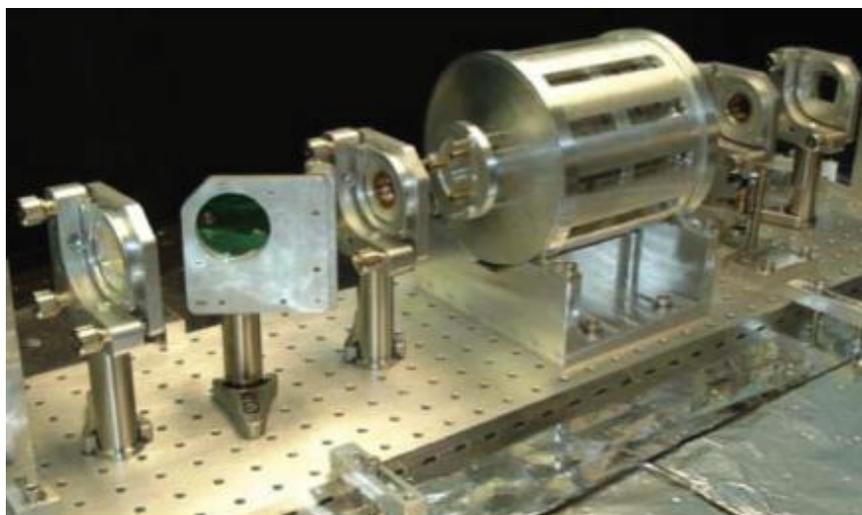


## 1. Оптические изоляторы Фарадея для детектора гравитационных волн LIGO

Разработаны и созданы уникальные оптические изоляторы Фарадея с параметрами, необходимыми для эффективной работы лазерных интерферометров для детектирования гравитационных волн. Разработанные изоляторы обеспечивают высокую степень изоляции и пренебрежимо малые поляризационные, амплитудные и фазовые искажения, вносимые в лазерный пучок, даже при большой мощности лазерного излучения. Изоляторы были установлены на обсерватории LIGO, которая впервые напрямую зарегистрировала гравитационные волны.

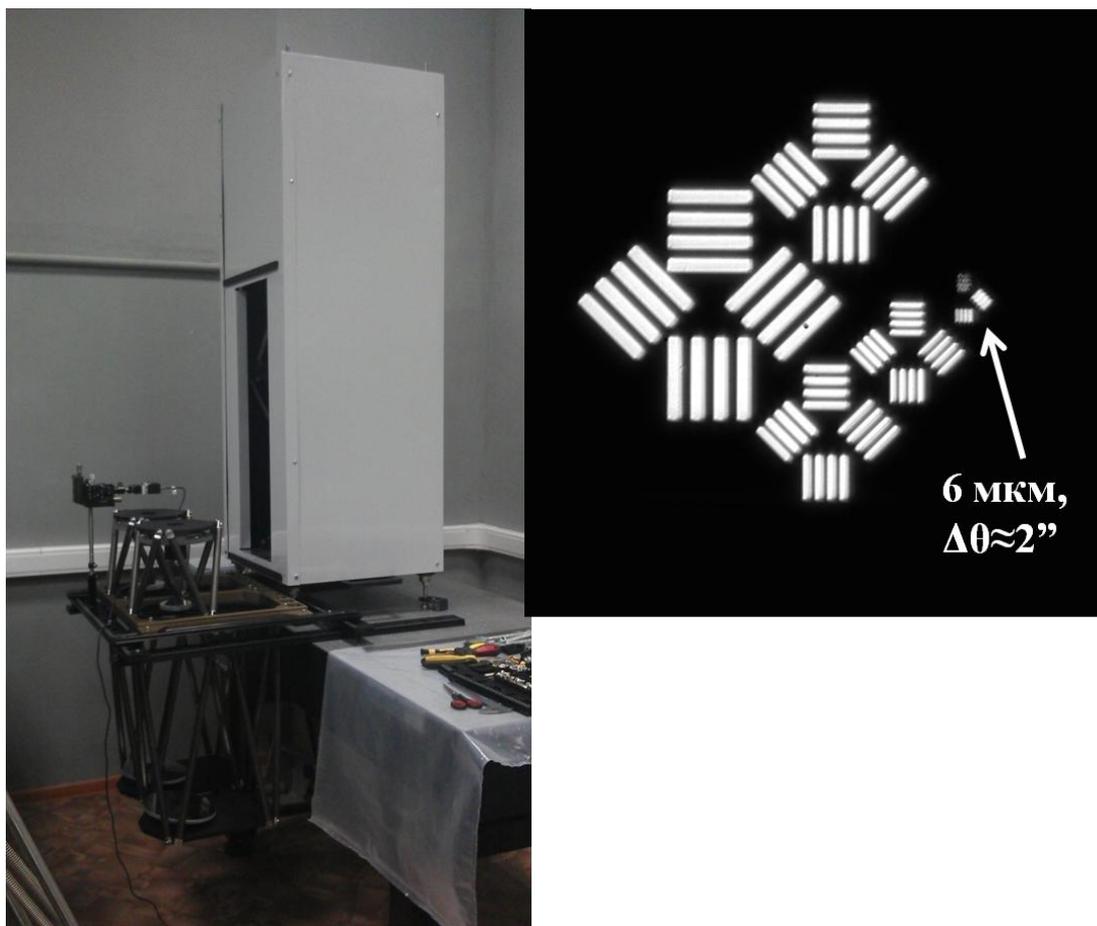
**Авторы:** И. Б. Мухин, Д. С. Железнов, В. В. Зеленогорский, И. Л. Снетков, О. В. Палашов, Е. А. Хазанов, А. М. Сергеев (ИПФ РАН).



## 2. УФ телескоп для космического мониторинга

Предложен и изготовлен полнозеркальный телескоп для систем космического мониторинга околоземного пространства с отражательным корректором aberrаций для УФ и вакуумного УФ диапазона с рекордными полем зрения ( $\pm 1.5^\circ$ ) и угловым разрешением ( $\sim 3''$ ).

**Авторы:** С.Н. Вдовичев, И.В. Малышев, Н.Н. Салашченко, А.Е. Пестов, В.Н. Полковников, М.Н. Торопов, С.А. Чуринов, Н.И. Чхало (ИФМ РАН - филиал ИПФ РАН); И.Л. Струля (ОАО "Композит", г. Королев).



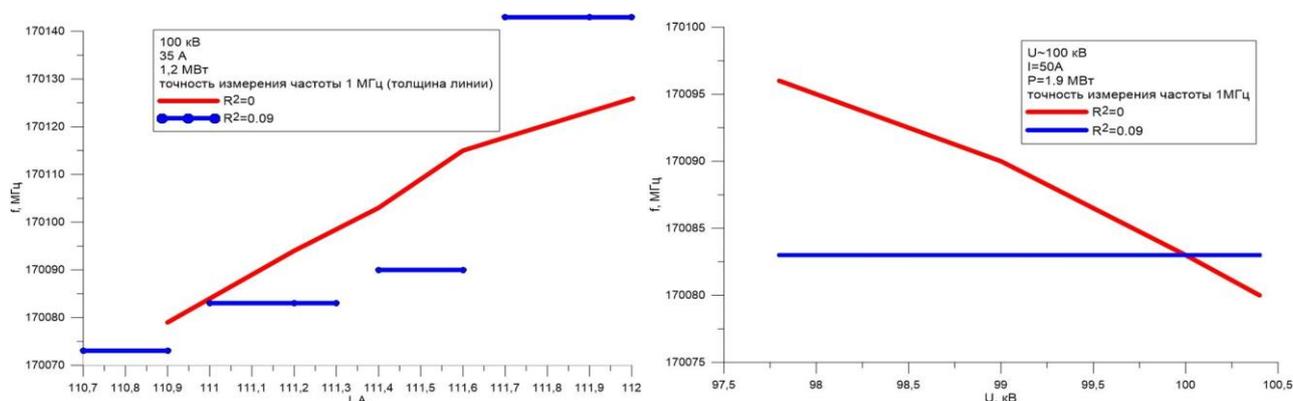
### Публикации:

1. M. N. Brychikhin, N. I. Chkhalo, Ya. O. Eikhorn et al. Applied Optics, V.55, Is.16, pp. 4430-4435 (2016).
2. N.I. Chkhalo, I.V. Malyshev, A.E. Pestov, V.N. Polkovnikov, N.N. Salashchenko, M.N. Toropov, and A.A. Soloviev, Applied Optics, Vol. 55, No. 3, pp. 619-625 (2016).
3. А.К. Акопов, М.Н. Брычихин, Ю.А. Пластинин, А.А. Ризванов, И.Л. Струля, Я.О. Эйхорн, И.В. Малышев, А.Е. Пестов, В.Н. Полковников, М.Н. Торопов, Н.И. Чхало, Космонавтика и ракетостроение, Т. 5 №78, с. 77-85 (2014).

### 3. Стабилизация частоты излучения гиротрона отраженной волной

Для стабилизации частоты гиротронов использован оптимальный по величине и задержке отраженный сигнал. Показано, что изменение частоты при вариации технических параметров существенно (в десятки раз) уменьшаются по сравнению с гиротроном без отражений. Эксперименты выполнены с гиротронами 10 кВт/28ГГц и 1 МВт/170 ГГц и согласуются с теоретическими расчетами. Предлагаемый подход позволит создать высокостабильные гиротроны для спектроскопии и диагностики плазмы.

В эксперименте с гиротроном с рабочей частотой 170 ГГц использование оптимизированного отражения позволило обеспечить стабильность рабочей частоты в пределах 2МГц (см. рис.).



*Зависимость частоты гиротрона от магнитного поля (слева) и ускоряющего напряжения (справа) в отсутствие отражения (красные линии) и при использовании оптимального отражения (синие линии).*

**Авторы:** А.А.Богдашов, М.Ю.Глявин, Г.Г.Денисов, А.Н.Куфтин, Ю.В.Новожилова, А.В.Чирков, А.П.Фокин (ИПФ РАН)

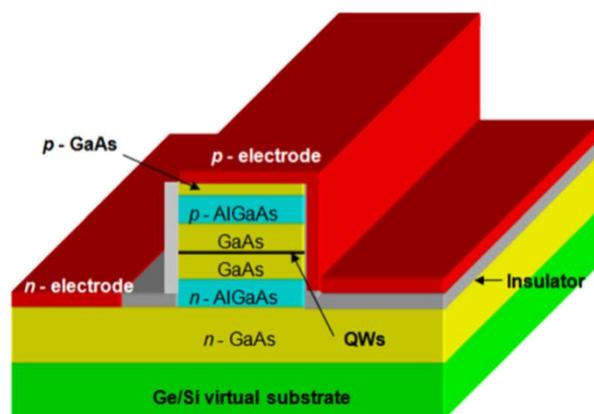
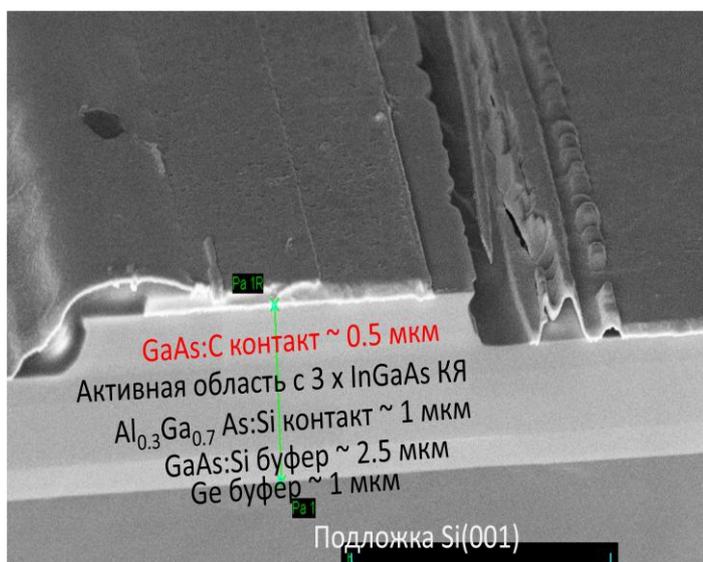
#### Публикации:

1. A.V. Chirkov, G.G. Denisov, A.N. Kuftin Perspective gyrotron with mode converter for co- and counter-rotation operating modes. Appl. Phys. Lett., 106, 263501 (2015).
2. M.Yu. Glyavin, G.G. Denisov, M.L. Kulygin, et al. Gyrotron Frequency Stabilization by a Weak Reflected Wave Radiophysics and Quantum Electronics 58, 673-683 (2016)
3. M.M. Melnikova, A.G. Rozhnev, N.M. Ryskin, A.V. Tyshkun, M.Y. Glyavin, Y.V. Novozhilova. Frequency Stabilization of a 0.67 THz gyrotron by self-injection locking IEEE Trans. Electron Devices, 63, 3, 1288 - 1293 (2016)

#### 4. Гибридный лазер InGaAs/GaAs/AlGaAs на подложке Ge/Si(001).

Впервые создан инжекционный гибридный лазер ближнего ИК диапазона для кремниевых оптических соединений (длина волны 0,94...0,99 мкм) с квантовыми ямами InGaAs/GaAs, выращенный на согласованной виртуальной подложке Ge-on-Si(001). Пороговая плотность тока составила 0,46 и 5,5 кА/см<sup>2</sup> при 77 и 300 К соответственно. Продемонстрирована выходная мощность до 0,75 Вт при T=300 К в импульсном режиме.

**Авторы:** В.Я.Алешкин, А.А.Дубинов, З.Ф.Красильник, К.Е.Кудрявцев, А.В.Новиков, Е.В.Скороходов, М.В.Шалеев, А.Н.Яблонский, П.А.Юнин, Д.В.Юрасов (ИФМ РАН); Н.В. Байдусь, С.М. Некоркин, И.В. Самарцев, Д.А.Павлов, А.А.Сушков (ННГУ); А.Г.Фефелов (НПП «Салют»).



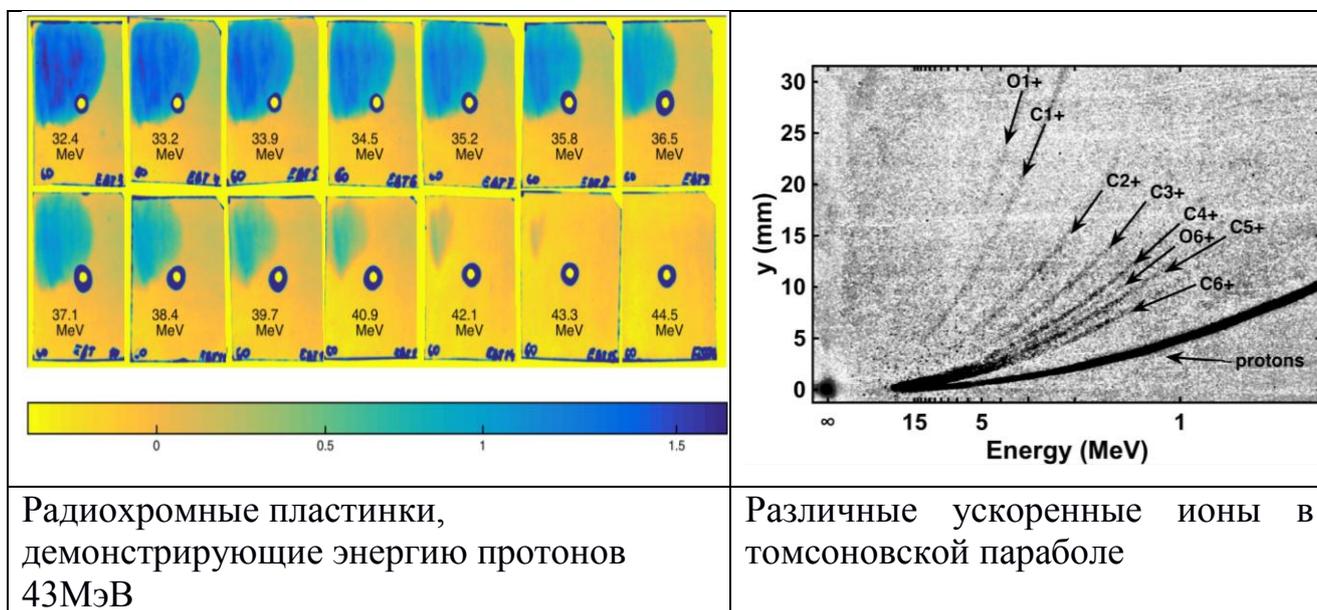
#### Публикации:

1. V.Ya.Aleshkin et al. Appl. Phys. Lett. v.109, 061111 (2016)
2. В.Я.Алешкин и др. Письма в ЖЭТФ. Т. 100, вып. 12, с. 900-903 (2014).

## 5. Лазерно-плазменное ускорение протонов до энергии более 43 МэВ

В ходе экспериментов по фокусировке лазерного импульса (60 фс, 8 Дж) на поверхность алюминиевой фольги толщиной от 10 до 0,5 мкм зафиксированы протонные пучки с максимальной энергией, превосходящей 43 МэВ, что является мировым рекордом для лазеров с энергией импульса менее 20 Дж. Результат получен благодаря оригинальной методике наведения на мишень и исходно высокому временному контрасту лазерного импульса, обеспеченному технологией оптического параметрического усиления чирпированных импульсов без использования дополнительных методик повышения контраста. Полученные пучки ионов могут быть использованы для задач протонной радиографии, создания короткоживущих изотопов, протонной лучевой терапии и других приложений.

**Авторы:** А.А. Соловьев, К.Ф. Бурдонов, А.А. Еремеев, А.Д. Сладков, Р.Р. Османов, М.В. Стародубцев, С. Чен, Ж. Фукс, А.В. Коржиманов, В.Н. Гинзбург, А.А. Кузьмин, А.М. Сергеев, Е.А. Хазанов, А.А. Шайкин, И.А. Шайкин, И.В. Яковлев (ИПФ РАН).



### Публикации:

1. К.Ф. Бурдонов, А.А. Еремеев, Н.И. Игнатова и др. Квантовая электроника, 2016, 46 (4), 283–287.
2. A. Soloviev, K. Burdonov, S. Chen, Experimental evidence for short-pulse laser heating of solid-density target to high bulk temperatures. Submitted to Scientific Reports (2016).

## **6. Технология создания полупроводникового CVD алмаза с сильно легированными бором дельта слоями**

Разработана технология получения полупроводникового CVD алмаза p-типа с сильно легированными бором тонкими слоями толщиной 1...2 нм и с концентрацией бора  $(5...10) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Технология включает последовательные процессы выращивания CVD алмаза в быстро изменяющихся по составу газовых смесях, содержащих водород и метан, легирующую добавку (бор) и геттер бора (кислород или сера). За счет резкого (на 4 порядка) перепада по концентрации бора между легированным и нелегированным алмазом на переходном слое в доли нанометра достигается рекордная подвижность дырок  $100...200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  при высокой поверхностной концентрации носителей заряда  $(5...6) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ . Применение технологии позволяет получать алмазный материал с параметрами, подходящими для создания приборов алмазной электроники.

**Авторы:** А.Л. Вихарев, А.М. Горбачёв, М.А. Лобаев, Д.Б. Радищев, В.А. Исаев, В.В. Чернов, С.А. Богданов, А.Б. Мучников, М.Н. Дроздов, Е.В. Демидов, Е.А. Суругина, В.И. Шашкин, Д.Е. Батлер (ИПФ РАН).

### **Публикации:**

1. М.А. Лобаев, А.Б. Мучников, А.Л. Вихарев, Д.Е. Батлер, А.М. Горбачёв, Заявка РФ № 2015155911 на изобретение «Способ создания легированных дельта-слоев в CVD алмазе», 2015 г.
2. J.E. Butler, A.L. Vikharev, A.M. Gorbachev, M.A. Lobaev, A.B. Muchnikov, D.B. Radischev, V.A. Isaev, V.V. Chernov, S.A. Bogdanov, M.N. Drozdov, E.V. Demidov, E.A. Surovegina, V.I. Shashkin, A. Davidov, H. Tan, L. Meshi, A.C. Pakpour-Tabrizi, M.-L. Hicks, R.B. Jackman, “Nanometric Diamond Delta Doping with Boron: Enabling Diamond Electronics?”, *Physica Status Solidi Rapid Research Letters*, v.10, (2016).

## **7. Генерация трехмерных лазерных пучков эллипсоидальной формы для инъекции электронных пучков высокой яркости**

Предложен и реализован новый метод генерации произвольных трёхмерных световых структур с пикосекундным временным разрешением при помощи чирпирующих профилированных объёмных брэгговских зеркал. В эксперименте с широкополосным ( $\sim 8$  нм на длине волны 1030 нм) излучением получено трёхмерное эллипсоидальное распределение интенсивности в лазерном пучке. Посредством спектрального профилирования линейно чирпированного импульса достигалась постоянная интенсивность внутри эллипсоидальной границы. На основе того же подхода были экспериментально продемонстрированы лазерные пучки квазиэллипсоидальной формы без осевой симметрии, цилиндрические пучки и импульсы с линейно нарастающей во времени амплитудой (треугольные). Дополнительным преимуществом метода является сравнительно простое масштабирование полученных световых структур. Разработанная технология предназначена для использования в фотоинжекторах электронов на ускорительных комплексах с целью улучшения эмиттанса генерируемых пучков.

**Авторы:** Миронов С.Ю., Потемкин А.К., Гачева Е.И., Зеленогорский В.В., Андрианов А.В., Хазанов Е.А. (ИПФ РАН)

### **Публикации:**

1. E.I. Gacheva, V.V. Zelenogorskii, A.V. Andrianov, M. Krasilnikov, M.A. Martyanov, S.Yu. Mironov, A.K. Potemkin, E.M. Syresin, F. Stephan, E.A. Khazanov, *Optics Express*, 2015, 23 (8), 9627-9639.
2. Е.И. Гачева, А.К. Потемкин, *Известия вузов. Радиофизика*, 2015, 58 (4), 304.
3. T. Rublack, J. Good, M. Khojoyan, M. Krasilnikov, F. Stephan, I. Hartl, S. Schreiber, A. Andrianov, E. Gacheva, E. Khazanov, S. Mironov, A. Potemkin, V.V. Zelenogorskii, E. Syresin, *Nuclear Instruments And Methods In Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors And Associated Equipment*, 2016, 829, 438-441.
4. S.Yu. Mironov, A.K. Potemkin, E.I. Gacheva, A.V. Andrianov, V.V. Zelenogorskii, M. Krasilnikov, F. Stephan, E.A. Khazanov, *Applied Optics*, 2016, 55 (7), 1630-1635.
5. S.Yu. Mironov, A.K. Poteomkin, E.I. Gacheva, A.V. Andrianov, V.V. Zelenogorskii, R. Vasiliev, V. Smirnov, M. Krasilnikov, F. Stephan, E.A. Khazanov, *Laser Physics Letters*, 2016, 13, 055003.

## 8. Псевдорелятивистские 3D кейновские фермионы в HgCdTe.

Продемонстрировано существование нового типа псевдорелятивистских частиц – фермионов Кейна в узкозонных твердых растворах HgCdTe. Показано, что в точке топологического фазового перехода между инвертированной и нормальной зонной структурой «масса покоя» фермионов Кейна меняет знак, в то время как их скорость остается постоянной, что указывает на универсальность их псевдорелятивистского описания в широком интервале температур и составов твердого раствора HgCdTe.

**Авторы:** С.С.Криштопенко, А.М.Кадыков, М.С.Жолудев, А.В.Иконников, С.В.Морозов, В.И.Гавриленко (ИФМ РАН - филиал ИПФ РАН); Н.Н.Михайлов, С.А.Дворецкий (ИФП СО РАН); M. Orlita (LNCMI, Grenoble); F.Teppe, M.Marcinkiewicz, S.Ruffenach, C.Consejo, W.Desrat, D.But, W.Knap (CCLaboratory, Montpellier); J.Ludwig, S.Moon, D.Smirnov (NHMFL, Tallahassee, Florida, USA); Z.Jiang (Georgia Inst. Of Technology, Atlanta, USA).

### Публикации:

1. Nature Communications v.7, 12576 (2016)
2. Nature Physics v.10, 233–238 (2014)
3. ФТП т.47, вып.12, стр. 1569-1574 (2013).

## 9. О новом направлении в исследовании внутримолекулярных взаимодействий

Впервые в спектре молекулы метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) обнаружено и измерено расщепление дважды вырожденных E-уровней, которое ранее никем не наблюдалось и не было предсказано. С помощью уникального субдоплеровского микроволнового спектрометра измерены около 60 дублетов с величиной расщепления от 20 до 70 кГц и более 1500 одиночных линий без проявлений внутренней структуры. Построена теория неизвестного ранее влияния туннельного торсионного движения в молекуле метанола на спин-вращательное взаимодействие, которое приводит к расщеплению E-уровней на два подуровня, что, в свою очередь, является причиной образования экспериментально наблюдаемых дублетов в сверхтонкой структуре только некоторых переходов. Обнаруженный эффект открывает новое направление в исследовании внутримолекулярных взаимодействий, поскольку хорошо известно, что вырождение энергетических уровней E-типа симметрии связано с неразличимостью тождественных частиц и не может быть снято никакими внутримолекулярными взаимодействиями. Обнаружение дублетов важно также для радиоастрономических исследований, поскольку молекула метанола является одной из наиболее распространённой в межзвёздных облаках.

**Авторы:** Белов С.П., Голубятников Г.Ю., Лапинов А.В., Илюшин В.В., Алексеев Е.А., Мещеряков А.А., Хоуген Д.Т., Ху Л.-Х. (ИПФ РАН, ИРА НАН Украины, НИСТ США, Университет Нью-Брунсвик, Канада)

### Публикации:

1. S. P. Belov, G. Yu. Golubiatnikov, A. V. Lapinov, V. V. Ilyushin, E. A. Alekseev, A. A. Mescheryakov, J. T. Hougen, and Li-Hong Xu, «Torsionally mediated spin-rotation hyperfine splittings at moderate to high J values in methanol», J. Chem. Physics, 145, 024307 (2016).

## **10. Новый метод оптической метрологии ультракоротких импульсов на основе спектральных измерений**

Предложен и реализован новый метод восстановления интенсивности и фазы ультракороткого оптического импульса по измерениям его исходного спектра и двух преобразованных спектров после прохождения элементов с кубической нелинейностью. Разработан компьютерный алгоритм, позволяющий реконструировать электрическое поле волны по этим трем спектральным измерениям. Метод является простым и легко реализуемым, не содержит неоднозначностей, связанных с направлением времени, может использоваться для сигналов со сложной спектрально-временной структурой. Экспериментально продемонстрировано его применение для метрологии мощных одиночных импульсов на лазерном комплексе PEARL.

**Авторы:** Анашкина Е.А., Гинзбург В.Н., Кочетков А.А., Яковлев И.В., Ким А.В, Хазанов Е.А. (ИПФ РАН)

### **Публикации:**

1. E.A. Anashkina, V.N. Ginzburg, A.A. Kochetkov, I.V. Yakovlev, A.V. Kim, and E.A. Khazanov, "Single-shot laser pulse reconstruction based on self-phase modulated spectra measurements," *Scientific Reports* 6, 33749 (2016)

## 11. Мультимегаваттный миллиметровый гиротрон

Показана возможность получения мультимегаваттной мощности в гиротронах коротковолновой части миллиметрового диапазона. В трехмиллиметровом диапазоне волн в гиротроне получена мощность более 5 МВт в импульсах длительностью около 1 мкс. В гиротроне использованы высокая рабочая мода TE<sub>12,5</sub>, синтезированный квазиоптический преобразователь и электронная пушка разработана с учетом неадиабатических эффектов при формировании релятивистских электронных пучков.

### Авторы:

Э.Б.Абубакиров, Ю.М.Гузнов, Г.Г.Денисов, А.Н.Куфтин, Н.А.Завольский, В.Е.Запечалов, С.Ю.Корнишин, А.Н.Леонтьев, О.П.Планкин, Р.М.Розенталь, А.С.Седов, Е.С.Семенов, А.В.Чирков.(ИПФ РАН)

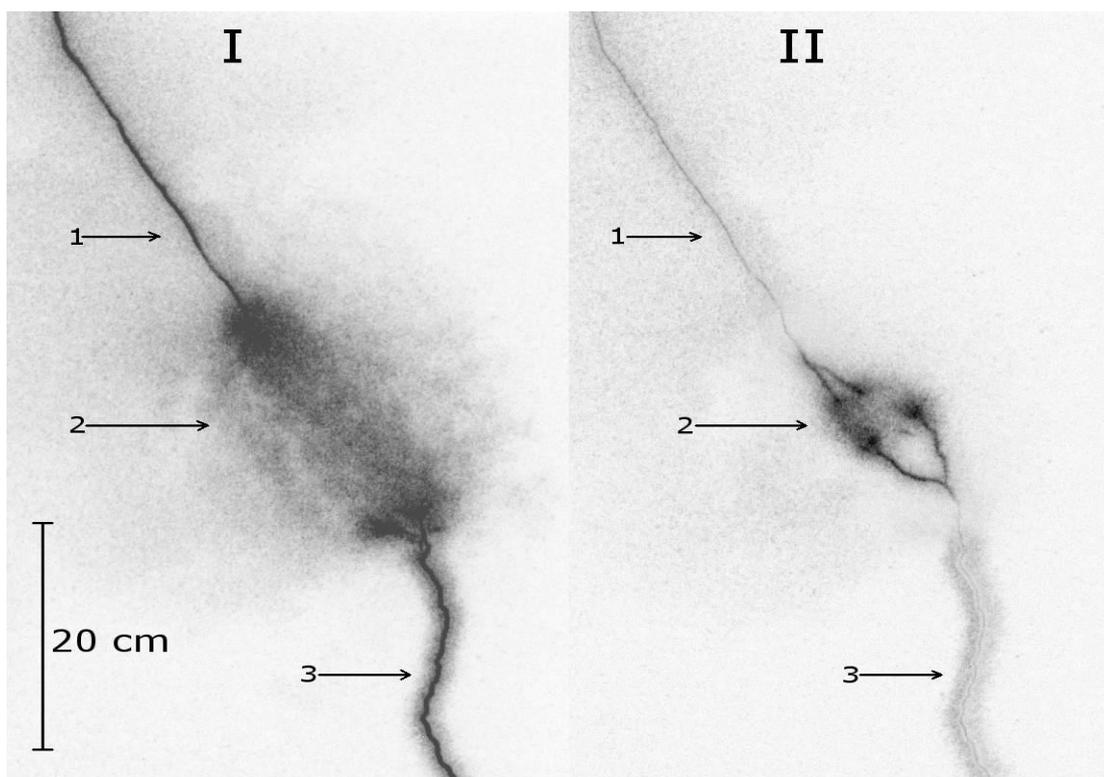
### Публикации

1. Э.Б.Абубакиров, Ю.М.Гузнов, Г.Г.Денисов, и др. Проект релятивистского гиротрона диапазона 100 ГГц с выходной мощностью 5-10 МВт. Изв.ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика. 2015, №2, 94-107
2. Э.Б.Абубакиров, Ю.М.Гузнов, Г.Г.Денисов, и др. Состояние работ по проекту релятивистского гиротрона диапазона 94 ГГц с выходной мощностью 5-10 МВт. Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2015, №1, 126-130.
3. E. Abubakirov, A.Chirkov, G.Denisov et al. W-band 5MW pulse relativistic gyrotron. IEEE Electron Device Letters (направлена в печать).
4. Э.Б.Абубакиров, Ю.М.Гузнов, Г.Г.Денисов, и др. Импульсный 3-мм релятивистский гиротрон с мультимегаваттным уровнем выходной мощности. Труды IV Всероссийской микроволновой конференции. Ноябрь 2016, ИРЭ РАН, Москва.

## 12. Первые наблюдения "сквозной фазы" искрового разряда

Впервые получены детальные оптические и ИК изображения области встречи положительного и отрицательного лидеров и сквозной фазы на основе модельных экспериментов с использованием отрицательного заряженного облака. Установлено, что скорости положительных и отрицательных лидеров внутри общей стримерной зоны совпадают и увеличиваются с ростом силы тока. Полученные результаты важны для решения фундаментальных проблем динамики главной стадии молнии.

**Авторы:** Н.А. Богатов, Е.А. Мареев, В.А. Раков (ИПФ РАН), М.Г. Андреев, Л.М. Макальский, Д.И. Сухаревский, В.С. Сысоев (РФЯЦ-ВНИИТФ), А.Ю. Костинский (ВШЭ, ИПФ РАН).



Фотографии сквозной фазы разряда. 1 – отрицательный нисходящий из облака лидер, 2 – интенсивное взаимодействие стримерных зон, 3 – восходящий с токоприемника (шарика) положительный лидер. Выдержка кадра I – 100 ns, II – 50 ns. Время между кадрами – 2 мкс.

### 13. Региональная система оперативного прогноза опасных атмосферных явлений

Разработана и верифицирована система оперативного прогноза опасных быстроразвивающихся метеорологических явлений, использующая дополнительную информацию об электродинамических параметрах атмосферы и грозных разрядах. Система включает в себя: многопунктовую систему грозопеленгации, датчики квазистатического электрического поля, программный комплекс для сбора и обработки данных. Функционирование системы основано на оперативном использовании мезомасштабной численной модели прогноза погоды WRF. Оценки базовой точности, проведенные на основе натуральных измерений за конвективные периоды 2015 и 2016 гг., показали, что средняя ошибка прогноза температуры не превышает  $0.6^{\circ}\text{C}$ .

**Авторы:** А.А. Булатов, С.О. Дементьева, Н.В. Ильин, В.В.Клименко, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, В.А.Раков, М.В.Шаталина, Ю.В. Шлюгаев (ИПФРАН)

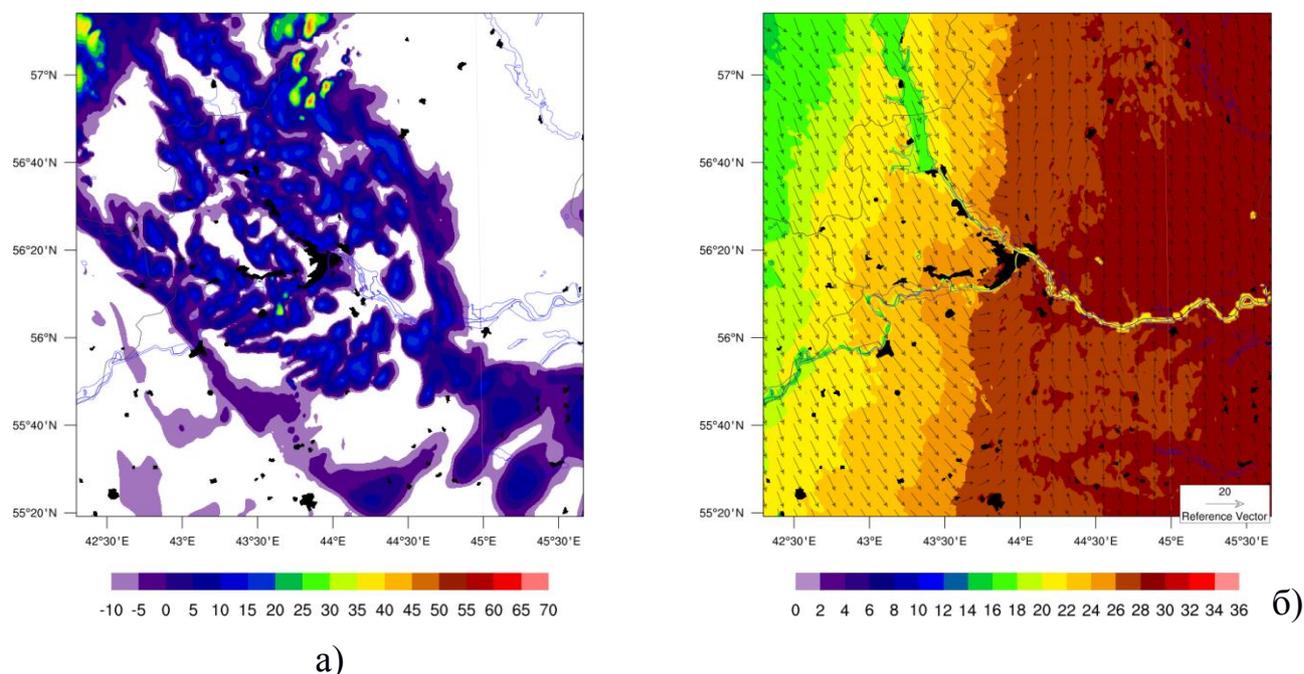


Рисунок 1. Прогноз на 12:00 UTC 01 июня 2015 года для внутренней сетки. (а) максимальная радиолокационная отражаемость (дБ), (б) температура на высоте 2 м ( $^{\circ}\text{C}$ ), скорость (м/с) и направление ветра на высоте 10 м.