

СИЛАБУС
 ВИБІРКОВОЇ ДИСЦИПЛІНИ ДЛЯ АСПІРАНТІВ
 Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України

Назва дисципліни Кількість кредитів	Вибрані питання сучасної фізичної електроніки 5
Рівень вищої освіти	третій (освітньо-науковий) рівень
Статус	За вільним вибором
Період викладання	другий рік навчання
Відповідальний за курс	Прокопенко Юрій Володимирович, д. ф.-м. н., старший науковий співробітник
Контактна інформація	prokopen@ire.kharkov.ua 7634-323 сл.
Програмні цілі дисципліни	<p>Знання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Процесів формування, фокусування і руху електронних потоків в електричних та магнітних полях, а також їх математичні описи. • Положень управління потоками заряджених частинок, що транспортуються в високочастотних полях. • Фізичних принципів різних видів емісії заряджених частинок, що використовуються в електронних приладах різних призначень. • Особливостей виникнення нестійкостей систем з потоками заряджених частинок і їх застосування в приладах. Ефектів, що виникають при взаємодії електронів пучка і хвиль просторового заряду з власними хвилями сповільнюючих структур різних конфігурацій. • Особливостей підсилювання і генерації високочастотних коливань в приладах з тривалою взаємодією О- та М-типу міліметрового та субміліметрового діапазонів. • Основ релятивістської електроніки та нетрадиційних методів, що застосовуються при створенні потужних і надпотужних генераторів НВЧ і КВЧ діапазонів. • Сучасних уявлень і теорії будови твердого тіла. • Фізичних ефектів взаємодії потоків заряджених частинок з твердотільними структурами різних конфігурацій, в тому числі що містять плазмоподібні і штучні середовища, а також малорозмірні заряджені поверхні. <p>Вміння:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Застосовувати взаємозв'язок різних розділів фізичної електроніки, яка є основою сучасної техніки. • Реалізовувати знання фізичних закономірностей

		<p>емісії електронів і принципів отримання їх потоків в практичній діяльності при розробці нових приладів міліметрового і субміліметрового діапазонів.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Здійснювати електродинамічний аналіз взаємодії пучків заряджених частинок зі сповільнюючими структурами різних конфігурацій, що складаються з різних середовищ, в тому числі плазмоподібних і штучних (метаматеріалів). • Застосовувати і вдосконалювати математичні моделі процесів взаємодії потоків заряджених частинок з різними середовищами, як газоподібними, так і твердотільними. • Виробляти перспективні шляхи мініатюризації і мікромініатюризації при розробці електронних приладів. Використовувати нові досягнення фізичної електроніки для створення генераторів, підсилювачів та інших приладів електронної техніки.
Номер та назва розділу	Викладачі	Зміст
<p>I. Вакуумна електроніка та класична НВЧ-техніка</p>	<p>к.ф.-м.н., с.н.с. Ільєнко Костянтин Володимирович,</p> <p>к.ф.-м.н., с.н.с. Кулешов Олексій Миколайович</p> <p>к.ф.-м.н. Пономаренко Сергій Станіславович,</p> <p>к.ф.-м.н. Кишко Сергій Олександрович</p>	<p>Лекція 1. Збудження регулярних хвилевідних структур електронними потоками Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Ільєнко Костянтин Володимирович</p> <p style="text-align: center;"><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Теорія Кисунька-Вайнштейна збудження регулярних хвилеводів 2. Модифікація Советова теорії збудження. Сучасний погляд. 3. Поле просторового заряду у задачах нерелятивістської та помірно релятивістської вакуумної електроніки 4. Метод функції Гріна. Векторна формула Кірхгофа у дарвінівському наближенні <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. Т. 2. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с. - ISBN 5-9221-0200-1. 2. Кисунько Г. В. Электродинамика полых систем. Л.: ВКАС, 1949. 422 с. 3. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Советское радио, 1973. 400 с. <p>Лекція 2. Формування гвинтових електронних пучків для низьковольтних мазерів на циклотронному резонансі. Механізм азимутально-фазового групування при низьких прискорювальних напругах</p>

		<p>у МЦР. МЦР з перестроюванням частоти у широкому діапазоні Лектор: к.ф.-м.н. Кишко Сергій Олександрович <i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Прилади класу МЦР. Гіротрони середньої потужності 2. Формування гвинтових електронних пучків. Магнетронно-інжекторна гармата 3. Механізм азимутально-фазового групування. Додатковий механізм групування у низьковольтних МЦР 4. Гіротрони з перестроюванням частоти у широкому діапазоні 5. Планарні МЦР зі стрічковими ВЕП <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A. Kuleshov, Y. Ishikawa, Y. Tatematsu, S. Mitsudo, T. Idehara, E. Khutoryan, S. Kishko, S. Ponomarenko, M. Glyavin, I. Bandurkin, V. Manuilov, A. Fedotov, T. Saito, “Low-Voltage Operation of the Double-Beam Gyrotron at 400 GHz”, IEEE Trans. on Electron Devices, vol. 67, № 2, pp.673–676, 2020. 2. Ш. Е. Цимринг «Введение в высокочастотную вакуумную электронику и физику электронных приборов» - Нижний Новгород: Ин-т. прикладной физики РАН. – 2012. – 576 с. 3. G.S. Nusinovich / «Introduction to the physics of gyrotrons» // The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, p. 330, 2004. 4. A. S. Gilmour, Jr. “Klystrons, Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Cross-Field Amplifiers, and Gyrotrons” » - Boston-London: Artech House – 2011. 5. Thumm M. State of the art of high power gyro-devices and free electron masers, update 2009 // KIT Scientific Report 7540, Karlsruhe Institute of Technology, 2010. 120 p. <p>Лекція 3. Методи формування і транспортування нерелятивістських електронних потоків у приладах О-типу Лектор: к.ф.-м.н. Пономаренко Сергій Станіславович <i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рух заряджених частинок в електричному та магнітному полі. Механізми різних видів електронної емісії. Основні типи катодів вакуумних електронних приладів 2. Дія просторового заряду в електронних пучках та приладах. Режими роботи електронного діоду 3. Класифікація і основні параметри електронних потоків 4. Типи та характеристики електронно-оптичних
--	--	--

		<p>систем в електронних приладах</p> <p>5. Принципи дії та характеристика систем фокусування електронних потоків</p> <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A. S. Gilmour, Jr. "Klystrons, Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Cross-Field Amplifiers, and Gyrotrons" » - Boston-London: Artech House – 2011. 2. Н.С. Зинченко Курс лекцій по електронній оптике. Харків: Изд. Харьковского ун-та, 1961. 362 с. 3. С. И. Молоковський, А. Д. Сушков «Интенсивные электронные и ионные пучки» - Москва: Энергоатомиздат – 1991. 4. Клиноотрон / Г. Я. Левин, А. И. Бородин, А. Я. Кириченко и др. Под ред. А. Я. Усикова. - Киев: Наук. Думка – 1992. <p>Лекція 4. Генератори М-типу Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Ільєнко Костянтин Володимирович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нерелятивістські магнетрони 2. "Харківський" режим магнетронів на просторових гармоніках 3. Безрозжарювальний («холодний») катод <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. Т. 1, 2. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с. - ISBN 5-9221-0200-1. <p>Лекція 5. Клинотроны непрерывной дії міліметрового та ТГц діапазонів Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Кулешов Олексій Миколайович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Прилади на випромінюванні Вавилова-Черенкова. Лампа зворотної хвилі (ЛЗХ) і ЛЗХ-клиноотрон 2. Формування стрічкових електронних потоків у клиноотронах ТГц діапазону 3. Особливості конструкції клиноотронів ТГц діапазону 4. Хвилевідний і квазіоптичний виводи енергії клиноотронів 5. Гібридні об'ємно-поверхневі хвилі у клиноотронах з неоднорідними сповільнюючими ми системами <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Yu. S. Kovshov, S. S. Ponomarenko, S. A. Kishko, A. A. Likhachev, A. A. Danik, L. P. Mospan, S. A. Steshenko, E. M. Khutoryan, A. N. Kuleshov, "Effect of Mode Transformation in THz Clinotron", Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, vol. 39, № 11,
--	--	--

		<p>pp.1055–1064, 2018.</p> <ol style="list-style-type: none"> Yu. S. Kovshov, S. S. Ponomarenko, S. A. Kishko, E. M. Khutoryan, A. N. Kuleshov, “Numerical simulation and experimental study of sub-THz and THz CW clinotron oscillators”, IEEE Trans. on Electron Devices, vol. 65, № 6, pp.2177–2182, 2018. Радиофизика и электроника: Сборник научных трудов / НАН Украины. Ин-т радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова; Редкол.: В. М. Яковенко и др. – Харьков, 2007. – 12, спец. вып. – 134 с. A. S. Gilmour, Jr. “Klystrons, Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Cross-Field Amplifiers, and Gyrotrons” » - Boston-London: Artech House – 2011. Клиноотрон / Г. Я. Левин, А. И. Бородкин, А. Я. Кириченко и др. Под ред. А. Я. Усикова. - Киев: Наук. Думка – 1992.
<p>П. Дифракційна електроніка</p>	<p>д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович,</p> <p>к.ф.-м.н., с.н.с. Мірошніченко Володимир Семенович,</p> <p>к.ф.-м.н., с.н.с. Хуторян Едуард Михайлович</p>	<p>Лекція 6. Теорія генераторів дифракційного випромінювання (ГДВ) Лектор: д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> Дифракційне випромінювання заряду, що рухається близько до періодичної структури – дифракційної решітки, як випромінювання Сміта-Парсела Ефект Сміта-Парсела як ефект надвипромінювання Збудження ендовібраторів – об’ємних резонаторів – зовнішніми джерелами Збудження відкритих резонаторів (ВР) внутрішніми джерелами. Спектр резонансних коливань, виділення резонансних додатків і нерезонансного випромінювання Теорія взаємодії прямолінійного електронного потоку з полем ВР ГДВ Одночастинкове наближення та аналітична оцінка граничного ККД <p>Лекція 7. Теорія автоколивачів у ГДВ Лектор: д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> Стартовий струм, електронне перестроювання частоти, потужність та ККД генерації Збудження автоколивачів на основній моді ВР ГДВ Особливості збудження мод з варіаціями поля вздовж руху електронів: підсилення та автоколювання при негативних розсинхронізмах Багатомодові автоколювання. Конкуренція та

		<p>кооперація мод</p> <p>5. Багатопучковий ГДВ і ГДВ з відбиттям електронів у полі ізольованого колектора електронів</p> <p>6. Динамічний хаос у приладах дифракційної електроніки</p> <p>Лекція 7 (дубль). Нелінійні явища в ГДВ та деякі модифікації ГДВ</p> <p>Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Хуторян Едуард Михайлович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нелінійна теорія ГДВ: Гістерезис та багатомодові коливання в ГДВ (конкуренція мод) 2. Модифікації ГДВ: ГДВ-ЛМН (з локальною магнітною неоднорідністю) 3. ВГДВ (ГДВ з відбиттям електронного потоку) 4. Генерація в ГДВ на просторових гармоніках 5. Генерація на вищих часових гармоніках струму. Режим множення частоти <p>Лекція 8. Методи розробки та дослідження генераторів дифракційного випромінювання</p> <p>Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Мірошніченко Володимир Семенович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Електромагнітне моделювання та “холодні” дослідження відкритих резонансних систем, що використовуються в ГДВ 2. Методи дослідження вихідних характеристик ГДВ в неперервному та імпульсному режимах дії. <p>Лекція 9. Огляд сучасного стану розробок ГДВ та перспективних варіантів конструкції ГДВ для освоєння ТГц-діапазону.</p> <p>Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Мірошніченко Володимир Семенович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Місце ГДВ серед сучасних приладів НВЧ-електроніки 2. Інтерес в інших країнах до розробки ГДВ 3. Використання ГДВ в науці та техніці. <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шестопапов В.П. Дифракционная электроника. Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1976. 231 с. 2. Генераторы дифракционного излучения / Под ред. Шестопапова В.П.; АН УССР. Ин-т радиофизики и электрон. К.: Наук. Думка, 1991. 320 с. 3. Электроника сверхвысоких частот : Основы теории и лабораторный практикум : Учеб. пособ. / О.О. Шматько, Э.М. Одаренко ; Харьковский нац. ун-т им.
--	--	---

		<p>В.Н. Каразина. Харьков : Факт, 2003.</p> <p>4. E. M. Khutoryan, Yu. S. Kovshov, A. A. Likhachev, S. S. Ponomarenko, S. A. Kishko, K. A. Lukin, V. V. Zavertanniy, T. V. Kudinova, S. A. Vlasenko, A. N. Kuleshov, T. Idehara, "Excitation of hybrid space-surface waves in clinotrons with non-uniform grating", Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, vol. 39, № 3, pp.236–249, 2018.</p> <p>5. Бакай А.С., Лукин К.А., Шестопалов В.П. Нелинейная нестационарная теория генераторов дифракционного излучения. Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика, 1979, Т. 22, № 9.</p>
<p>III. Релятивістська електроніка. Нетрадиційні методи, що реалізуються при створенні потужних електронних приладів НВЧ і КВЧ діапазонів</p>	<p>д.ф.-м.н., с.н.с. Прокопенко Юрій Володимирович, к.ф.-м.н., с.н.с. Ільєнко Костянтин Володимирович</p>	<p>Лекція 10. Електронний пучок з надкритичним струмом. Генерування НВЧ-випромінювання за допомогою сильнострумівих РЕП Лектор: д.ф.-м.н., с.н.с. Прокопенко Юрій Володимирович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Генерація та транспортування сильнострумівих релятивістських електронних пучків (РЕП) 2. Електронний пучок з надкритичним струмом. Коливання віртуального катоду 3. Генератори на віртуальному катоді 4. Діагностика параметрів імпульсів потужного НВЧ-випромінювання <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Андреев В.В., Балмашнов А.А., Корольков В.И., Лоза О.Т., Милантьев В.П. Физическая электроника и её современные приложения: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 383 с. 2. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. Т. 2. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 648 с. - ISBN 5-9221-0200-1. <p>Лекція 11. Автоколивальна система на базі ЦДР з модами шепочучої галереї Лектор: д.ф.-м.н., с.н.с. Прокопенко Юрій Володимирович</p> <p><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Збудження багатострумівим електронним пучком власної моди шепочучої галереї циліндричного діелектричного резонатора 2. Монотронний механізм генерації 3. Конструкція генератора і результати експериментальних досліджень <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mathematical model of an excitation by electron beam of

		<p>"whispering gallery" modes in cylindrical dielectric resonator / Galaydych K. V., Lonin Yu. F., Ponomarev A. G., Prokopenko Yu. V., Sotnikov G. V. // Problems of Atomic Science and Technology. Series: "Plasma Physics". – 2010. – Issue 16, No. 6. – P. 123-125.</p> <p>2. Автоколебательная система на основе диэлектрического резонатора с модами "шепчущей галереи" / Дормидонтов А. В., Кириченко А. Я., Лонин Ю. Ф., Пономарев А. Г., Прокопенко Ю. В., Сотников Г. В., Уваров В. Т., Филиппов Ю. Ф. // Письма в ЖТФ. – 2012. – Т. 38, Вып. 2. – С. 65-73.</p> <p>3. Возбуждение миллиметровых волн сильноточным РЭП в диэлектрическом резонаторе / Галайдыч К. В., Лонин Ю. Ф., Пономарев А. Г., Прокопенко Ю. В., Сотников Г. В., Уваров В. Л. // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). Серия: Ядерно-физические исследования. – 2012. – Вып. 58, № 3 (79). – С. 174-178.</p> <p>4. Nonlinear analysis of mm waves excitation by high-current REB in dielectric resonator / Galaydych K. V., Lonin Yu. F., Ponomarev A. G., Prokopenko Yu. V., Sotnikov G. V. // Problems of Atomic Science and Technology. Series: "Plasma Physics". – 2012. – Issue 18, No 6(82). – P. 158-160.</p> <p>Лекція 12. Інтенсивні електронні пучки. Критичний струм пучка. Лазер на вільних електронах Лектор: к.ф.-м.н., с.н.с. Ільєнко Костянтин Володимирович</p> <p style="text-align: center;"><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Граничний струм релятивістського електронного пучка (РЕП), який транспортується у супроводжуючому магнітостатичному полі, у плоскому діоді та камерах дрейфу циліндричної та коаксильної геометрії. 2. Взаємодія електронного пучка з «швидкими» (неповільненими) електромагнітними хвилями. 3. Синхротронне й ондуляторне випромінювання 4. Лазер на вільних електронах <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Кузелев М.В., Рухадзе А.А., Стрелков П.С. Плазменная релятивистская СВЧ электроника. М: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 2. A. Kuleshov, Y. Ishikawa, Y. Tatematsu, S. Mitsudo, T. Idehara, E. Khutoryan, S. Kishko, S. Ponomarenko, M. Glyavin, I. Bandurkin, V. Manuilov, A. Fedotov, T. Saito, "Low-Voltage Operation of the Double-Beam Gyrotron at 400 GHz", IEEE Trans. on Electron Devices, vol. 67, № 2, pp.673–676, 2020.
--	--	--

		<p>3. Кураев А.А. Мощные приборы СВЧ: Методы анализа и оптимизации параметров. М.: Радио и связь, 1986. 208 с.</p> <p>4. Маршал Т. Лазеры на свободных электронах. М.: Мир, 1987. 240 с.</p>
<p>IV. Твердотільна електроніка</p>	<p>д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович,</p> <p>д.ф.-м.н., с.н.с. Прокопенко Юрій Володимирович</p>	<p>Лекція 13. Особливості напівпровідникової електроніки НВЧ і КВЧ діапазонів Лектор: д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович</p> <p style="text-align: center;"><i>План лекції</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Напівпровідникові пристрої НВЧ і КВЧ діапазонів та їх властивості 2. Підсилювачі та генератори см, мм і субмм хвиль на тунельних діодах, діодах Ганна, ЛПД, ЛГД і транзисторах 3. Фактори, що обмежують застосування напівпровідникових підсилювачів і генераторів НВЧ і КВЧ діапазонів та чутливість супергетеродинних приймачів <p>Лекція 14. Струмова нестійкість в $p-n$-переході з ударною іонізацією і напівпровідникові генератори на її основі Лектор: д.ф.-м.н., професор Лукін Костянтин Олександрович</p> <p style="text-align: center;"><i>План лекції</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Струмова нестійкість у зворотно-зміщеному $p-n$-переході з ударною іонізацією 2. Генератори мм і субмм хвиль на основі нестійкості в $p-n$-переході з ударною іонізацією 3. Напівпровідниковий фотоелектронний помножувач на основі $p-n-i-p-n$ структури 4. Динамічний хаос у зворотно-зміщеному $p-n$-переході з ударною іонізацією 5. Генерування двохчастотних коливань терагерцевого діапазону <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Техника спектроскопии в дальней инфракрасной, субмиллиметровой и миллиметровой областях спектра. пер. с англ. под ред. Т.М.Лифшица. М.МИР, 1970 2. В.С.Эткин Полупроводниковые параметрические усилители и преобразователи СВЧ. М. Радио и связь.1983 3. М.С.Гусятинер, А.И.Горбачев Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. М.Радио и связь, 1983. 4. Дж.Кэррол. СВЧ–генераторы на горячих электронах.М.МИР,1972

		<p>5. М. Шур. Современные приборы на основе арсенида галлия. М : Мир, 1991.</p> <p>Лекція 15. Взаємодія потоків заряджених частинок з твердотільними структурами різних конфігурацій, в тому числі що містять плазмоподібні і штучні середовища, а також малорозмірні заряджені поверхні</p> <p>Лектор: д.ф.-м.н., с.н.с. Прокопенко Юрій Володимирович</p> <p style="text-align: center;"><i>План лекції:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Електромагнітне випромінювання зарядженої частинки, що рухається по спіральній траєкторії навколо діелектричного циліндру 2. Механізми збудження власних хвиль циліндричних твердотільних структур з двомірним електронним газом (електростатичне наближення) 3. Черенковське збудження поверхневих хвиль в циліндричних структурах з двомірним електронним газом (електростатичне наближення) 4. Нестійкість трубчатого електронного пучка при розповсюдженні над діелектричним циліндром (врахування ефектів спізнення у циліндрі) 5. Взаємодія трубчатого пучка заряджених частинок з диспергуючим середовищем циліндричної конфігурації <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Averkov Yu. O., Prokopenko Yu. V., Yakovenko V. M. Numerical Analysis of the Interaction between a Tubular Beam of Charged Particles and a Dielectric Cylinder// JETP, Vol. 130, No. 5, P. 737–747, 2020. DOI: 10.1134/S1063776120030012 2. Averkov Yu. O., Prokopenko Yu. V., Yakovenko V. M. Nonlinear Stabilization of Resistive Instability of a Tubular Charged Particle Beam Moving above a Solid-State Plasma Cylinder // Plasma Physics Report, Vol.45, No.6, P. 565–572, 2019. DOI: 10.1134/S1063780X19060011 [https://rdcu.be/bHnUy] 3. Yu. O. Averkov, Yu. V. Prokopenko, and V. M. Yakovenko Interaction between a tubular beam of charged particles and a dispersive metamaterial of cylindrical configuration // Phys. Rev. E. Vol. 96, Issue 1. P. 013205(12), 2017. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.013205. 4. Ю.О. Аверков, Ю.В. Прокопенко, В.М. Яковенко Потери энергии заряженной частицы при взаимодействии с диэлектрическим цилиндром // Радиофизика и электроника. Т. 25. № 1. С. 60–69. 2020. DOI: https://10.15407/rej2020.01.060
--	--	--

		<p>5. Averkov Yu. O., Prokopenko Yu. V., Yakovenko V. M. Instability of a Tubular Electron Beam Moving over a Dielectric Cylinder // Technical Physics, Vol. 62, No. 10. P. 1578–1584, 2017. DOI: 10.1134/S1063784217100061</p> <p>6. Кузелев М.В., Рухадзе А.А., Стрелков П.С. Плазменная релятивистская СВЧ электроника. М: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.</p>
Звітність		Екзамен