

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ, НАМЕЧАЕМЫХ  
К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ ПТЭ

DOI: 10.31857/S0032816221040303

## ОБЗОРЫ

**Куцаев С.В.** Новые технологии для создания малогабаритных линейных ускорителей электронов (*обзор*). — 30 с., 17 рис.

Приводится обзор новых технологий, позволяющих реализовать такие современные принципы разработки и создания прикладных линейных ускорителей электронов, как модульность, миниатюризация и снижение их стоимости. Развитие ускорителей в данном направлении стало возможным благодаря появлению таких технологий, как компактные источники высококачественного (в.ч.) питания, эффективные подходы к изготовлению ускоряющих структур, а также повышение ускоряющих градиентов и снижение мощности в.ч.-потерь в структурах. Обзор основан на опыте работы автора по разработке малогабаритных ускорителей.

## ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

**Алексеев В.И., Басков В.А., Варфоломеева Е.А., Дронов В.А., Львов А.И., Кольцов А.В., Кречетов Ю.Ф., Полянский В.В., Сидорин С.С.** Энергетические характеристики многоканального сцинтилляционного спектрометра. — 9 с., 7 рис.

Представлены результаты калибровки многоканального сцинтилляционного спектрометра толщиной  $2.5X_0$  на пучке вторичных электронов ускорителя “Пахра” Физического института имени П.Н. Лебедева РАН с энергий в диапазоне от 23 до 280 МэВ. Относительное энергетическое разрешение спектрометра зависит от энергии электронов и толщины спектрометра. Наилучшее относительное энергетическое разрешение спектрометра достигается при энергии электронов  $\sim 90$  МэВ и составляет  $\delta = 13\%$  и  $\delta = 9.4\%$  при толщинах спектрометра  $1X_0$  и  $2.5X_0$  соответственно.

**Баранов А.Г., Басков В.А., Герасимов Д.П., Губер Ф.Ф., Дронов В.А., Ивашкин А.П., Известный А.В., Львов А.И., Морозов С.В., Наумов П.Ю., Полянский В.В., Решетин А.И., Салахутдинов Г.Х.** Передние годоскопы заряженных фрагментов ядер для эксперимента VM@N. — 7 с., 5 рис.

Разработаны и изготовлены два варианта переднего годоскопа: на основе сцинтилляционных и радиационно-стойких кварцевых пластин. Годоскопы предназначены для регистрации ионов в эксперименте VM@N на ускорительном комплексе NICA. На калибровочном пучке вторичных электронов синхротрона “Пахра” ФИАН измерены световые выходы и их неоднородность в зависимости от координаты прохождения частиц через пластины годоскопов.

**Бессараб А.В., Богомолов В.И., Иванов В.В., Мартыненко С.П., Прокуров М.В., Шабалин А.Н., Шубин С.А.** Низкофоновое детектирующее устройство на основе метода бета-гамма-совпадений для измерения степени обжигания топлива в процессе лазерного термоядерного синтеза. — 13 с., 6 рис.

Описана конструкция и приведены результаты исследования характеристик детектирующего устройства на основе метода  $\beta$ - $\gamma$ -совпадений для определения произведения плотности топлива (DT-газа), облученного в процессе лазерного термоядерного синтеза на установке “Искра-5”, на его радиус в момент максимального сжатия:  $\langle \rho R \rangle$ . Данная величина характеризует степень приближения состояния DT-газа к условиям зажигания термоядерной реакции. Она определяется путем регистрации детектирующим устройством излучения  $\beta$ -радиоактивного нуклида  $^{28}\text{Al}$ , ядра которого образуются при облучении нейтронным потоком ядер  $^{28}\text{Si}$ , входящего в состав стеклянной оболочки микромишени, содержащей DT-газ. Число образовавшихся ядер  $^{28}\text{Al}$  пропорционально величине  $\langle \rho R \rangle$ . Детектирующее устройство состоит из двух включенных по схеме совпадений детекторов, один из которых —  $\gamma$ -детектор на основе кристалла NaI(Tl) размером  $\varnothing 200 \times 200$  мм с колодцем  $\varnothing 75 \times 150$  мм, предназначенный для регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 1.836 МэВ, второй — размещенный в колодце  $\gamma$ -детектора  $\beta$ -детектор. Образец с ядрами  $^{28}\text{Al}$  через отверстие в  $\beta$ -детекторе помещают в центре детектирующего устройства. Это практически обеспечивает  $4\pi$ -геометрию измерений. Эффективность регистрации  $\beta$ -распада ядер  $^{28}\text{Al}$  детектирующим устройством составляет  $\sim 12\%$ , фон  $\sim 0.5$  импульса/мин.

**Кузьмин Е.С., Зимин И.Ю.** Оптимизация структуры гетерогенного сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов. — 10 с., 6 рис.

Представлены результаты моделирования и оптимизации композитного сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов. Моделировалось взаимодействие тепловых нейтронов и  $\gamma$ -квантов с композитами, состоящими из расположенных в органической матрице фрагментов стеклянного сцинтиллятора, содержащего  $^6\text{Li}$ . Целью исследований было определение структуры композита, обладающего высокой чувствительностью к тепловым нейтронам и обеспечивающего эффективное подавление сигналов от  $\gamma$ -квантов. В ходе моделирования были определены оптимальные структурные параметры композита, такие как размер фрагментов и концентрация стекла. Согласно представленным результатам моделирования, оптимизированные композиты в условиях облучения тепловыми нейтронами могут

обеспечить эффективность обнаружения нейтронов не менее 50% с чувствительностью к  $\gamma$ -квантам на уровне  $\eta < 10^{-6}$ .

**Сучков С.И., Архангельский А.И., Басков В.А., Гальпер А.М., Далькаров О.Д., Львов А.И., Паппе Н.Ю., Полянский В.В., Топчиев Н.П., Чернышева И.В.** Калибровка макета калориметра гамма-телескопа ГАММА-400 на пучке позитронов ускорителя “Пахра”. — 11 с., 9 рис.

На электронном синхротроне С-25Р “Пахра” ФИАН проведена калибровка макета электромагнитного калориметра  $\gamma$ -телескопа ГАММА-400. Результаты измерения энергетического разрешения согласуются с результатами расчетов методом Монте-Карло характеристик калориметра ГАММА-400. Подтверждена возможность применения ускорителя С-25Р “Пахра” ФИАН для калибровок детекторов в различных экспериментах.

## ЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОТЕХНИКА

**Коротков С.В., Жмодиков А.Л.** Мощный диодно-динисторный генератор для газоразрядных технологий. — 7 с., 5 рис.

Рассмотрен генератор импульсов высокого напряжения, содержащий выходную цепь на основе последовательно соединенных блоков реверсивно включаемых динисторов и диодов с резким восстановлением. На нагрузке 50 Ом он формирует импульсы напряжения с фронтом 4 нс и амплитудой 24 кВ. Приведены результаты использования генератора для создания разрядов в атмосферном воздухе. На частоте 100 Гц генератор формирует импульсы разрядного тока с амплитудой 1.7 кА и фронтом 900 нс и коммутирует в канал разряда энергию ~3 Дж. Показана возможность существенного увеличения коммутируемой энергии.

**Коротков С.В., Кузнецов А.С., Аристов Ю.В.** Генератор мощных объемных разрядов наносекундной длительности. — 6 с., 6 рис.

Описан генератор мощных наносекундных импульсов, содержащий высоковольтный блок, выполненный на основе цепи магнитного сжатия и диодного прерывателя тока, и низковольтный транзисторный блок, который обеспечивает высокоэффективную коммутацию энергии в высоковольтный блок. Приведены результаты использования генератора в экспериментальной плазменной установке, разработанной для исследования возможности синтеза кремния из смеси  $H_2$  и  $SiF_4$ .

**Лубков А.А., Котов В.Н., Перебейнос С.В., Зотов А.А.** Генератор высоковольтных биполярных импульсов. — 13 с., 9 рис.

Разработан генератор высоковольтных биполярных импульсов с регулируемыми значениями частоты переключения (0–2000 Гц) и амплитуды выходного напряжения (300–3600 В), равной по модулю у импульсов разной полярности. Длительность фронтов выходных импульсов напряжения при работе на емкостную нагрузку 400 пФ — не более 3 мкс. Асимметрия действующих значений напряжений импульсов разной полярности при частотах переключения 0–200 Гц не более 0.02%. Генератор обеспечивает синхронизацию моментов переключения высокого напряжения с работой видеокамеры магнитографа и других устройств. Генератор может быть использован в различных обла-

стях экспериментальной физики, связанных с поляризационными измерениями.

**Рожков А.В.** Высоковольтный высокочастотный генератор субнаносекундных импульсов на основе арсенид-галлиевых дрейфовых диодов с резким восстановлением. — 7 с., 3 рис.

Показана перспектива использования высоковольтных дрейфовых GaAs-диодов с резким восстановлением для формирования импульсов субнаносекундной длительности. Приводится электрическая схема генератора, обеспечивающего при общей эффективности не менее 25% получение на нагрузке 50 Ом импульсов амплитудой до 550 В с временем нарастания напряжения 0.43 нс, длительностью на полувысоте амплитуды 0.73 нс и частотой следования до 200 кГц.

**Шошин Е.Л.** Дискретные поляризационные модуляторы радиолокационных сигналов. — 13 с., 6 рис.

Рассмотрен метод формирования неполяризованных электромагнитных волн. Проведен анализ погрешности измерения параметров Стокса рассеянной радиоволны при внешней калибровке радиолокационного поляриметра с использованием неполяризованных зондирующих радиосигналов. Описана конструкция диодного волноводного-планарного формирователя, обладающего быстродействием переключения 1 мкс при реализации дискретной поляризационной модуляции зондирующих радиосигналов. Описана конструкция коммутируемого волноводного модулятора, формирующего мощные неполяризованные радиолокационные сигналы. Приведены рабочие характеристики поляризационных модуляторов.

## ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Антонов С.Н., Резвов Ю.Г.** Акустооптический дефлектор на парателлурите — повышение тепловой стабильности параметров. — 9 с., 8 рис.

Экспериментально исследованы явления, возникающие при внутреннем нагреве (выделении управляющей радиомощности) акустооптического дефлектора на основе парателлурита с отводом тепла от пьезопреобразователя через жидкостный контакт. Установлено, что, кроме температурного дрейфа скорости звука и показателей преломления, существенное влияние на характеристики дефлектора оказывает температурная неоднородность. При этом объем кристалла ведет себя как оптический клин — более оптически плотный у преобразователя, и менее плотный — при удалении от него. Обнаружен эффект внутренней компенсации тепловой девиации положения дифрагированного луча при определенной ориентации дефлектора.

**Антонов С.Н., Резвов Ю.Г.** Акустооптический модулятор для лазерных доплеровских анемометров потоков жидкости и газа. — 9 с., 6 рис.

Рассмотрена схема лазерного доплеровского двухлучевого анемометра потока жидкости или газа на основе акустооптического модулятора на кристалле  $TeO_2$ , выполняющего функции делителя луча и сдвигателя частоты света. Показано, что режим акустооптической дифракции — аксиальное двухфононное взаимодействие на медленной акустической моде — наиболее оптимален для схем анемометров. В этом режиме формируются два равноинтенсивных дифрагированных луча с однонаправленными поляризациями, разность частот между которыми равна удвоенной частоте ультра-

звука. Выполнен расчет частоты параметров модулятора для анемометров с различными длинами волн света.

**Градобоев А.В., Орлова К.Н., Симонова А.В., Седнев В.В.** Имитация различных внешних воздействий на светодиоды схемным моделированием объемных каналов утечки тока. — 16 с., 19 рис.

Описана методика физического моделирования влияния объемных каналов утечки тока (дислокаций) на электрофизические и светотехнические характеристики светодиодов путем подключения параллельно  $p-n$ -переходу светодиода омического сопротивления или другого  $p-n$ -перехода. Установлены соотношения, позволяющие определить изменение электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов при воздействии различных внешних факторов (ионизирующего излучения, длительной эксплуатации и т.д.). Используя полученные соотношения, можно определить электрофизические характеристики дислокаций по изменению электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов при учете роли дислокаций. На основе известных литературных данных показана эффективность использования установленных соотношений при анализе характеристик светодиодов, подвергнутых внешним воздействиям.

**Жидков Н.В., Поздняков Е.В., Сулов Н.А.** Фокусировка рентгеновского излучения с энергией квантов 9.5 кэВ эллипсоидом с кристаллом НОРГ. — 9 с., 4 рис.

Описана постановка и результаты полномасштабных экспериментов на лазерной установке «Искра-5» (150 Дж лазерной энергии в импульсе длительностью 0.3 нс, плотность потока лазерного излучения на мишене  $1.6 \cdot 10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>) по фокусировке жесткого рентгеновского излучения от лазер-плазменного источника с Га-мишенью с помощью эллипсоида с кристаллом НОРГ. Описана конструкция указателя, позволившая в экспериментах источник рентгеновского излучения создавать в фокусе эллипсоида с точностью не хуже 100 мкм. В полномасштабных экспериментах на расстоянии 250 мм достигнута фокусировка рентгеновского излучения в пятно диаметром 1 мм. Получено восьмидесятикратное увеличение плотности потока рентгеновского излучения с энергией квантов 9.5 кэВ.

**Исмагилов Р.Р., Логинов А.Б., Малыхин С.А., Клещ В.И., Образцов А.Н.** Анализ низкотемпературной плазмы методом оптической эмиссионной спектроскопии с пространственным сканированием. — 10 с., 4 рис.

Описана автоматизированная установка, позволяющая получать карты пространственного распределения состава и интенсивности компонент оптических эмиссионных спектров активированной газовой среды, а также проводить термометрию методами машинного обучения, основанного на быстром сопоставлении расчетных и экспериментально регистрируемых спектров излучения. Интерпретируемый язык программирования Python с набором специализированных библиотек использовался как для автоматизации регистрации спектров, так и для их анализа с помощью методов машинного обучения. Установка апробирована на примере метан-водородной газовой среды, активированной разрядом постоянного тока, в установке по плазмохимическому осаждению углеродных наноматериалов. Программные средства автоматизирован-

ной установки позволяют дополнить методику измерений посредством включения дополнительных программных модулей без изменения программного кода основной управляющей программы.

**Карнаушкин П.В., Константинов Ю.А.** Экспериментальная методика юстировки соединения канального оптического волновода с волоконным световодом по отражениям от дальнего торца волновода. — 11 с., 4 рис.

Представлена методика юстировки волновода фотонной интегральной схемы и волоконного световода по отражениям от дальнего торца волновода, полученным с помощью метода оптической рефлектометрии в частотной области. Рефлектометр сконструирован на основе интерферометра Майкельсона. В качестве измерительного плеча интерферометра служила линия, образованная волоконным световодом и канальным волноводом фотонной интегральной схемы. Фотонная интегральная схема с протонно-обменными канальными волноводами из LiNbO<sub>3</sub> была отполирована под углом 10°, а наконечник с волоконным световодом — под углом 15°. В работе проведены и проанализированы эксперименты по юстировке волоконного световода и волновода. Показано, что амплитуда отраженного от дальнего торца волновода сигнала определялась размером продольных и боковых смещений между волоконным световодом и волноводом. Максимальное значение амплитуды пика составило 16 дБ. В ходе экспериментов установлено, что точность методики юстировки составила 4, 1 и 1 мкм по осям X, Y и Z соответственно.

**Кривошеев А.И., Константинов Ю.А., Барков Ф.Л., Первадчук В.П.** Сравнительный анализ точности определения сдвига бриллюэновской частоты в экстремально зашумленных спектрах различными корреляционными методами. — 10 с., 5 рис.

С использованием одних и тех же экстремально зашумленных данных сравниваются два корреляционных метода поиска максимумов бриллюэновских спектров. Первый метод представляет собой известный способ корреляции полученного сигнала с идеальной функцией Лоренца. Во втором методе, разработанном авторами ранее, вместо функции Лоренца используется этот же исследуемый спектр, но инвертированный по оси частот. Помимо оценки точности обоих методов, проведено их сравнение с классическим методом аппроксимации лоренцевой функцией. Дана оценка точности рассмотренных методов в зависимости от вероятности появления артефактов в спектрах бриллюэновского рассеяния. Показано, что при превышении 9%-ной вероятности появления артефакта разработанный ранее авторами метод показывает лучшие результаты, чем остальные рассмотренные методы.

**Мещеряков А.И., Гришина И.А., Вафин И.Ю.** К вопросу о существовании «рентгеновской ямы» в режимах омического и электронного циклотронного резонансного нагрева плазмы в стеллараторе Л-2М. — 8 с., 5 рис.

Предпринята попытка обнаружить путем прямых спектральных измерений явление «рентгеновской ямы» в различных режимах нагрева плазмы в стеллараторе Л-2М. Явлением «рентгеновской ямы» называют аномально сильное поглощение мягкого рентгеновского излучения плазмы при его прохождении через бериллиевые фольги толщиной 90 мкм и более, кото-

рое наблюдалось на токамаке T-11M и ряде других токамаков. В эксперименте использованы сканирующий спектрометр и многопорядковая диагностика мягкого рентгеновского излучения. Показано, что при параметрах плазмы, близких к параметрам плазмы на токамаке T-11M, на стеллараторе L-2M не удалось зарегистрировать явление “рентгеновской ямы” ни в режиме омического нагрева, ни в режиме электронного циклотронного резонансного нагрева плазмы.

**Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Федоренко Ю.В., Филатов М.В., Никитенко А.С. Трехкомпонентный приемник сигналов очень низкого частотного диапазона с прецизионной привязкой данных к Мировому времени.** — 19 с., 5 рис.

Описан разработанный трехкомпонентный приемник сигналов очень низкого частотного диапазона, позволяющий регистрировать две горизонтальные магнитные и вертикальную электрическую компоненты электромагнитного поля в диапазоне частот от 300 Гц до 15 кГц. Особенности приемника являются применение гальванического разделения цифровой и аналоговой частей регистратора и прецизионная привязка данных к мировому времени с ошибкой не более 1 мкс.

**Сокол-Кутыловский О.Л. Магнитный шум феррозондов и магнитомодуляционных датчиков с аморфным ферромагнитным сердечником.** — 10 с., 2 рис.

Отмечено, что основная часть магнитного шума в феррозондах и магнитомодуляционных датчиках с сердечниками из аморфных ферромагнитных сплавов, полученных методом быстрой закалки, возникает в результате сильного магнитоупругого взаимодействия. Рассмотрены последние достижения в снижении порога чувствительности активных датчиков слабого магнитного поля на основе аморфных ферромагнетиков. Выполнена оценка средней амплитуды магнитного шума магнитомодуляционных датчиков с аморфным ферромагнитным сердечником, работающих в режиме автопараметрического усиления. Показано, что средняя амплитуда магнитного шума магнитомодуляционных датчиков может составлять ~0.45 пТл на частоте 0.1 Гц и менее 0.1 пТл на частотах выше 3 Гц.

**Трубицын А.А., Грачев Е.Ю. Цифровой детектор рентгеновских изображений.** — 13 с., 8 рис.

Разработан детектор рентгеновских изображений для установки микрофокусной рентгенографии. Применение элемента поликапиллярной оптики, сопряженного с серийно выпускаемым сенсором на основе комплементарных структур металл—оксид—полупроводник, позволило создать компактную конструкцию детектора без громоздкого объектива. Приведены методики экспериментального определения параметров и характеристик детектора. Определено базовое пространственное разрешение изготовленного детектора, проведена оценка отношения сигнал/шум полученных изображений и построены функции передачи модуляции. Для работы с детектором создано программное обеспечение на языке C++; представлены его основные возможности и функционал.

#### **ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

**Ксенофонтов С.Ю., Купаев А.В., Василенкова Т.В., Терпелов Д.А., Шилагин П.А., Моисеев А.А., Геликонов Г.В. Высокопроизводительный модуль сбора данных и управления широко-**

**полосным спектрометром ближнего инфракрасного диапазона на основе интерфейса USB 3.0.** — 13 с., 6 рис.

Описаны конструкция и принцип работы модуля сбора данных и управления широкополосным спектрометром ближнего инфракрасного диапазона, разработанного в качестве основного интерфейсного устройства в составе системы визуализации внутриглазных структур методом оптической когерентной томографии. Достигнутые технические характеристики этого модуля позволяют создать спектральную диагностическую систему оптической когерентной томографии с показателем продольного разрешения в несколько микрометров. Использование в качестве основного канала связи с компьютером интерфейса USB 3.0 обеспечивает компактность, мобильность и универсальность диагностической системы. Была обеспечена работоспособность системы сбора данных на фоне вычислительно-сложных асинхронных процедур синтеза непрерывного потока томографических изображений в реальном времени, что позволяет обеспечить интерактивный режим использования системы визуализации.

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ ТЕХНИКА**

**Аймаганбетов К.П., Алдияров А.У., Жантуаров С.Р., Алмасов Н.Ж., Теруков Е.И., Токмолдин Н.С. Низкотемпературная ячейка для проведения высокочастотных электрофизических измерений полупроводниковых устройств.** — 9 с., 6 рис.

Описана экспериментальная измерительная ячейка, предназначенная для исследования электрофизических характеристик полупроводниковых элементов при низких температурах. В отличие от традиционных двухконтактных установок такого типа, разработанная экспериментальная ячейка имеет три измерительных контакта, позволяющих проводить электрофизические измерения плоских и объемных образцов. Рабочий температурный диапазон ячейки составляет  $\geq 16$  К. Проведены измерения импедансных характеристик гетеропереходного кремниевого и перовскитного солнечных элементов в диапазонах частоты от 100 Гц до 5 МГц и температуры от 120 до 300 К. Результаты измерений удовлетворительно согласуются с литературными данными.

**Бурдин В.В., Константинов Ю.А., Клод Д., Латкин К.П., Белокрылов М.Е., Кривошеев А.И., Цибиногина М.К. Многостадийный контроль качества активных волоконных световодов.** — 13 с., 11 рис.

Разработан комплекс методик и сконструированы установки для многостадийного контроля качества активных волоконных световодов. Комплекс включает в себя экспериментальный стенд для измерения гидроксильных групп в крупке кварцевого стекла по поглощению крупки в области обертона валентных колебаний O—H-групп 1300–1450 нм; установку для измерения концентрации ионов эрбия в преформе (метод основан на измерении интенсивности люминесценции ионов эрбия в области длин волн 1.54–1.56 мкм); а также экспериментальный рефлектометр для контроля качества активных оптических волокон. Указанные экспериментальные методики вместе представляют собой гибкий инструмент мониторинга качества активных волокон на стадиях от подготовки сырья до тестирования готовых волокон.

**Р ю т и н С.Б. Установка для исследования нестационарного теплообмена в жидких средах.** — 6 с., 4 рис.

Описана установка, предназначенная для исследования нестационарного теплообмена в различных жидких средах методом управляемого нагрева тонкого проволочного зонда. Главным звеном установки является быстродействующий электронный регулятор, обеспечивающий управление мощностью, рассеиваемой на зонде в зависимости от управляющего напряжения на входе регулятора. Основные параметры установки: зондом яв-

ляется платиновая проволока  $\varnothing 20$  мкм и длиной 1 см, время реакции регулятора  $\approx 1-2$  мкс, точность поддержания значения мощности 0.05%, время нагрева 1–500 мс, плотность теплового потока с поверхности зонда до 20 МВт/м<sup>2</sup>. Представлена методика измерений и приведен пример применения установки для исследования спиноподобного распада водного раствора полипропиленгликоля (ППГ-425), имеющего нижнюю критическую температуру растворения.