискорення вздовж повздовжнього руху з урахуванням їх фазового руху для каналів з реальним розподіленням прискорюєчих полів та сил кулонівської взаємодії. Причому подібний аналіз можна провести для будь-якої групи фокусуєчих періодів, включаючи всю структуру в цілому; (3) метод узгодження вхідних параметрів пучка, що має довільне шестивимірне фазове розподілення, з будь-якою (нерегулярною) прискорюєчою структурою з урахуванням сил об'ємного заряду.

P.11. FORMATION OF ELECTRON BEAMS WITH GIVEN SPATIAL
DISTRIBUTIONS BY THE SCANNER

V.G. Rudychev, V.T. Lazurik, Y.V. Rudychev
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vrudychev@karazin.ua

The electron beam distribution on the surface of the irradiated objects was investigated, when the values of the scanners magnetic field along the coordinates X and X, Y changed with time. The analytical and numerical methods of calculation of the electron trajectories in the time-varying magnetic fields at different energies and angles of the electrons, entering the field area, were used. The types the magnetic fields time dependences, which provided the given distributions of electron beams on the surfaces of the irradiated objects and on the bremsstrahlung converters, were determined. The influence of the energy and angular spread in the electron beam on the change in the particle density on the surface was analyzed. The influence of these factors can be compensated for by changing the magnetic field. For the (X, Y)-scanner,

which generates electron beams: the main (incident perpendicular to the object) and additional (angles of incidence are $60\dots75^\circ$ from the perpendicular to the object), a significant influence of the energy spread on the angles of incidence of the additional beam is shown. The compensation for the influence of the energy spread on the dose inhomogeneity in depth is possible, when the thickness of the irradiated object changes. The conditions for the use of Panovsky lenses are determined.

ФОРМУВАННЯ ПУЧКІВ ЕЛЕКТРОНІВ З ЗАДАНИМ ПРОСТОРОВИМ РОЗПОДІЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ СКАНЕРА

В.Г. Рудичев, В.Т. Лазурік, Є.В.Рудичев

Харківський національний університет ім. Каразіна, Харків, Україна

E-mail: vrudychev@karazin.ua

Досліджено розподіл потоків електронів на поверхні об'єктів що опромінюються при зміні величин магнітного поля сканерів вздовж координат X та Y , Z від часу. Використовувалися аналітичні і чисельні методи розрахунку траєкторій електронів в умовах, що змінюються від часу магнітних полях при різних енергіях та кутах вльоту електронів в область поля. Визначено види залежностей від часу магнітних полів, які забезпечують задані розподіли потоків електронів на поверхнях об'єктів що опромінюються, та на конвертерах гальмівного випромінювання. Проаналізовано вплив енергетичного і кутового розкиду пучку електронів на зміну щільності частинок на поверхні. Вплив цих факторів може бути компенсовано зміною магнітного поля. Для (X, Y) -сканера, що створює пучки електронів: основний (падаючий перпендикулярно об'єкту) і додатковий (кути падіння $60\dots75^\circ$ від перпендикуляра до об'єкта), показано суттєвий вплив енергетичного розкиду на кути падіння додаткового пучка. Компенсація впливу енергетичного розкиду на неоднорідність дози по глибині можлива при зміні товщини об'єкту що опромінюється. Визначено умови застосування лінз Пановського.

P.12. FORMATION OF CHARGE AND CURRENT EXTERNAL SOURCES UNDER RELATIVISTIC POINT CHARGE NORMAL INCIDENCE ONTO THE BOUNDARY OF THE PERFECTLY CONDUCTIVE HALF-SPACE

S.D. Prijmenko

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: sprijmenko@kipt.kharkov.ua

The study of the transition radiation associated with the cathode and collector of accelerating devices is important in the accelerator techniques. An uniform motion of the relativistic point charge along the normal to the perfectly conductive half-space being crossing its boundary at a constant velocity is under consideration. With the assumption that the volume charge density in the perfect conductor vanishes, the solutions of an inhomogeneous wave equation in the space-time representation for scalar and vector potentials have been obtained. They are in the form of retarded volume potentials. The charge-and-current volume densities act as external sources, which discretely vanish at the half-space boundary. The charge “vanishing” in the open vol-

ume forms a ball waves of scalar and vector potentials with a back front as a functions of time and distance. The boundary conditions on a perfectly conductive body are used for non-stationary fields. The surface charge density with a delta-shaped space and discrete time distributions is formed at the point where the point charge crosses the boundary of the perfectly conductive half-space. The external charge volume density arises at the boundary due to the delta-shaped connection between the surface and volume charges. The “birth” of a charge at the boundary forms a ball wave of a scalar potential with a front as a function of time and distance.

ДО ФОРМУВАННЯ СТОРОННІХ ДЖЕРЕЛ ЗАРЯДУ І СТРУМУ ПРИ
НОРМАЛЬНОМУ ПАДІННІ РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ТОЧКОВОГО ЗАРЯДУ
НА МЕЖУ ІДЕАЛЬНО ПРОВІДНОГО ПІВПРОСТОРУ

С.Д. Прийменко
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: sprijmenko@kipt.kharkov.ua

В прискорювальній техніці актуальним є вивчення перехідного випромінювання, яке має місце на катоді і колекторі прискорювальних пристроїв. Розглянуто рівномірний рух релятивістського точкового заряду по нормалі до ідеально провідного півпростору при перетині його межі з постійною швидкістю. У припущенні обернення в нуль об'ємної густини заряду в ідеальному провіднику отримано розв'язок неоднорідного хвильового рівняння в просторово-часовому зображенні для скалярного і векторного потенціалів. Останні мають вигляд загаяних об'ємних потенціалів. В якості сторонніх джерел виступають об'ємні густини заряду і струму, які дискретно перетворюються в нуль на межі півпростору. “Зникнення” заряду в незамкненому об'ємі формує кульові хвилі скалярного і векторного потенціалів з заднім фронтом як функції часу і відстані. Граничні умови на ідеально провідному тілі для нестационарних полів використовуються. Поверхнева густина заряду з дельта-подібним просторовим і дискретним часовим розподілами формується в місці перетину точковим зарядом межі ідеально провідного півпростору. Завдяки дельта-подібного зв'язку між поверхневим і об'ємним зарядами на межі виникає об'ємна густина стороннього заряду. “Народження” заряду на межі формує кульову хвилю скалярного потенціалу з переднім фронтом як функцію часу і відстані.

P.13. FORMATION OF OPTICAL IMAGES SYNCHROTRON RADIATION
QUANTUM FLUX OF RELATIVISTIC ELECTRONS IN THE GENERATOR
“NESTOR”

O.C. Mazmanishvili, N.V. Moskalets
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: mazmanishvili@gmail.com

When setting up physical experiments involving the use of the polarization properties of synchrotron radiation (SR) or a monoenergetic photon beam, a detailed calculation of the spectral angular distribution of SR and its polarization components is of interest. Taking into account the size of the beam shows that in real conditions the radiation propagating in the plane of the equilibrium orbit will not be completely po-

larized, and the shape and dimensions of the angular distribution of radiation will be distorted. The motion of electrons in the uniform magnetic field and SR of the beam of relativistic particles in the storage ring of the “NESTOR” are considered. The influence of the size of the electron beam with the energy $E=225$ MeV in the 6-dimensional configuration space on the formation of images of the flux of quanta of SR is analyzed. It is shown that the main contribution to the formation of images is made by the two-dimensional distribution of particles along the vertical and vertical oscillations. A software tool has been developed, the use of which made it possible to simulate the process of forming optical images by the flux of quanta of SR. The formation of images of the radiation of electrons with an energy of $E=225$ MeV with a change in the longitudinal distance L to the registration plane is considered. It is determined that at small longitudinal distances the main contribution to the image is made by the vertical distribution of particles in the beam. With an increase in the basic distance L , the contribution of the distribution of particles over vertical oscillations increases, which becomes decisive for large L . Numerical simulation of image formation has been carried out. For the base distance of 300 cm and beam parameters with the vertical root mean square size σ_y of 0.2 mm and a vertical root mean square size σ_y' of 0.15 mrad, the family of angular distributions is presented, which are presented in the form of two-dimensional histograms for wavelengths, $\lambda = 0.5 \lambda_c$, $\lambda = \lambda_c$, $\lambda = 2\lambda_c$, where λ_c is the critical wavelength of SR. The dimensions of the optical hatch are obtained, the size of which makes it possible to reliably register the entire flux of quanta of SR for the indicated registration characteristics.

**ФОРМУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОТОКОМ КВАНТІВ
СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ
ЕЛЕКТРОНІВ У ГЕНЕРАТОРІ «НЕСТОР»**

*О.С. Мазманішвілі, Н.В. Москалець
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: mazmanishvili@gmail.com*

При постановці фізичних експериментів, пов'язаних з використанням поляризаційних властивостей синхротронного випромінювання (СВ) або моноенергетичного пучка фотонів, представляє інтерес детальний розрахунок спектрального кутового розподілу СВ і його поляризаційних компонент. Урахування розмірів пучка показує, що в реальних умовах випромінювання, що поширюється в площині рівноважної орбіти, не буде повністю поляризованим, а форма і розміри кутового розподілу випромінювання будуть спотворені. Розглянуто рух електронів в однорідному магнітному полі і СВ пучка релятивістських частинок в накопичувачі “NESTOR”. Проаналізовано вплив на формування зображень потоку квантів СВ розмірів пучка електронів з енергією $E=225$ MeV в 6-вимірному конфігураційному просторі. Показано, в формування зображень основний внесок вносить двовимірний розподіл часток по вертикалі і по вертикальним коливанням. Розглянуто формування зображень випромінювання електронів з енергією $E=225$ MeV при зміні поздовжньої відстані L до площини реєстрації. Визначено, що на малих поздовжніх відстанях основний внесок в зображенні вносить вертикальний розподіл часток в пучку. Зі збільшенням базо-

вої відстані L зростає внесок розподілу часток по вертикальним коливанням, який для великих L стає визначальним. Проведено чисельне моделювання формування зображень. Для базової відстані в 300 см і параметрів пучка з вертикальним середньоквадратичним розміром σ_y , що становить 0,2 мм, і середньоквадратичним розміром $\sigma_y' = 0.15$ мрад, наведено сімейство кутових розподілів, які оформлені у вигляді двовимірних гістограм для довжин хвиль $\lambda = 0.5 \lambda_c$, $\lambda = \lambda_c$, $\lambda = 2\lambda_c$, де λ_c – критична довжина хвилі СВ. Отримано розміри оптичного люка, величина яких дозволяє гарантовано реєструвати весь потік квантів СВ для зазначених характеристик реєстрації.

P.14. IMAGE CONVERSION OF SIGMA- AND PI- COMPONENTS OF RELATIVISTIC ELECTRON RADIATION AND METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PHOTON FLUX IN THE SYNCHROTRON RADIATION OUTPUT CHANNEL

O.S. Mazmanishvili, N.V. Moskalets, A.A. Shcherbakov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: mazmanishvili@gmail.com

The detailed calculation of the spectral-angular distribution of synchrotron radiation (SR) of relativistic electrons in the storage ring is decisive when it is used for metrological purposes. Taking into account the size of the beam shows that the shape and size of the angular distribution will be modified. The motion of electrons and SR of an electron beam in the “NESTOR” storage ring and the formation of images are considered. The simulation of optical images is carried out and the images of the radiation of electrons with an energy of $E=225$ MeV are considered with a change in the longitudinal distance to the registration plane. A family of angular distributions in the form of two-dimensional histograms is presented. The dimensions of the optical hatch are obtained, the size of which makes it possible to reliably record the entire flux of SR quanta for the indicated registration characteristics.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ СИГМА- І ПІ-КОМПОНЕНТ ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ І МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКУ ФОТОНІВ У КАНАЛІ ВИВОДУ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

O.S. Мазманішвілі, Н.В. Москалець, О.О. Щербаков
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: mazmanishvili@gmail.com

Детальний розрахунок спектрально-кутового розподілу синхротронного випромінювання (СВ) релятивістських електронів в накопичувачі є визначальним при використанні його в метрологічних цілях. Урахування розмірів пучка показує, що форма і розміри кутового розподілу будуть видозмінені. Розглянуто рух електронів і СВ пучка електронів в накопичувачі “НЕСТОР” і формування зображень. Проведено моделювання оптичних зображень і розглянуті зображення випромінювання електронів з енергією $E=225$ MeV при зміні поздовжньої відстані до площини реєстрації. Наведено сімейство кутових розподілів оформ-

лених у вигляді двовимірних гістограм. Отримано розміри оптичного люка, величина яких дозволяє гарантовано реєструвати весь потік квантів СВ для зазначених характеристик реєстрації.

P.15. TWO-PARAMETRIC BEAM MODEL FOR DOSIMETRY OF THE PROCESS OF ELECTRON IRRADIATION OF MATERIALS WITH LOW DENSITY AND ATOMIC NUMBER

*V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G. Popov, Z. Zimek
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
E-mail: lazurik@hotmail.com*

The work is devoted to studying the possibility of using a two-parametric model of an electron beam to describe the depth distributions of the electron dose in materials with a low density and an effective atomic number. In this model, the parameters are determined by fitting the semi-empirical model (PFSEM-method) to the results of measurements of the depth-dose distribution in a dosimetric wedge. The depth-dose distributions in a birchwood wedge were measured at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology in Warsaw, Poland. The parameters of the electron beam incident on the wedge were determined by the PFSEM method. The Monte Carlo simulations of the depth-dose distribution in the wedge for the process of electron irradiation, the characteristics of which are determined by the PFSEM method, have been carried out. It is shown that there is a satisfactory agreement between the measurement results and the Monte Carlo simulation of the depth-dose distribution. The advantages of describing depth-dose distributions in a wedge based on a two-parametric model of an electron beam in comparison with traditional methods of polynomial approximation of measurement results are discussed.

ДВОПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПУЧКА ДЛЯ ДОЗИМЕТРІЇ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ І АТОМНИМ НОМЕРОМ

*В.Т. Лазурик, В.М. Лазурик, Г. Попов, З. Зимек
Харківський національний університет ім. Каразіна, Харків, Україна
E-mail: lazurik@hotmail.com*

Робота присвячена дослідженню можливості використання двопараметричної моделі електронного пучка для опису розподілу дози електронів по глибині в матеріалах з низькою щільністю і ефективним атомним номером. У цій моделі параметри визначаються шляхом підгонки напівемпіричної моделі (PFSEM-метод) до результатів вимірювань розподілу дози по глибині в дозиметричному клині. Розподіл дози по глибині в клині з березової деревини було виміряно в Інституті ядерної хімії та технологій в Варшаві, Польща. Параметри падаючого на клин електронного пучка визначалися методом PFSEM. Проведено моделювання методом Монте-Карло розподілу дози по глибині в клині для процесу електронного опромінення, характеристики якого визначені методом PFSEM. Показано, що існує згода між результатами вимірювань і моделюванням методом Монте-Карло розподілу дози по глибині. Обговорюються переваги опису

розподілу дози по глибині в кліні на основі двопараметричної моделі електронного пучка в порівнянні з традиційними методами поліноміальної апроксимації результатів вимірювань.

P.16. OPTIMIZATION OF BREMSSTRAHLUNG CHARACTERISTICS FOR IRRADIATING THICK OBJECTS

*V.G. Rudychev, M.O. Azarenkov, I.O. Girka, Y.V. Rudychev
V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vrudychev@karazin.ua*

The possibility of formation of the bremsstrahlung (BS) characteristics, which provide the maximum thickness of the irradiated objects at the given value of the dose uniformity ratio (DUR), was studied. The generation of BS by 7.5 MeV electrons in a three-layer converter with different thicknesses of Ta, water, and Fe was calculated by the Monte Carlo method (PENELOPE package). The changes in the BS yields and spectral characteristics at different angles were investigated. It is shown, that the average BS energy E_{av} decreases with increase of the angle in respect of the perpendicular to the irradiated object. An increase in the Ta layer thickness leads to an increase in E_{av} . The depth distributions of the doses in polyethylene, produced by BS incident to the surface of the object at different angles, were calculated. It is shown, that the angles of incidence and the BS spectra, corresponding to these angles, affect the type of the depth dose distribution in the irradiated polyethylene. Using the technique proposed by the authors, the dose distributions at bilateral irradiation with bremsstrahlung, produced by an extended converter, were calculated. It is shown, that the depth dose distribution in polyethylene depends on the angles interval of the BS incident to the object for the given parameters of the converter. The optimal parameters of the converter and the BS angle intervals, at which the thickness of polyethylene is maximum (double-sided irradiation) at the given value of DUR, were determined.

ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ОПРОМІНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВЕЛИКОЇ ТОВЩИНИ

*В.Г. Рудичев, М.О. Азаренков, І.О. Гірка, Є.В. Рудичев
Харківський національний університет ім. Каразіна, Харків, Україна
E-mail: vrudychev@karazin.ua*

Вивчено можливість формування характеристик гальмівного випромінювання (ГВ) які забезпечують максимальну товщину об'єктів що опромінюються при заданому значенні dose uniformity ratio (DUR). Методом Монте-Карло (пакет PENELOPE) розраховано генерацію ГВ електронами з енергією 7,5 MeV у тришаровому конвертері з різними товщинами Ta, води і Fe. Досліджено зміни виходів і спектральних характеристик ГВ під різними кутами. Показано, що E_{av} (середня енергія ГВ) з ростом кута щодо перпендикуляра до об'єкта, що опромінюється, падає. Збільшення товщини шару Ta призводить до зростання E_{av} . Виконано розрахунки розподілів доз по глибині поліетилену, створювані ГВ, падаючим на поверхню об'єкта під різними кутами. Показано що кути

падіння і відповідні цим кутах спектри ГВ впливають на вид розподілу дози по глибині поліетилену, що опромінюється. Використовуючи методику, запропоновану авторами, виконані розрахунки дозових розподілів при двосторонньому опроміненні гальмівним випромінюванням від протяжного конвертера. Показано, що розподіл дози по глибині поліетилену залежить від інтервалу кутів ГВ падаючого на об'єкт для заданих параметрів конвертера. Визначено оптимальні параметри конвертера і інтервали кутів ГВ, при яких максимальна товщина поліетилену (двостороннє опромінення) при заданому значенні DUR.

P.17. RADIATION STIMULATION OF THE CATALYTIC ACTIVITY OF ZIRCONIUM DIOXIDE NANOPARTICLES DURING THE CONVERSION OF HYDROCARBONS

*N.P. Dikiy, Yu.V. Lyashko, O.P. Medvedeva, D.V. Medvedev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua*

The development of effective catalysts for a higher yield of low-molecular-weight products in the conversion of hydrocarbons should be associated with the actively developing area of nanotechnology, in particular, based on metal nanooxides in an activated state. Despite the variety of available opportunities in this direction, our proposed scheme for the direct catalytic oxidation of hydrocarbons to oxygen-containing products, such as alcohols, ketones, aldehydes, etc., in the presence of nanoparticles (NPs) of zirconium dioxide can be highly practical. The mutual enhancement of the action of two factors - a high concentration of active centers on the NP surface and large ionization losses of Auger electrons in the activated state should lead to an increase in the catalytic activity of this catalyst. Irradiation of the samples with bremsstrahlung radiation on the linac ($E = 22$ MeV, $I = 500$ microA) led to the activation of Zr according to the reactions $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$, $^{96}\text{Zr}(\gamma, n)^{95}\text{Zr}$. Auger electrons with energies of 1.91 (78.6%) and 12.7 (19.2%) keV assist the decay of ^{89}Zr . The catalytic activity of the initial and g-activated ZrO_2 NPs in the conversion of hydrocarbons was being estimated from the optical density products, which were given off emanated in the range from 200 to 600 nm. It is shown that in all reactions a higher and faster yield of low-molecular hydrocarbon products (at $\lambda = 245, 280, 325, 395$ nm) is found due to an increase in the catalytic activity of ZrO_2 after g-activation. The observed effect can be explained by the high ionization losses of Auger electrons from the ^{89}Zr isotope, as well as by the chemisorption of oxygen O_2^- on the catalyst surface.

РАДІАЦІЙНА СТИМУЛЯЦІЯ КАТАЛІТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ НАНОЧАСТИНОК ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ В ПРОЦЕСАХ КОНВЕРСІЇ ВУГЛЕВОДНІВ

*М.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, О.П. Медведєва, Д.В. Медведєв
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua*

Розробка ефективних каталізаторів для більш високого виходу низькомолекулярних продуктів при конверсії вуглеводнів може бути пов'язана з новим на-

прямою нанотехнологій, зокрема, на основі наноксидів металів в активованому стані. Незважаючи на різноманіття наявних можливостей в цьому напрямку, високу практичну реалізацію представляє схема прямого каталітичного окислення вуглеводнів на такі продукти, як спирти, кетони, альдегіди та ін. в присутності вихідних та активованих наночастинок (НЧ) діоксиду цирконію. Взаємне посилення дії двох факторів - високої концентрації активних центрів на поверхні g-активованих НЧ ZrO_2 та великих іонізаційних втрат Оже електронів може привести до підвищення каталітичної активності даного каталізатора. Опромінення зразків гальмівним g-випромінюванням на ЛПЕ ($E = 22$ MeV, $I = 500$ мкА) приводило до активації Zr по реакціях $^{90}Zr(\gamma, n)^{89}Zr$, $^{96}Zr(\gamma, n)^{95}Zr$. Оже електрони з енергією 1,91 (78,6%) і 12,7 (19,2%) кеВ сприяють розпаду ^{89}Zr . Каталітична активність вихідних та g-активованих НЧ ZrO_2 в конверсії вуглеводнів оцінювалася по оптичній щільності виділених продуктів в діапазоні від 200 до 600 нм. Показано, що у всіх реакціях виявляється більш високий і швидкий вихід низькомолекулярних вуглеводних продуктів (при $\lambda = 245, 280, 325, 395$ нм) за рахунок підвищення каталітичної активності g-активованих НЧ ZrO_2 . Одержаний результат можна пояснити високими іонізаційними втратами Оже електронів від ізоотопу ^{89}Zr , а також хемосорбцією кисню O_2 - на поверхні каталізатора НЧ ZrO_2 .

P.18. THE USE OF HIGH-CURRENT LINAC FOR DETERMINATION THE $^{44}Ca/^{48}Ca$ ISOTOPE RATIO IN CORRELATION WITH ANOTHER ELEMENTS IN DIFFERENT HUMAN PATHOLOGIES

N.P. Dikiy, Yu.V. Lyashko, O.P. Medvedeva, D.V. Medvedev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua

Determination of the $^{44}Ca/^{48}Ca$ isotopic ratio in correlation with essential and toxic elements in biological objects can be as additional test in the diagnosis, therapy, and prevention of various human diseases. This test will make it possible to establish an unbalance of synergists and antagonists elements in the early stage of bone tissue diseases in children, in a tumor process, as well as in various environmentally dependent diseases. The objects were activated on the linac with $E = 22$ MeV, $I = 150$ μ A. The intensities of the γ -spectra lines on the Ge(Li)-detector with an energy resolution of 3.2 keV at the 1333 keV line were used to estimate the isotopic ratio $^{44}Ca/^{48}Ca$ and other elements. To solve these problems, nuclear reactions were used $Ca(\gamma, n)^{47}Ca$ - ^{47}Sc , $^{44}Ca(\gamma, p)^{43}K$, $^{68}Zn(\gamma, p)^{67}Cu$, $^{204}Pb(\gamma, n)^{203}Pb$, $^{127}I(\gamma, n)^{126}I$, $^{90}Zr(\gamma, n)^{89}Zr$, $^{58}Ni(\gamma, n)^{57}Ni$. The detection limit for determining the content of elements was 0.1...1 μ g/g. The results obtained on the determination of the $^{44}Ca/^{48}Ca$ isotopic ratio made it possible to establish the intensity of Ca^{2+} circulation through the cell membranes. Ion Ca^{2+} is the main universal mediator of bioregulatory signals in the cell. An increase or decrease in the near-membrane Ca^{2+} concentration represents a long-term calcium signal, which significantly alters the intracellular control cascades, contributes to the disruption of the membrane barrier function for Ca^{2+} ions, which transmit signals from outside. Such parameters of gamma activation analysis

as multielement, high sensitivity, and proximate analysis in the correlation of the $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ isotopic ratio with the content of other elements, as well as with the results of clinical, biochemical, and physical indicators, made it possible to monitor the state of bone tissue in a significant mass of inhabitants of the Kharkiv region, depending on the epidemiological and ecological situation, as well as a differential diagnosis of some oncological diseases.

ВИКОРИСТАННЯ ПОТУЖНОСТРУМОВИХ ЛПЕ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІЗОТОПНОГО ВІДНОШЕННЯ $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ В КОРЕЛЯЦІЇ З ІНШИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ПРИ РІЗНИХ ПАТОЛОГІЯХ ЛЮДИНИ

*М.П. Дикий, Ю.В. Ляшко, О.П. Медведєва, Д.В. Медведєв
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ndikiy@kipt.kharkov.ua*

Визначення ізотопного відношення $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ в кореляції з есенціальними і токсичними елементами в біооб'єктах може з'явитися додатковим тестом в діагностиці, терапії та профілактиці різних захворювань людини. Даний тест дозволить встановити дисбаланс елементів синергістів та антагоністів при ранньому виникненні порушень кісткової тканини у дітей, при пухлинному процесі, а також при різних екологічно залежних захворюваннях. Активація об'єктів проведена на ЛПЕ з $E = 22$ МеВ, $I = 150$ мкА. По інтенсивності ліній γ -спектрів на Ge(Li)-детектор з енергетичним розділенням 3,2 кеВ по лінії 1333 кеВ, отримані оцінки ізотопного відношення $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ та інших елементів. Для вирішення цих завдань були використані ядерні реакції $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca} - ^{47}\text{Sc}$, $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$, $^{68}\text{Zn}(\gamma, p)^{67}\text{Cu}$, $^{204}\text{Pb}(\gamma, n)^{203}\text{Pb}$, $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$, $^{127}\text{I}(\gamma, n)^{126}\text{I}$, $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$, $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$. Межа виявлення при визначенні вмісту елементів складає $\sim 0,1 \dots 1$ мкг/г. Отримані результати по визначенню ізотопного відношення $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ дозволили встановити інтенсивність циркуляції Ca^{2+} через мембрани клітин. Іон Ca^{2+} є основним універсальним посередником біорегуляторних сигналів в клітині. Збільшення або зменшення при мембранній концентрації Ca^{2+} являє собою тривалий кальцієвий сигнал, який суттєво змінює внутрішньоклітинні каскади управління, а також сприяє порушенню бар'єрної функції мембран для іонів Ca^{2+} . Такі параметри гама-активаційного аналізу як багатоелементність, висока чутливість і експресність в кореляції з ізотопним відношенням $^{44}\text{Ca}/^{48}\text{Ca}$ з вмістом інших елементів, а також з результатами клінічних, біохімічних і фізичних показників, дозволили провести моніторинг стану кісткової тканини у значного масиву жителів Харківського регіону в залежності від епідеміологічної та екологічної обстановки, а також моніторинг диференціальної діагностики деяких онкологічних захворювань.

P.19. POLARIZATION OF DIFFRACTION RADIATION FROM THE CHARGED PARTICLE AND THE BUNCH OF PARTICLES ON THE METAL SPHERE

N.F. Shul`ga¹, V.V. Syshchenko², A.I. Tarnovsky²

¹NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

²Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation

E-mail: tarnovsky@bsu.edu.ru

A method has been previously proposed for describing the diffraction radiation of the charged particle on the conductive sphere based on the method known from electrostatics. The developed approach was successfully used to calculate the polarization of the radiation. In the present report we offer a method for determining the azimuth of a trajectory of the moving particle relatively the center of the sphere using a single polarization-sensitive detector for the radiation emitted in some preselected direction. The polarization of coherent radiation produced on the sphere by a bunch of particles is also considered. It is shown that the registering of the polarization of radiation permits evaluation of the positions of the edges of the bunch in respect to the center of the sphere.

P.20. FACILITY AND RESEARCHES RESULTS OF THE FRICTIONAL CHARACTERISTICS OF THE PAIR METAL –IRRADIATED CERAMICS

V.I. Butenko, S.M. Dubniuk, O.F. Dyachenko, O.V. Manuilenko,

K.V. Pavlii, B.V. Zajtsev

NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

E-mail: kvint@kipt.kharkov.ua

The technique and facility for studying of frictional characteristics of the pair metal – irradiated ceramics is developed. Parameters of samples irradiation on the linear accelerator of helium ions with energies 0.12 and 4 MeV are resulted and samples from TiO₂ and Al₂O₃ are irradiated at a beam energy of 0.12 MeV. For the irradiated samples profiles of damageability and distribution of target atoms along of helium ions range and as dispersion factors are calculated and dependences of the sprayed atoms quantity along of ions range are resulted. Calculations on change of samples superficial density (0...200 Å) are made. The experimental results, concerning dependences of a sliding friction factor on the cycles quantity, temperature and irradiation doses are presented. At temperature 200°C a sliding friction factor is less, than at 20°C. The irradiation leads to increase of a friction factor. From the spent calculations and microscopic researches follows that on a surface of the irradiated samples there is a metallization of structure atoms in connection with dissociation Al₂O₃ and TiO₂ to the subsequent mutual carrying over of metals and their connections. These processes on the one hand increase of ceramics wear resistance, on the other hand – increase of a friction factors at the expense of more viscous metal connections interaction. Occurrence of ceramic samples roughness and swelling ceramics as influences on frictional characteristics of the pair metal –irradiated ceramics.

УСТАНОВКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ФРИКЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРИ МЕТАЛ–ОПРОМІНЕНА КЕРАМІКА

*В.І. Бутенко, С.М. Дубнюк, О.Ф. Дьяченко, Б.В. Зайцев,
О.В. Мануйленко, К.В. Павлій
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: kvint@kipt.kharkov.ua*

Розроблено методику та установку для вивчення фрикційних характеристик пари метал – опромінена кераміка. Наведено параметри опромінення зразків на лінійному прискорювачі іонів гелію з енергіями 0,12 і 4 МеВ та опромінено зразки з TiO_2 і Al_2O_3 при енергії пучка 0,12 МеВ. Для опромінених зразків розраховано профілі пошкоджуваності й розподілу атомів мішені вздовж пробігу іонів гелію, а також коефіцієнти розпилення і наведено залежності кількості розпилених атомів уздовж пробігу іонів. Зроблено розрахунки щодо змінення поверхневої густини (0...200 Å) зразків. Подано експериментальні результати щодо залежності коефіцієнта тертя ковзання від кількості циклів, температури й дози опромінення. При температурі 200°C коефіцієнт тертя ковзання менше, ніж при 20°C. Опромінення призводить до збільшення коефіцієнта тертя. Із проведених розрахунків і мікроскопічних досліджень випливає, що на поверхні опромінених зразків відбувається металізація атомів структури у зв'язку з дисоціацією Al_2O_3 та TiO_2 з наступним взаємним переносом металів і їх з'єднань. Ці процеси з одного боку збільшують зносостійкість кераміки, з іншого боку – збільшують коефіцієнти тертя через взаємодії більш в'язких металевих з'єднань. Поява шорсткості керамічних зразків і розпухання кераміки так само впливає на фрикційні характеристики пари метал – опромінена кераміка.

P.21. SOME RESULTS OF RESEARCH OF CHEMICAL PROCESSES IN THE SUPRECRITIC CONVECTIONAL WATER LOOP UNDER ELECTRON EXPOSURE

*O.I. Azarov, O.S. Bakai, V.M. Boriskin, V.O. Bocharov, Yu.V. Gorenko,
M.O. Dolzhek, V.O. Momot, V.I. Solodovnikov, V.Yu. Titov, G.M. Tsebenko,
V.V. Churikov, S.V. Shelepko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: bocharov@kipt.kharkov.ua*

The specific heat of water at the critical point increases abruptly and therefore supercritical water (SCW) can effectively cool a nuclear reactor, it would be promising to use SCW in nuclear energy. However, at high temperatures and due to radiolysis in which, along with hydrogen, oxygen, free electrons, hydrogen peroxide and free radicals are formed, SCW has increased corrosion activity. A convection loop with an irradiation chamber was used to study the properties of SCW in order to select structural materials. The internal volume of the loop was 3.8 liters. In the circulating irradiated water the pH value and oxygen content decreased, the electrical conductivity and chromium content increased to 20...26, copper 39...62, iron 200...500, manganese 12...15, nickel 15...23 µg/l. The behavior of chromium differs from the behavior of other metals-components of stainless steel due to the formation in the oxidizing

medium of easily soluble Cr (VI), and its content is almost the same in all samples of deposits on the inner surface of the loop. The conversion of ethyl alcohol, from which ketones and esters are mainly formed, was also researched. The use of SCW in nuclear energy requires further corrosion research and the study of chemical transformations of substances under the influence of radiation.

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У НАДКРИТИЧНІЙ КОНВЕКЦІЙНІЙ ВОДНІЙ ПЕТЛІ ПРИ ОПРОМІНЕННІ ЕЛЕКТРОНАМИ

*О.І. Азаров, О.С. Бакай, В.М. Борискін, В.О. Бочаров, Ю.В. Горенко,
М.О. Должек, В.О. Момот, В.І. Солодовніков, В.Ю. Тітов, Г.М. Цебенко,
В.В. Чуріков, С.В. Шелепко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: bocharov@kipt.kharkov.ua*

Питома теплоємність води в критичній точці стрибкоподібно збільшується і тому надкритична вода (НКВ) може ефективно охолоджувати ядерний реактор, було б перспективно використовувати НКВ в ядерній енергетиці. Однак при високій температурі і за рахунок радіолізу при якому поряд з воднем, киснем, вільними електронами утворюється пероксид водню і вільні радикали, НКВ має підвищену корозійну активність. Для досліджень властивостей НКВ з метою вибору конструкційних матеріалів була використана конвекційна петля з камерою опромінення. Внутрішній об'єм петлі склав 3,8 л. У циркулюючої опромінюваної воді знижувалося значення рН та вміст кисню, підвищувалася електропровідність і вміст хрому до 20...26, міді 39...62, заліза 200...500, марганцю 12...15, нікелю 15...23 мкг/л. Поведінка хрому відрізняється від поведінки інших металів-компонентів нержавіючої сталі за рахунок утворення в окислювальному середовищі легкорозчинного Cr (VI), і його вміст практично однаковий в усіх зразках відкладень на внутрішній поверхні петлі. Досліджували також перетворення етилового спирту з якого в основному утворюються кетони і складні ефіри. Для використання в ядерній енергетиці НКВ потрібне подальше проведення корозійних досліджень і вивчення хімічних перетворень речовин під дією радіації.

P.22. VECTOR PROTON-BEAM WRITING SYSTEM

*H.E. Polojij, A.G. Ponomarev, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon
Institute of Applied Physics, Sumy, Ukraine
E-mail: polojij_ge@ipflab.sumy.ua*

Proton-beam writing gives the possibility to form small-sized structures of polymeres and other materials directly from computer-set pattern. But raster scanning, usually used in proton-beam writing, gives "pixel" artifacts, especially on curved and diagonal parts of the structures, and is hard to scale. To make microstructure lines smoother and lithography scalable, an upgrade of proton-beam lithography channel management software was made in the proton-beam accelerator facility "Sokil" at the Institute of applied physics NAS Ukraine in Sumy. E-beam

microscope investigation of fabricated microstructures shows already the superiority of vector lithography over raster method. Scaling has almost no effect on lines' quality including curves and the lines are much smoother than on the structures fabricated with raster method.

СИСТЕМА ВЕКТОРНОЇ ПРОТОННОЇ ЛІТОГРАФІЇ

*Г.Є. Положій, О.Г. Пономарьов, В.А. Ребров, С.В. Колінько, В.Ф. Салівон
Інститут прикладної фізики, Суми, Україна
E-mail: polojiy_ge@ipflab.sumy.ua*

Протонна літографія дає змогу формувати малорозмірні структури з полімерів та інших матеріалів безпосередньо за шаблоном, заданим з комп'ютера. Але сканування за растром, яке зазвичай застосовується в протонній літографії, створює “піксельні” артефакти, особливо на кривих та діагональних ділянках структур, а також погано піддається масштабуванню. Щоб зробити лінії мікроструктур плавними та літографію масштабованою, в Інституті прикладної фізики Національної академії наук України в Сумах було здійснене вдосконалення програмного забезпечення, яке керує обладнанням каналу протонної літографії на АПК “Сокіл”. Дослідження отриманих мікроструктур на електронному мікроскопі вже показує суттєву перевагу векторної літографії над растровою: масштабування практично не впливає на якість ліній, в тому числі кривих і самі лінії є значно плавнішими, ніж на структурах, виготовлених растровим методом.

P.23. COMPARISON OF PARAMETERS OF PLASMA GUNS OF COAXIAL TYPE FOR ACCELERATING EQUIPMENT

*D.V. Vinnikov, V.V. Katrechko, V.B. Yuferov, V.I. Tkachev,
S.O. Petrenko, V.T. Fomin
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: katrechko1609@gmail.com*

Plasma guns (PG) of the coaxial type have become widespread as plasma injectors for creating a plasma jumper in high-current electronic accelerators with inductive energy storage. The opening of the plasma jumper leads to a multiplication of the output pulse voltage and the subsequent generation of RF and microwave radiation. The voltage multiplication factor largely depends on the stability of the parameters of the plasma flows generated by GHG. Such parameters of primary interest include: plasma flow rate, ion lifetime, density, temperature and composition. To study the operation of PG with different geometry of electrodes and dielectric materials, in the “NSC KIPT” created a stand “NRS-PG”. In this work, two designs of PG coaxial type were considered: RF cable with polyethylene insulation with a diameter of 10 mm and a design with a copper rod and a removable dielectric from a fluoroplastic ring with a diameter of 22 mm. In the course of the work, experiments were performed to determine the discharge currents and PG voltages at different parameters of the primary circuit - the discharge circuit. The intensity and duration of the outbreak of plasma fluxes generated in the IR and the visible radiation range are determined. A

frame-by-frame scan of the discharge flow in the vacuum chamber is obtained. The “imprint” of the plasma flow at different distances from the injection surface is taken. Spectral analysis of the composition of the discharge plasma: by elements and ion charges. It is concluded that the advantages of using guns with a larger dielectric emission area.

ПОРІВНЯННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОВИХ ГАРМАТ КОАКСІАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Д.В. Вінніков, В.В. Катречко, В.Б. Юферов, В.І. Ткачов,
С.О. Петренко, В.Т. Фомін
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: katrechko1609@gmail.com*

Плазмові гармати (ПГ) коаксіального типу набули широкого поширення в якості інжекторів плазми для створення плазмової перемички в потужнострумових електронних прискорювачах з індуктивним накопичувачем енергії. Розмикання плазмової перемички призводить до множення напруги вихідного імпульсу і наступної генерації ВЧ і НВЧ випромінювання. Коефіцієнт множення напруги багато в чому залежить від стабільності параметрів плазмових потоків, що генеруються ПГ. До таких параметрів, які представляють першочерговий інтерес, відносяться: швидкість поширення плазмового потоку, час життя іонів, щільність, температура і склад. Для дослідження роботи ПГ з різною геометрією електродів і матеріалів діелектрика, в ННЦ ХФТІ створений стенд “НДС ПГ”. Розглянуто дві конструкції ПГ коаксіального типу: РК кабель з поліетиленовою ізоляцією діаметром 10 мм і конструкція з мідним стрижнем і знімним діелектриком з фторопластового кільця діаметром 22 мм. Проведено експерименти по визначенню розрядних струмів і напруг ПГ при різних параметрах первинного контуру – розрядного кола. Визначено інтенсивність і тривалість спалаху плазмових потоків, що створюються в ІЧ і видимому діапазоні випромінювання. Отримано покадрову розгортку протікання розрядів у вакуумній камері. Знятий “відбиток” плазмового потоку на різних відстанях від поверхні інжекції. Проведено спектральний аналіз складу розрядної плазми: за елементами та зарядами іонів. Зроблено висновок про переваги використання гармат з більшою площею емісії діелектрика.

P.24. GAS DISCHARGE PLASMA FOR AN ACCELERATOR BASED ON A PLASMA-FILLED DIODE

*E.I. Skibenko, A.N. Ozerov, V.B. Yuferov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ozerov@kipt.kharkov.ua*

Gas-discharge plasma in a Penning cell is used in a number of technical devices for solving problems in various fields. These are the physics of atomic and electronic collisions, plasma physics, vacuum technology, accelerator technology, and applied plasma technologies. In some cases of experimental practice, additional requirements arise for the parameters and properties of the gas-discharge plasma used. In particu-

lar, when electron accelerators based on a plasma-filled diode were created. These requirements are reduced to maintaining the homogeneity and purity of the gas-discharge plasma and reducing the amount of impurities. Therefore, a search is under way for ways to exclude the entry of impurities into the discharge gap of the plasma current switch of the accelerator. That is, plasma sources that do not contain carbon, copper and other impurities in precipitation. At a plasma sounding frequency of 37.5 GHz, the values of the maximum and average plasma density were experimentally determined. The characteristic times of the formation and existence of the gas-discharge plasma as a function of the discharge parameters are determined.

ГАЗОРОЗРЯДНА ПЛАЗМА ДЛЯ ПРИСКОРЮВАЧА НА ОСНОВІ ПЛАЗМОНАПОВНЕНОГО ДІОДА

*Є.І. Скібенко, О.М. Озеров, В.Б. Юферов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ozerov@kipt.kharkov.ua*

Газорозрядна плазма в осередку Пеннінга використовується в ряді технічних пристроїв, для вирішення завдань в таких областях, як фізика атомних і електронних зіткнень, фізика плазми, вакуумна техніка, прискорювальна техніка, а також в прикладних плазмових технологіях. У деяких випадках експериментальної практики виникають додаткові вимоги до параметрів і властивостей використовуваної газорозрядної плазми, зокрема при створенні електронних прискорювачів на основі плазмонаповненого діода. Ці вимоги зводяться до збереження однорідності і чистоти газорозрядної плазми і зниження кількості домішок. Тому ведеться пошук шляхів, що виключають надходження домішок в розрядний проміжок плазмового комутатора струму прискорювача, тобто виключає джерела плазми, що містять в опадах вуглець, мідь і інші домішки. На частоті зондування плазмового утворення 37,5 ГГц експериментально визначені величини максимальної і середньої щільності плазми, характерні часи відтворення і існування газорозрядної плазми від параметрів розряду.

P.25. GATED INTEGRATING CURRENT-VOLTAGE CONVERTER FOR MEASURING LOW CURRENTS

*G.P. Vasiliev, S.K. Kiprich, A.A. Kapliy, G.D. Kovalenko, N.I. Maslov,
V.D. Ovchinnik, S.M. Potin, M.Yu. Shulika, I.N. Shliakhov, V.I. Yalovenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: shlyahov@kipt.kharkov.ua*

Developed and created a universal gated integrating current-voltage converter for measuring the value of the secondary emission current or the current of accelerated electrons. The use of modern microcircuits for analog switches in the integrating converter makes it possible to use it for measurements on accelerators with continuous and pulsed beams. The converter has two independent measurement channels. The conversion factor of the first channel is 1 V/ μ A, the second one is 1 V / nA. The range of measured currents, for the first channel from -5 to + 5 μ A, the second from - 5 to + 5 nA. To control the integrator, process the output signals of the converter and

communicate with the computer, an Atmega328 microprocessor is used, which is part of the unit. The software is written using the WinAVR package which has a General Public License. Data transfer between the computer and the unit is carried out via the USB interface.

СТРОБОВАНІЙ ІНТЕГРУЮЧИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СТРУМ-НАПРУГА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ СТРУМІВ

*Г.П. Васильєв, С.К. Кіпріч, О.А. Каплій, Г.Д. Коваленко, М.І. Маслов,
В.Д. Овчинник, С.М. Потін, М.Ю. Шуліка, І.М. Шляхов, В.І. Яловенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: shlyahov@kipt.kharkov.ua*

Розроблено і створено універсальний стробований інтегруючий перетворювач струм-напруга для вимірювання величини струму вторинної емісії або струму прискорених електронів. Застосування сучасних мікросхем аналогових комутаторів в інтегруючому перетворювачі дозволяє використовувати його для проведення вимірювань на прискорювачах з безперервними і імпульсними пучками. Перетворювач має два незалежні канали вимірювання. Коефіцієнт перетворення першого каналу становить 1 В/мкА, другого - 1 В/нА. Діапазон вимірюваних струмів, для першого каналу від -5 до + 5 мкА, другого від -5 до + 5 нА. Для управління інтегратором, обробки вихідних сигналів перетворювача і зв'язку з комп'ютером використовується мікропроцесор Atmega328, що входить до складу блоку. Програмне забезпечення написано з використанням пакета WinAVR має General Public License. Передача даних між комп'ютером і блоком здійснюється по USB інтерфейсу.

P.26. COMPUTERIZED STAND FOR MEASURING THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF PLANAR RADIATION DETECTORS

*N.I. Maslov, V.D. Ovchinnik, S.M. Potin, M.Yu. Shulika,
G.P. Vasiliev, V.I. Yalovenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: spotin@kipt.kharkov.ua*

The stand for studying the static (electrophysical) characteristics of planar radiation detectors consists of a microprobe station with manual movement of probes and high-precision measuring equipment connected to a computer for carrying out automated measurements. The main purpose of the stand is to study the characteristics of planar radiation detectors before placing them in protective housings. Using the stand allows you to measure the current-voltage and capacitance-voltage characteristics of the detectors, as well as promptly identify detectors with unstable characteristics. The obtained measurement results are used to determine the operating modes and reject semiconductor radiation detectors.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ СТЕНД ВИМІРЮВАНЬ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНАРНИХ КРЕМНІЄВИХ ДЕТЕКТОРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ

*М.І. Маслов, В.Д. Овчинник, С.М. Потін, М.Ю. Шуліка,
Г.П. Васильєв, В.І. Яловенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: spotin@kipt.kharkov.ua*

Стенд дослідження статичних (електрофізичних) характеристик планарних детекторів випромінювання складається з мікрозондової станції з ручним переміщенням зондів і високоточної вимірювальної апаратури, підключеної до комп'ютера для проведення автоматизованих вимірювань. Основне призначення стенду - вивчення характеристик планарних детекторів випромінювання, до розміщення їх в захисні корпуси. Використання стенду дозволяє вимірювати вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики детекторів, а також оперативно виявляти детектори з нестабільними характеристиками. Отримані результати вимірювань використовуються для визначення режимів роботи і відбракування напівпровідникових детекторів випромінювання.

P.27. HF RADIATION PULSE SOURCE LOCATING IN DIN-2K ACCELERATOR

*O.S. Druj, V.V. Yegorenkov, S.V. Marchenko, V.B. Yuferov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: yvv4827@gmail.com*

Experiments aimed at locating the source generating an HF pulse during the opening of the plasma switch and leading to explosive electron emission at the cathode were performed on DIN-2K pulse accelerator. It is demonstrated that certain lamps glow during the explosive electron emission pulse. This may point to the possible HF pulse generation during the opening of a plasma switch or radial interruption of current. In order to locate the radiation source the FR-2 dielectric insert was introduced into the vacuum diode and Ne lamps were placed over the anode mesh. The thickness of this insert was chosen to be larger than the electron penetration depth. The lack of Ne indicator lamps glow when the anode was shielded by an FR-2 insert was observed as opposed to the case of operation with the vacuum diode as a load. The virtual cathode caused by the explosive emission from the cathode is shown to be the source of HF radiation.

ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА ІМПУЛЬСУ ВЧ-ВИПРОМІНЕННЯ НА ПРИСКОРЮВАЧІ ДІН-2К

*O.C. Друй, В.В. Єгоренков, С.В. Марченко, В.Б. Юферов
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: yvv4827@gmail.com*

На імпульсному прискорювачі ДІН-2К були проведені експерименти з метою визначення джерела генерації ВЧ-імпульсу при розмиканні плазмового

ключа та генерації вибухової емісії електронів з катоду. Показано, що при екрануванні пучка електронів від аноду діелектричною вставкою з органічного скла, при чому довжина пробігу електронів у діелектрику менша за її товщину, на виході з вікна прискорювача не реєструвалися спалахи індикаторних неонових ламп, що постійно виникали при відсутності вставки. Для визначення джерела випромінення була встановлена гетинаксова вставка та індикаторні неонові лампи були розміщені на анодній сітці. Експерименти показали частковий спалах ламп при імпульсі вибухової емісії, що свідчить про можливе проходження ВЧ-імпульсу при розмиканні плазмової перетинки, або радіальному розмиканні струму. Показано, що джерелом випромінення є віртуальний катод, що утворений вибуховою емісією катоду.

P.28. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE PRIMARY CIRCUIT ON THE OUTPUT PARAMETERS OF ACCELERATORS WITH A PLASMA CURRENT SWITCH

*V.B. Yuferov, O.V. Manuylenko, I.A. Pashchenko, I.V. Buravilov,
O.S. Svichkar, O.M. Ponomarev
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: igor_buravilov@kipt.kharkov.ua*

The paper presents studies of the parameters of the primary circuit of the pulse current generator of the accelerator with inductive energy storage (INE) and plasma current switch (PKS). The energy of the primary circuit, in the case of current opening in the PKS, must be spent on the occurrence of a overvoltage on the INE. Therefore, the installation parameters must be chosen so that as much of the energy of the capacitor bank to the moment of current rupture is converted into the energy of the magnetic field of the current of the primary circuit. To find these mutually agreed parameters, experimental studies were performed with a PKS plasma jumper simulator and calculations based on Kirchhoff's laws. Experiments were performed at different parts of the installation to determine the values of active resistance and inductance in order to optimize them. According to equivalent electrical schemes, calculations were performed to determine the parameters of the primary circuit of the PKS from experimental data, numerically model the current dynamics in the primary circuit of installations and calibrate diagnostic tools.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПЕРВИННОГО КОЛА НА ВИХІДНІ ПАРАМЕТРИ ПРИСКОРЮВАЧІВ З ПЛАЗМОВИМ КОМУТАТОРОМ СТРУМУ

*В.Б. Юферов, О.В. Мануйленко, І.А. Пащенко, І.В. Буравілов,
О.С. Свічкарь, О.М. Пономарев
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: igor_buravilov@kipt.kharkov.ua*

В роботі приведені дослідження параметрів первинного кола генератору імпульсного струму прискорювача з індуктивним накопичувачем енергії (ІНЕ) та плазмовим комутатором струму (ПКС). Енергія первинного кола, у випадку

розмикання струму в ПКС, має витратитися на виникнення імпульсу перенапруги на ІНЕ. Тому параметри установки необхідно вибирати таким чином, щоб як найбільше енергії конденсаторної батареї до моменту розриву струму переходило в енергію магнітного поля струму первинного кола. Для знаходження цих узгоджених між собою параметрів проводились експериментальні дослідження з імітатором плазмової перемички ПКС та розрахунки на основі законів Кірхгофа. Були проведені експерименти на різних ділянках установки по визначенню значень активного опору та індуктивності з метою їх оптимізації. По еквівалентним електротехнічним схемам були проведені розрахунки, що дозволяють визначати параметри первинного кола ПКС з експериментальних даних, чисельно моделювати динаміку струму у первинному колі установок та калібрувати діагностичні засоби.

P.29. MODELING OF THE PROCESSES OF FORMATION OF RADIATION DAMAGE IN THE INTERACTION OF GAMMA-QUANTUM FLUXES AND RELATIVISTIC ELECTRON BEAMS WITH SOLUTIONS OF ORGANIC DYES

*S.P. Gokov, Yu.G. Kazarinov, S.A. Kalenik, V.Y. Kasilov, V.V. Kantemirov,
O.O. Mazilov, T.V. Malykhina, V.V. Tsiats'ko, E.V. Tsiats'ko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: gokovsp@kipt.kharkov.ua*

The study of the processes of interaction of ionizing radiation with matter allows solving a number of applied and fundamental problems in the field of radiation physics, chemistry, biology, medicine and dosimetry. Electron irradiation was carried out at the LUE-300 NSC KIPT. The flux of gamma quanta was generated by electron beams with energies of 15 and 25 MeV using tungsten converters of various thicknesses. The computational experiment was carried out by the Monte Carlo method. A computer program was developed for it in C ++, which uses the Geant4 class libraries and operates in a multithreaded mode (to reduce the computation time when using a large number of primary electrons). The calculations were performed using the PhysicsList emstandard_opt3 model. In the work, the amount of radiation damage was determined, which falls on one generated electron and an incident gamma quantum. Comparison of simulation results with experimental data is carried out. On the basis of the results obtained, conclusions were made regarding the main mechanisms leading to the breakdown of organic dye molecules, and methods for optimizing the experiment for further research were proposed.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКІВ ГАММА-КВАНТІВ І ПУЧКІВ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ З РОЗЧИНОМ ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ

*С.П. Гоков, Ю.Г. Казарінов, С.О. Каленик, В.Й. Касілов, В.В. Кантеміров,
О.О. Мазілов, Т.В. Малихіна, В.В. Цяцько, Є.В. Цяцько
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: gokovsp@kipt.kharkov.ua*

Дослідження процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною дозволяє вирішувати цілий ряд прикладних і фундаментальних задач в галузі радіаційної фізики, хімії, біології, медицини та дозиметрії. Опромінення електронами проводилося на ЛУЕ-300 ННЦ ХФТІ. Потік гамма-квантів генерувався електронними пучками з енергіями 15 і 25 МеВ за допомогою вольфрамових конвертерів різної товщини. Обчислювальний експеримент проведений методом Монте-Карло. Для нього була розроблена комп'ютерна програма на мові C ++, яка використовує бібліотеки класів Geant-4, і працює в багатопотоковому режимі (для зменшення часу розрахунків при використанні великого числа первинних електронів). При проведенні розрахунків використовувалася модель PhysicsList emstandard_opt3. В роботі було визначено кількість радіаційних ушкоджень, яке припадає на один народжений електрон і падаючий гамма-квант. Проведено порівняння результатів моделювання з експериментальними даними. На основі отриманих результатів зроблено висновки щодо основних механізмів, що призводять до розвалу молекул органічних барвників, а також запропоновані способи оптимізації експерименту для проведення подальших досліджень.

P.30. MODELING AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESSES OF INTERACTION OF FLUXES OF FAST AND THERMAL NEUTRONS WITH SOLUTIONS OF ORGANIC DYES

*S.P. Gokov, Yu.G. Kazarinov, S.A. Kalenik, V.Y. Kasilov,
T.V. Malykhina, V.V. Tsiats'ko, E.V. Tsiats'ko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: gokovsp@kipt.kharkov.ua*

The work carried out modeling and experimental study of the processes of interaction of fast, thermal and epithermal neutrons with an aqueous solution of an organic dye: methylene blue (MB) - C₁₆H₁₈N₃C₁ with and without boric acid. Irradiation was carried out on an LUE-300 electron accelerator. A neutron-producing tungsten target was irradiated with an electron beam from a linear accelerator with an energy of 15...20 MeV and a power of 300 W. Tubes with organic dye solutions were installed perpendicular to the electron beam propagation axis at a distance of 10 cm from the neutron-producing target in a 5-cm lead shield. The characteristics of neutron fluxes were calculated by the Monte Carlo method. For a computational experiment, a computer program in the C ++ language has been developed, which uses the Geant4 class libraries. The optical absorption spectra of the studied samples were also

analyzed. In the work, the disintegration of organic dye molecules was observed both due to the kinematic disintegration due to collisions with fast neutrons with nuclei, and due to the occurrence of nuclear reactions during the capture of thermal neutrons by boron.

МОДЕЛЮВАННЯ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКІВ ШВИДКИХ І ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНІВ З РОЗЧИНАМИ ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ

*С.П. Гоков, Ю.Г. Казарінов, С.О. Каленик, В.Й. Касілов,
Т.В. Малихіна, В.В. Цяцько, Є.В. Цяцько
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: gokovsp@kipt.kharkov.ua*

У роботі проводилося моделювання та експериментальне дослідження процесів взаємодії швидких, теплових і епітеплових нейтронів з водним розчином органічного барвника: метиленовий синій (МС) - $C_{16}H_{18}N_3S_1$ з борною кислотою і без. Опромінення проводилося на прискорювачі електронів ЛУЕ-300. Нейтронівиробляюча вольфрамова мішень опромінювалася пучком електронів лінійного прискорювача з енергією 15...20 МеВ і потужністю 300 Вт. Пробірки з розчинами органічних барвників встановлювалися перпендикулярно осі проходження електронного пучка на відстані 10 см від нейтронівиробляючої мішені в 5-ти сантиметровому свинцевому захисті. Характеристики потоків нейтронів розраховувалися методом Монте-Карло. Для обчислювального експерименту розроблена комп'ютерна програма на мові C ++, яка використовує бібліотеки класів Geant4. Так само були проаналізовані оптичні спектри поглинання досліджених зразків. В роботі спостерігався розвал молекул органічного барвника як за рахунок кінематичного розвалу внаслідок зіткнення швидких нейтронів з ядрами, так і внаслідок протікання ядерних реакцій при захопленні теплових нейтронів бором.

P.31. COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCELERATION GRADIENTS FOR CHIP STRUCTURES WITH DIFFERENT REFRACTIVE INDICES

*A.V. Vasylyev, O.O. Bolshov, O.O. Svistunov, A.I. Povrozin,
V.P. Zaitcev, V.P. Leshchenko, G.V. Sotnikov
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: vasilyev.andrey90@gmail.com*

The results of numerical studies of accelerating gradients in accelerators based on dielectric chip structures with different refractive indices, excited by a titanium-sapphire laser pulse, are presented. A comparative analysis of the influence of the refractive index on the rate of acceleration of electron bunches is carried out. Promising materials for the manufacture of dielectric laser accelerators are proposed.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГРАДІЄНТІВ ПРИСКОРЕННЯ ДЛЯ СТРУКТУР З РІЗНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗАЛОМЛЕННЯ

*А.В. Васильєв, О.О. Большов, О.О. Свістунов, А.І. Поврозін,
В.П. Зайцев, В.П. Леценко, Г.В. Сотников
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: vasilyev.andrey90@gmail.com*

Представлені результати чисельних досліджень прискорюючих градієнтів, в прискорювачах на основі діелектричних ЧПП-структур з різними показниками заломлення, збуджуваних титан-сапфіровим лазерним імпульсом. Проведено порівняльний аналіз впливу показника заломлення на темп прискорення електронних згустків. Запропоновано перспективні матеріали для виготовлення діелектричних лазерних прискорювачів.

P.32. MILLIMETER-WAVELENGTH RELATIVISTIC MAGNETRON: PROBLEMS OF MICROWAVE POWER EXTRACTION

*N.P. Gadetski, V.G. Korenev, A.N. Lebedenko, I.I. Magda, O.G. Melezhik,
V.G. Sinitsin, A.A. Shtanko, N.V. Volovenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: magda@kipt.kharkov.ua*

A problem of importance for high-voltage (relativistic) magnetrons operating at millimeter wavelengths is how to achieve an optimal regime of microwave power extraction from the space of electron beam – RF field interaction. In contrast to decimeter or even centimeter wavelength instruments characterized by larger sizes of their anode-cathode spaces, the millimeter wavelength power cannot be efficiently extracted in the radial direction via one or several cavities belonging to the slow-wave structure. The reasons are the small volume of the cavity (undersized at the operation frequency, hence demonstrating a high input resistance) and the hazard of appearance of high-voltage breakdowns across the gap. Meanwhile, by introducing into the structure additional elements to enable RF power extraction along the principal symmetry axis of the magnetron, the designer faces the hazard of radically changing its electrodynamic characteristics. This concerns the generated frequencies, modal content and polarization of the RF fields at the output as the waveguide becomes a part of the wave generation and propagation space. In this paper several schemes (and practical implementation thereof) of RF power extraction along the symmetry axis of the magnetron's cylindrical structure are discussed, including a circular ring 'antenna' at the end of the double-connectivity anode-cathode space, and sets of (admittedly) resonance-length rods at the faces of the anode-block cavities. These solutions have allowed increasing the power extraction efficiency by 10 to 20 per cent.

РЕЛЯТИВІСТСЬКИЙ МАГНЕТРОН МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ: ПИТАННЯ ВИВЕДЕННЯ МІКРОХВИЛЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

*М.П. Гадецький, В.Г. Коренев, О.М. Лебеденко, І.І. Магда,
О.Г. Мележик, В.Г. Сініцин, А.О. Штанько, М.В. Воловенко
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: magda@kipt.kharkov.ua*

Важливою задачею досліджень й розробки високовольтних (релятивістських) магнетронів, що працюють в міліметровому діапазоні довжин хвиль, є оптимізація рівня виходу мікрохвильової енергії з області взаємодії високочастотного поля з електронним пучком. В приладах міліметрового діапазону, на відміну від дециметрового чи сантиметрового, виведення високочастотного поля в радіальному напрямку, через декілька резонаторів системи уповільнення, вдається вельми проблематичним. Фізичних причин тому декілька: замалий розмір резонаторної порожнини, що є закритичним для хвиль на робочій частоті, що мали б рухатися в радіальному напрямку, а також ризик виникнення високовольтного пробою в об'ємі порожнини. З іншого боку, вводячи в конструкцію приладу додаткові елементи - з метою забезпечити виведення мікрохвиль вздовж основної осі симетрії магнетрону, - дослідник стикається з неминучою істотною зміною його електродинамічних характеристик. Це стосується як частот генерації, так і модового складу й поляризації поля мікрохвиль на виході з магнетрону, оскільки вихідний хвилевід стає частиною об'єму, це відбувається власне генерація й подальше виведення хвиль. В даній роботі розглядаються декілька схем (та їх практична реалізація) щодо виведення мікрохвильової енергії вздовж осі симетрії циліндричного магнетрона, а саме підключення на вихідному перерізі двозв'язного анод-катодного проміжку кільцевої «антени» - петлі із струмом, або закріплення металевих штирів (гадано резонансної довжини) поблизу резонаторних порожнин системи уповільнення. На практиці такі технічні рішення дозволили підняти ефективність виведення надвисокочастотних хвиль на 10...20 відсотків.

P.33. PULSED POWER TO MICROWAVES CONVERSION IN NONLINEAR TRANSMISSION LINES

*S.Y. Karelin, V.G. Korenev, V.B. Krasovitsky,
I.I. Magda, V.S. Mukhin, V.G. Sinitsin
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: magda@kipt.kharkov.ua*

The paper presents results of experiments and of numerical simulations concerning the effect of microwave generation at gigahertz frequencies in coaxial transmission lines which are fed with high voltage unipolar electric pulses. The coaxial line's cross-section was partially or fully filled with a dielectric material exhibiting nonlinear response to the initial excitation. The insert represented either an isotropic dielectric (in simulations) or a ferrimagnet (in real experiments and in numerical modeling). The frequencies and amplitudes of the oscillations, as well as the number and spectral width of the lines generated, are determined by the entity of dispersive and non-linear

properties of the wave guiding structure. These are governed by diameters of the inner and outer coaxial conductors in the line, diameter of the ferromagnetic insert and its intrinsic dispersion properties. The relative importance of several basic effects provoking the appearance of microwave-frequency oscillations is discussed, specifically the role of higher-order waveguide modes and of the magnetization vector precession in the ferrimagnetic insert. PACS: 41.20 Gz; 41.20 Jb

КОНВЕРСИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЭНЕРГИИ В МИКРОХВИЛИ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ З НЕЛИНЕЙНЫМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

*С.Ю. Карелін, В.Г. Коренев, В.Б. Красовицький,
І.І. Магда, В.С. Мухін, В.Г. Сініцин
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: magda@kipt.kharkov.ua*

Представлені результати експериментальних досліджень і числового моделювання стосовно ефектів генерації мікрохвиль з частотами гігагерцевого діапазону в коаксіальних лініях передачі, в які подаються однополярні високовольтні імпульси. Переріз коаксіальної лінії був частково (в окремих випадках – повністю) заповненим діелектричним матеріалом, який має нелінійний амплітудний відгук на первинне збудження. Матеріальна вставка являла собою або ізотропний діелектрик (в числовому моделюванні), або феримагнетик (як в реальних, так і в числових експериментах). Частоти й амплітуди коливань, що збуджувались, а також кількість і спектральна ширина генерованих ліній визначалися сукупністю дисперсійних і нелінійних властивостей хвилеводної структури, котрі залежать від діаметрів зовнішнього та внутрішнього електродів в коаксіалі, діаметра феритової вставки, а також від власних дисперсійних характеристик феромагнітного матеріалу. Обговорюється значущість кожного з основних фізичних ефектів, що можуть викликати появу надвисокочастотних коливань у лінії, зокрема збудження вищих хвилеводних мод (лінійного наближення) в лінії, а також прецесії вектора намагнічення у феритовій вставці. PACS: 41.20 Gz; 41.20 Jb

P.34. CONTROLLED PULSE PYROELECTRIC ACCELERATOR AND SOURCE OF X-RAY RADIATION

*O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, M.E. Giltz,
V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, Yu.V. Grigoriev
Belgorod National State University, Belgorod, Russian Federation;
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: ooleg.ivashuk@gmail.com*

The article is devoted to investigation methods of control of x-ray pulse generation at the pyroelectric accelerator operation in vacuum. Dependence of x-ray radiation yield and duration of its generation on tungsten electron and ion emitter voltage supply. Development and application prospects controlled pulse pyroelectric accelerator and source of x-ray radiation are discussed.

КОНТРОЛЬОВАНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ ПРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ І ДЖЕРЕЛО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*О.О. Іващук, А.В. Щагін, А.С. Кубанкін, М.Є. Гільц,
В.С. Мірошник, В.І. Волков, Ю.В. Григор'єв
Белгородський національний державний університет,
Белгород, Російська Федерація;
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: ooleg.ivashuk@gmail.com*

Стаття присвячена дослідженню методів управління генерацією рентгенівських імпульсів при роботі піроелектричного прискорювача у вакуумі. Залежність виходу рентгенівського випромінювання та тривалості його генерації від напруги електрону та іонного випромінювача вольфраму. Обговорено перспективи розвитку та застосування контрольованого імпульсного піроелектричного прискорювача та джерела рентгенівського випромінювання.

P.35. ACCELERATING A PART OF ELECTRONIC BUNCHES BY WAKEFIELDS IN A WAVEGUIDE WITH DIELECTRIC FILLING

*A.F. Linnik, I.N. Onishchenko, V.I. Pristupa, G.V. Sotnikov, V.S. Us
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: pristupa@kipt.kharkov.ua*

The paper presents two accelerating schemes that allow using the Cherenkov wake field excited in waveguide-dielectric structures to accelerate some of the electrons from the bunches that excite this field. The cut off accelerated part of the electrons falls into the accelerating phase of the wake wave either due to the difference in the distances traveled by the wave and the accelerated bunch, or when the phase velocity of the wave in a certain section of the waveguide increases.

ПРИСКОРЕННЯ ЧАСТИНИ ЕЛЕКТРОННИХ ЗГУСТКІВ КІЛЬВАТЕРНИМИ ПОЛЯМИ В ХВИЛЕВОДІ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМ ЗАПОВНЕННЯМ

*А.Ф. Лінник, І.М. Оніщенко, В.І. Приступа, Г.В. Сотников, В.С. Ус
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: pristupa@kipt.kharkov.ua*

Представлені дві прискорювальні схеми, що дозволяють використовувати збуджену в хвилі водно-діелектричних структурах черенковську кільватерну хвилю для прискорення частини електронів зі згустків, які збуджують це поле. Вирізана прискорювана частина електронів потрапляє в прискорюючу фазу кільватерної хвилі або за рахунок різниці в відстанях, що проходить хвиля і прискорюваний згусток, або при збільшення фазової швидкості хвилі на деякій ділянці хвилеводу.

P.36. STOCHASTIC MECHANISM OF BROADENING SPECTRAL DENSITY OF SYNCHROTRON RADIATION OF RELATIVISTIC ELECTRON

O.S. Mazmanishvili
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: mazmanishvili@gmail.com

The consideration is based on the study of the spectral profile of the synchrotron radiation (SR) line of a relativistic electron orbiting in a circular orbit in the uniform magnetic field. Fast stochastic fluctuations accompanying the motion of the electron during emission of SR quanta lead to the formation of spectral contour of each SR harmonic and its broadening. It is shown that the joint broadening of the set of harmonics causes broadening of the SR spectrum as the whole. The results of numerical calculations on the formation of the final SR spectral density of a relativistic electron are presented. In order to obtain precision characteristics, the formation of SR density in the frequency range exceeding the critical frequency has been studied.

СТОХАСТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ
ЩІЛЬНОСТІ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
РЕЛЯТИВІСТСЬКОГО ЕЛЕКТРОНА

O.S. Мазманішвілі
ННЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: mazmanishvili@gmail.com

Розгляд спирається на вивченні спектрального контуру лінії синхротронного випромінювання (СВ) релятивістського електрона, що обертається по круговій орбіті в однорідному магнітному полі. Швидкі стохастичні флуктуації, які супроводжують рух електрона при емісії квантів СВ, приводять до формування спектрального контуру кожної з гармонік СВ і його розширенню. Показано, що спільне розширення сукупності гармонік обумовлює розширення спектру СВ в цілому. Представлені результати чисельних розрахунків по формуванню підсумкової спектральної щільності СВ релятивістського електрона. З метою отримання прецизійних характеристик вивчено формування щільності СВ в області частот, що перевищують критичну частоту.

P.37. REGISTRATION OF CONVERSION e^- IN A WIDE RANGE OF ENERGIES WITH DETECTING SYSTEM

“Si PLANAR DETECTOR – METAL Gd CONVERTER”

V.N. Dubina, S.K. Kiprich, A.A. Kapliy, N.I. Maslov, V.D. Ovchinnik,
M.Y. Shulika, I.N. Shliakhov, S.M. Potin, G.P. Vasiliev, V.I. Yalovenko
NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine
E-mail: nikolai.maslov@kipt.kharkov.ua

The possibility of registration of conversion electrons in a wide range of energies by the detecting system "planar uncooled silicon detector - metal gadolinium converter" is investigated. Conversion electrons are generated when thermal neutrons are captured by a metallic gadolinium converter. The results of experimental studies of

the registration of conversion electrons in the spectrometric mode in the energy range of 30...200 keV are presented.

РЕЄСТРАЦІЯ КОНВЕРСІЙНИХ e^- В ШИРОКОМУ ІНТЕРВАЛІ ЕНЕРГІЙ
ДЕТЕКТУЮЧОЮ СИСТЕМОЮ «Si-ПЛАНАРНИЙ ДЕТЕКТОР –
МЕТАЛЕВИЙ Gd-КОНВЕРТЕР»

*В.Н. Дубіна, С.К. Кіпріч, О.А. Каплій, М.І. Маслов, В.Д. Овчинник,
М.Ю. Шуліка, І.М. Шляхов, С.М. Потін, Г.П. Васильєв, В.І. Яловенко
ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна
E-mail: nikolai.maslov@kipt.kharkov.ua*

Досліджується можливість реєстрації детектуючої системою “планарний неохолоджуваний кремнієвий детектор – металевий гадолінієвий конвертер” конверсійних електронів в широкому діапазоні енергій. Конверсійні електрони генеруються при захопленні теплових нейтронів металевим гадолінієвим конвертером. Представлені результати експериментальних досліджень реєстрації в спектрометричному режимі конверсійних електронів в діапазоні енергій 30...200 кеВ.

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
XXVII МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
З ПРИСКОРЮВАЧІВ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТОК

21–24 вересня 2021 р.
Харків, Україна

Відповідальні за випуск В.Г. Папкович, Т.В. Сітнянська
Технічний редактор А.І. Нагорна
Комп'ютерний макет Н.А. Довбня

Підписано до друку 30.07.2021. Формат 60×84/16. Ризодрук.
Ум. друк. арк. 5,8. Обл.-вид. арк. 6,3. Тираж 100. Замовлення № 28.

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»
61108, м. Харків, вул. Академічна, 1

Свідоцтво про державну реєстрацію видавців видавничої продукції
ДК №6187 від 17.05.2018 р.

Примітки