

К 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (РАН)**О некоторых научных результатах, полученных в институтах  
Отделения физических наук РАН за последние 25 лет**

И.А. Щербаков

*Основой настоящей работы является мой доклад на научной сессии, состоявшейся 27 мая 2024 г. в рамках Общего собрания Отделения физических наук РАН. Представленные результаты касаются таких научных направлений, как физика конденсированного состояния и физическое материаловедение, оптика, лазерная физика и лазерные технологии, физика плазмы, физическая электроника, радиофизика и акустика. Эти направления активно развивались в последние десятилетия и не утратили своей актуальности и сегодня.*

**Ключевые слова:** оптика, лазерная физика, физика конденсированного состояния, радиофизика, физическое материаловедение, медицинская физика

PACS numbers: 01.10.Fv, **01.55. + b**, **01.65. + g**DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.05.039790>

На рубеже XXI века Россия столкнулась с необходимостью преодоления последствий разрушительных 90-х годов XX века, необходимость перемен не могла не коснуться и Академии наук. Этому предшествовало создание Российской академии наук (РАН) в 1991 г. на базе Академии наук СССР [1], явившееся следствием распада СССР. Данная болезненная процедура сопровождалась как падением престижа самой Академии, так и падением престижа учёного. По сути, реформы РАН permanently продолжались в течение последних 25 лет. Реформы, начавшиеся в 2002 г., были внутренними реформами Академии. Основной проблемы катастрофического недофинансирования науки они решить не могли. Руководство Академии совершенно справедливо, на мой взгляд, придерживалось принципа "не навреди". Заметной пользы от таких реформ быть не могло, но и "вреда, однако, тоже никакого". Было понимание того, что скоропалительные, непродуманные, неподготовленные, не обсуждённые с научным сообществом, навязанные "сверху" решения ни к чему хорошему привести не могли.

Как проводимые реформы, носившие косметический характер, отразились на работе Отделения общей физики и астрономии? Оно было объединено с Отделением ядерной физики с образованием Отделения физических наук (ОФН РАН), состоящего, соответственно, из двух секций.

Академиками-секретарями Отделения физических наук в это турбулентное время были: Александр Федорович Андреев, Виктор Анатольевич Матвеев, Иван Александрович Щербаков (Ваш покорный слуга) и в настоящее время — Виталий Владимирович Кведер (рис. 1).

**И.А. Щербаков.** Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова 38, 119991 Москва, Российская Федерация  
E-mail: [ivan11444@mail.ru](mailto:ivan11444@mail.ru)

Статья поступила 21 июня 2024 г.



**Рис. 1.** Внутренняя реформа РАН 2002 г. Академики-секретари Отделений (указаны годы руководства Отделениями).



Рис. 2. Академик РАН Жорес Иванович Алфёров. Вручение Нобелевской премии Ж.И. Алфёрову.

Радикальные реформы были начаты в 2013 г. сверху. Происходили смены управляющих РАН структур, засыле бюрократии, формализация отчётности, изменения условий оплаты труда научных работников, объединения научных организаций, порой представлявших различные области знаний, по чисто территориальному принципу. Всё перечисленное не способствовало развитию творческой атмосферы в научных институтах, находящихся под научно-методическим руководством Отделения физических наук. Что означает термин "научно-методическое руководство", никак и нигде внятно оговорено не было, во всяком случае в то время. Несмотря на это, учёными Отделения был получен целый ряд результатов мирового уровня, получивших международное признание.

Прежде всего следует вспомнить работы, удостоенные Нобелевских премий, выполненные ранее в институтах ещё Отделения общей физики и астрономии.

Нобелевская премия по физике 2000 г. была присуждена Ж.И. Алфёрову [2], Г. Крёмеру [3] "за разработку полупроводниковых структур, используемых в высокочастотных схемах и оптоэлектронике" и Дж. Килби [4] за участие в изобретении интегральной схемы (рис. 2).

Нобелевская премия по физике 2003 г. была присуждена А.А. Абрикосову [5], В.Л. Гинзбургу [6], и Э. Леггетту [7] "за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей" (рис. 3).

Авторы этих работ, безусловно, занимают достойное место в списке Нобелевских лауреатов.

В 2010 г. была получена Нобелевская премия А. Геймом [8] и К. Новосёловым [9] "за новаторские экспери-

менты по исследованию двумерного материала графена".

В 2023 г. Нобелевской премии по химии были удостоены М. Бавенди, Л. Брюс и А. Екимов "за открытие и синтез квантовых точек".

В указанных двух работах много общего. Первая касалась экспериментального исследования двумерных структур, вторая — одномерных. Их основой является известный ранее квантово-размерный эффект.

Обе премии являются "полунашими", так как их русскоязычные лауреаты принадлежат соответственно к черноголовской и ленинградской научным школам, хотя в настоящее время проживают за пределами нашей страны.

Нельзя не сказать и ещё об одной Нобелевской премии — премии по физике 2017 г., полученной Р. Войссом, Б. Бэришем и К. Торном "за решающий вклад в детектор LIGO и наблюдение гравитационных волн", безусловно, являющееся одним из важнейших открытий XXI века.

Здесь необходимо указать на два обстоятельства.

Вся идеология этого замечательного эксперимента была изложена в работе М.Е. Герценштейна и В.И. Пустовойта "К вопросу об обнаружении гравитационных волн малых частот" [10]. В установке LIGO были использованы высказанные в данной работе идеи оптического метода обнаружения гравитационных волн с помощью интерферометра и лазера [11].

Поразительно, что идея применения лазера была высказана в 1962 г., всего через два года после создания самого лазера.



Рис. 3. Академик РАН Виталий Лазаревич Гинзбург. В центре: лауреаты Нобелевской премии 2003 года А.А. Абрикосов, В.Л. Гинзбург, Энтони Леггетт. Академик РАН Алексей Алексеевич Абрикосов.





Рис. 4. Академик РАН Владислав Иванович Пустовойт. Детектор LIGO.

Тем не менее здравствовавший тогда Владислав Иванович Пустовойт не был включён в состав коллектива, получившего Нобелевскую премию, что, на мой взгляд, является вопиющей несправедливостью (рис. 4).

Вклад отечественных учёных в обнаружение гравитационных волн не ограничивается работой М.Е. Герцштейна и В.И. Пустовойта. В установке LIGO были использованы созданные в Институте прикладной физики (ИПФ РАН) уникальные оптические изоляторы Фарадея [12] с параметрами, необходимыми для детектирования гравитационных волн (рис. 5), а также многолетний опыт учёных из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), работающих в области поиска гравитационных волн [13].

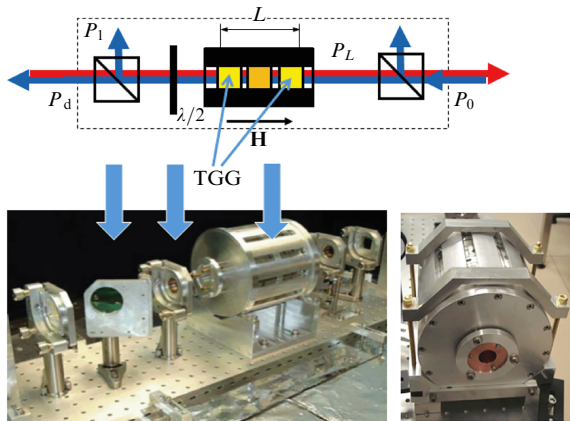


Рис. 5. Оптические изоляторы Фарадея.

Отчасти справедливость была восстановлена получением в 2018 г. Государственной премии в области науки и технологий В.И. Пустовойтом, В.П. Митрофановым и Е.А. Хазановым "за создание фундаментальных основ и инструментальных решений проблем регистрации гравитационных волн" (рис. 6).

Всего за последние 25 лет было получено 27 государственных премий с участием членов ОФН РАН либо сотрудников институтов ОФН РАН.

За рассматриваемый период достижения членов ОФН РАН пять раз были отмечены высшей наградой РАН — Большой золотой медалью РАН им. М.В. Ломоносова. В 2000 г. она была присуждена академику А.В. Гапонову-Грехову за выдающийся вклад в развитие физики колебательных и волновых процессов; в 2005 г. лауреатом стал академик Ю.А. Осипьян за фундаментальный вклад в физику дислокаций в твёрдых телах и развитие фотопластического эффекта; в 2010 г. медаль была присуждена академику С.Т. Беляеву за выдающийся вклад во многие важные направления современной физической науки: физику плазмы, теорию квантовых и релятивистских систем многих частиц, теорию атомного ядра и ядерных реакций, физику ускорителей элементарных частиц; в 2015 г. этой награды был удостоен академик Л.В. Келдыш за выдающийся вклад в физику туннельных явлений, в том числе туннельный эффект в полупроводниках и его связь с электронным и колебательным спектрами кристалла, открытие туннельной модификации спектров оптического поглощения, туннельной ионизации атомов, молекул и конденсированных сред мощными оптическими лазерными полями, и, наконец, в 2017 г. лауреатом стал академик Ю.Ц. Оганесян за фундаментальные исследования в области взаимодействия сложных ядер и экспериментальное подтверждение гипотезы существования "островов стабильности" тяжёлых элементов.

После такого краткого введения перейдём к обзору некоторых конкретных результатов, полученных сотрудниками институтов Отделения физических наук РАН за период с начала его образования.

Большое внимание было уделено технологии и исследованию искусственных алмазов.

В Институте физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН (ИФВД РАН) совместно с Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) получен уникальный материал — сверхпроводящий алмаз. Исследование его физических свойств свидетельствует о

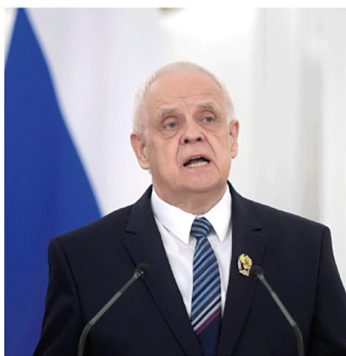


Рис. 6. Лауреаты Государственной премии 2018 года в области науки и технологий: Валерий Павлович Митрофанов, Владислав Иванович Пустовойт, Ефим Аркадьевич Хазанов.

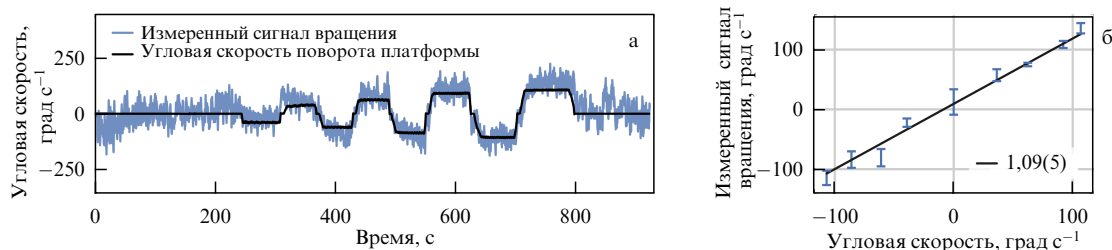


Рис. 7. (а) Результаты измерения угловой скорости вращения платформы с помощью ядерных спинов центров окраски азот-вакансия. (б) Оценка масштабного коэффициента установки.

классическом фоновом механизме сверхпроводимости в алмазе. Достаточно высокая температура сверхпроводящего перехода ( $> 6$  К) и высокое верхнее критическое поле ( $\sim 15$  Тл) позволяют рассматривать сверхпроводящий алмаз как перспективный материал для электроники.

Также в ИФВД РАН разработан новый класс сверхтвёрдых алмазных композитов. Сравнительные испытания, проведённые в компании Бейпер Хьюз, показали, что износостойкость этих композитов при точении гранита более чем в два раза выше, чем у лучших коммерческих аналогов.

В Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФ РАН) совместно с Научно-исследовательским центром (НИЦ) "Курчатовский институт" были синтезированы монокристаллы особо чистого алмаза. При комнатной температуре полученные образцы продемонстрировали высокую для синтетического алмаза теплопроводность —  $34 \text{ Вт м}^{-1} \text{ К}^{-1}$ .

В ФИАН предложен и реализован оригинальный метод измерения угловой скорости вращения лабораторной установки с помощью ансамбля ядерных спинов в алмазе, ассоциированных с NV-центрами (рис. 7).

В Институте физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения РАН (ИФМ УрО РАН) разработаны магнитные металлические наноструктуры с эффектом гигантского магнетосопротивления, превосходящие по функциональным характеристикам зарубежные аналоги (рис. 8).

В ИПФ РАН создан стенд нанолитографии ( $\lambda = 13,5 \text{ нм}$ ) с разрешением 30 нм. Тем самым продемонстрировано появление технологий, позволяющих разрабатывать и производить в России современное литографическое оборудование.

В ФИАН совместно с Институтом радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ РАН) создан комплекс технологий оптической керамики больших размеров на основе алюмоиттриевого граната. По лазерному качеству полученная керамика не уступает зарубежным аналогам. Следует отметить, что долгое время монополистом в создании лазерной керамики больших размеров являлась Япония. Важность полученного результата заключается в том, что этот материал в перспективе может прийти на смену лазерным стёклам, в частности, в установках для лазерного термоядерного синтеза.

В Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ Иоффе) создана не имеющая аналогов в России технология роста эпитаксиального многослойного графена большой площади. На основе графена SiC изготовлен прототип твердотельного газового сенсора с рекордной чувствительностью к концентрации молекул  $\text{NO}_2$ , не хуже 2 ppb (две частицы на миллиард).

В Институте физики твёрдого тела РАН (ИФТТ РАН) создана новая группа жаропрочных сплавов для применения в области температур выше  $1200^\circ\text{C}$ . Структурно новые материалы представляют собой естественные композиты, в которых роль матрицы выполняют твёрдые растворы на основе молибдена, а упрочняющих фаз — тугоплавкие карбиды. Проведённые высокотемпературные механические испытания новых сплавов продемонстрировали возможность выдерживать нагрузки при температурах  $1200^\circ\text{C}$  и выше в течение нескольких тысяч часов.

В ИПФ РАН создан самый мощный в мире параметрический усилитель лазерных импульсов. Изначально достигнутый уровень пиковой мощности составил 560 ТВт при энергии 24 Дж и длительности не более

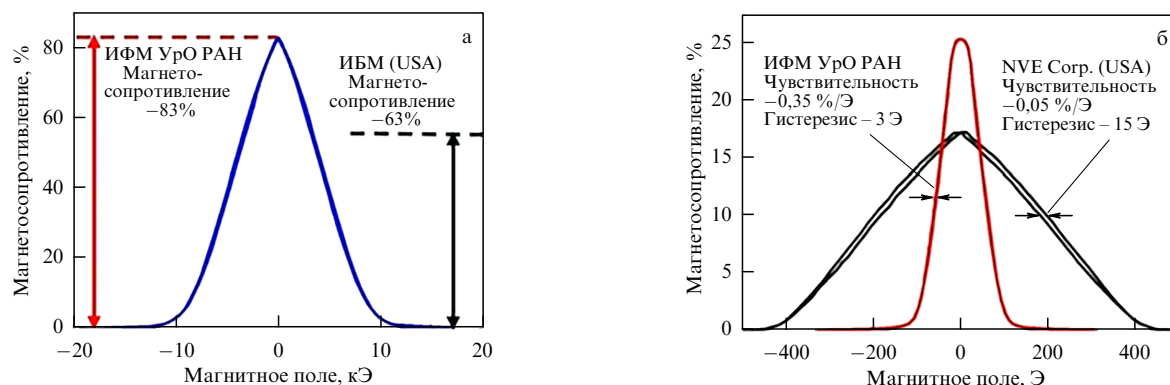


Рис. 8. (а) Сверхрешётки CoFe/Cu с рекордным магнетосопротивлением. (б) Высокочувствительные сверхрешётки NiFeCo/Cu с малым гистерезисом.



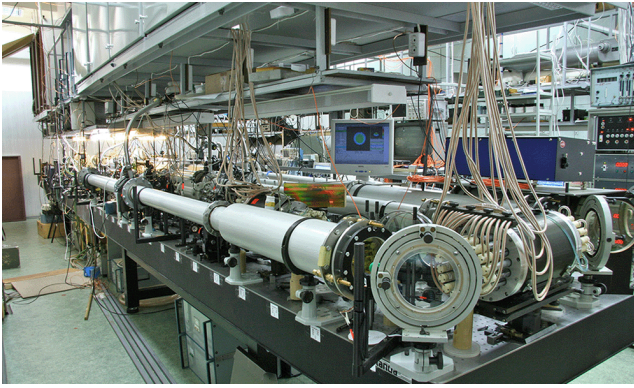


Рис. 9. Параметрический усилитель лазерных импульсов (установка PEARL).

45 фс, что позволяет при фокусировке лазерного излучения реализовать интенсивности  $10^{22}$  Вт см<sup>-2</sup>. Дальнейшее совершенствование этой установки дало возможность достигнуть пиковой мощности в 1,5 ПВт при длительности импульса 11 фс (рис. 9).

В том же институте осуществлено пятикратное укорочение лазерных импульсов после их фазовой самомодуляции. Экспериментально продемонстрирована возможность укорочения лазерных импульсов с энергией 17 Дж с 70 фс до 14 фс, что позволило устранить ограничение на коэффициент укорочения импульса больше двух, которое ранее считалось непреодолимым.

В Институте лазерной физики Сибирского отделения РАН (ИЛФ СО РАН) создан оптический стандарт частоты на квадрупольном переходе локализованного в пространстве одиночного иона иттербия-171. Оптический стандарт демонстрирует долговременную нестабильность частоты  $\sim 10^{-17}$ . По совокупности параметров стандарт частоты не имеет отечественных аналогов и находится на уровне лучших мировых образцов (рис. 10).

В Институте сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН) создана гибридная лазерная система ТНЛ-100, не имеющая мировых аналогов. Достигнута рекордная для видимой области (475 нм) пиковая мощность 40 ТВт. Система состоит из Ti:Sa фемтосекундного комплекса и XeF-усилителя.

В ФТИ Иоффе разработаны и исследованы мощные квантово-каскадные лазеры для спектрального диапазона 4,5 и 8 мкм. Максимальная достигнутая выходная мощность составила 13 Вт с одного излучателя в об-



Рис. 10. Оптический стандарт частоты.

ласти 8 мкм, что является рекордом для указанного спектрального диапазона. Эффективная лазерная генерация вблизи 8 мкм сохраняется вплоть до температуры выше комнатной.

В ИОФ РАН совместно с Институтом химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН (ИХВВ РАН) и ФИАН разработаны активированные редкоземельными ионами лазерные халькогенидные стёкла для объёмных и волоконных источников излучения среднего ИК-диапазона. На образцах стёкол с Tb<sup>3+</sup>, Pr<sup>3+</sup>, Ce<sup>3+</sup>, Na<sup>3+</sup> была получена генерация в спектральном диапазоне 4,5–6,0 мкм. В экспериментах на ионах церия реализована перестройка длины волны излучения в диапазоне 4,5–5,6 мкм. Эти результаты представляются принципиально важными, так как ранее считалось, что получение генерации с использованием кристаллических и стеклянных активных элементов с длиной волны более 3 мкм затруднительно, если не невозможно, из-за эффективного электрон-фононного взаимодействия в таких матрицах и, как следствие, низкого квантового выхода люминесценции на переходах, энергии которых сравнимы с энергией дебаевского фонона.

Одним из важнейших результатов в области волоконной оптики последнего времени является создание в Научном центре волоконной оптики РАН (НЦВО РАН) совместно с ИХВВ РАН висмутовых световодов. Реализована передача со скоростью 10,6 Гбит с<sup>-1</sup> в спектральной области 1441–1453 нм по волоконному световоду длиной 80 км с использованием висмутового волоконного усилителя.

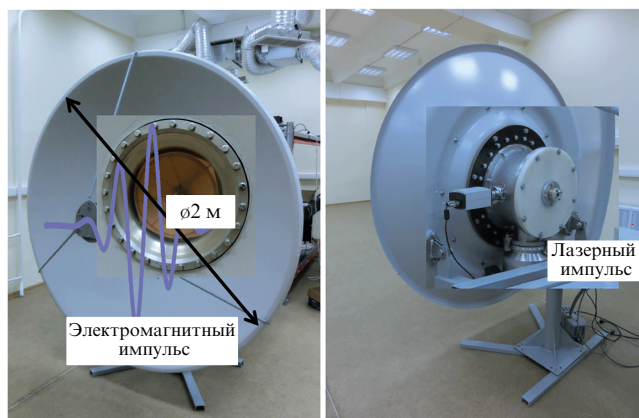
Разработанный висмутовый усилитель позволяет расширить спектральную полосу сигнала до 1300–1700 нм икратно увеличить скорость передачи информации в волоконно-оптических линиях связи.

Разработанный целый ряд устройств на основе висмутовых световодов не имеет аналогов в мире.

В ИОФ РАН совместно с Институтом спектроскопии РАН (ИСАН) создан субпикосекундный газовый волоконный лазер среднего ИК-диапазона. В качестве активной среды использовался резольверный волоконный световод, заполненный дейтерием. Реализовано эффективное двухкаскадное рамановское преобразование  $1,03 \rightarrow 1,49 \rightarrow 2,68$  мкм. Получена генерация на длине волны 2,68 мкм с энергией в импульсе  $\sim 10$  мкДж, что на два порядка превосходит любые другие субпикосекундные волоконные лазеры среднего ИК-диапазона. Длительность выходных импульсов 920 фс, а квантовая эффективность преобразования достигла 28 %.

В ИОФ РАН предложен и реализован дисковый многоканальный лазер с фазовой синхронизацией излучения каналов. Синхронизация достигается за счёт перекрытия "хвостов" распределения интенсивности источников накачки. Осуществлена синхронизация излучений от десяти источников накачки. Полный угол расходимости соответствует расходимости излучения одномодового лазера с апертурой, равной суммарной апертуре всех 10 лазерных каналов, что составляет  $\sim 1,27\lambda/D$ .

В ИПФ РАН совместно с Институтом физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН (ИФП СО РАН) в гетероструктурах с квантовыми ямами HgTe/CdHgTe при оптической накачке получено стимулированное излучение на рекордно большой длине волны 19,5 мкм. Продemonстрировано подавление оже-рекомбинации в квантовых ямах по сравнению с объём-



**Рис. 11.** Макет генератора сверхширокополосного импульсного электромагнитного излучения субнаносекундной длительности на основе широкоапертурного параболического фотокатода диаметром 2 м, возбуждаемого ультракороткими лазерными импульсами.

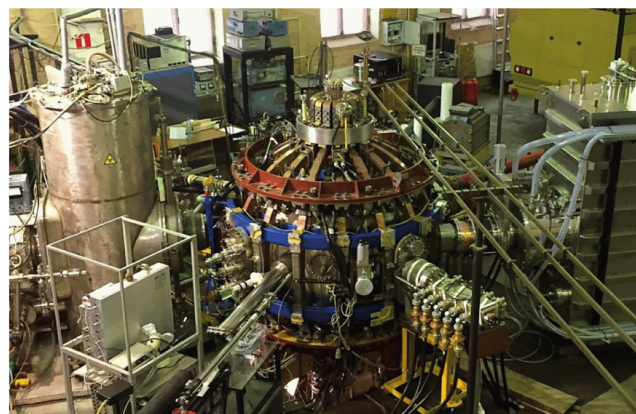
ными структурами и обусловленная этим возможность продвижения излучения лазеров в диапазон длин волн 20 – 50 мкм.

В ИСАН разработана спектроскопия одиночных квантовых объектов. Создан экспериментальный комплекс, предназначенный для высокочувствительной регистрации одиночных наночастиц по сигналам рассеяния или флуоресценции и определения их размеров. Достигнута чувствительность оптического детектирования сигналов, позволяющая обнаруживать одиночные наночастицы размером вплоть до 40 нм.

В ИОФ РАН создан макет генератора сверхширокополосного импульсного электромагнитного излучения субнаносекундной длительности на основе параболического фотокатода диаметром 200 нм, возбуждаемого ультракороткими лазерными импульсами, область применения генератора — связь, зондирование и радиоэлектронная борьба (рис. 11).

В Институте электрофизики Уральского отделения РАН (ИЭФ УрО РАН) разработана твердотельная импульсная система экстремально высокой мощности. В коаксиальной линии сформированы импульсы длительностью  $\sim 100$  пс и амплитудой 1,9 МВ. Реализованы рекордно высокие скорости нарастания выходного напряжения ( $26 \text{ МВ нс}^{-1}$ ) и тока ( $0,5 \text{ МА нс}^{-1}$ ). Для твердотельных импульсных систем получены рекордно высокие значения пиковой мощности ( $77 \text{ ГВт}$ ) и скорости её нарастания ( $1,6 \text{ ТВт нс}^{-1}$ ).

В ФТИ Иоффе введён в эксплуатацию российский сферический токамак "Глобус-М2" с увеличенным магнитным полем. При росте магнитного поля с 0,4 до 0,7 Тл и тока плазмы с 0,2 до 0,33 МА при неизменном значении мощности дополнительного нагрева и запаса устойчивости зарегистрировано существенное (до трёхкратного) повышение температуры и энергозапаса плазмы. Зафиксировано двукратное увеличение времени удержания энергии плазмы. Дальнейшее совершенствование установки дало возможность увеличения магнитного поля до 1 Тл и протекающего по плазме тока до 0,5 МА. При этом температура плазмы достигла 45 млн градусов, что всего вдвое меньше температуры, необходимой для зажигания реакции управляемого термоядерного син-



**Рис. 12.** Сферический токамак "Глобус-М2".

теза изотопов водорода. Достигнутая на "Глобус-М2" температура плазмы высокой плотности продемонстрирована впервые в отечественных исследованиях на установках типа токамак. В мировой практике сравнимые температуры регистрировались в установках гораздо больших размеров, работающих при более высоком магнитном поле, что демонстрирует большие потенциальные возможности сферических токамаков как основы для создания компактных термоядерных устройств различного назначения (рис. 12).

В ИПФ РАН разработан импульсный 3 мм релятивистский гиротрон с высоким уровнем выходной мощности. Получена мощность более 5 МВт в импульсах длительностью около 1 мкс. При этом ускоряющее напряжение составило 240 КВ, ток пучка 100 А, частота излучения 94,43 ГГц при КПД 23 %.

Экспериментально реализована рекордно узкая линия излучения гиротрона на частоте 263 ГГц при мощности излучения 100 Вт. Ширина линии составила 1 Гц. Полученный результат открывает новые возможности для спектроскопических исследований и позволяет создавать задающие генераторы для обеспечения когерентности большого количества гиротронов.

Ощутимый вклад учёные Отделения физических наук РАН при взаимодействии с медицинскими организациями внесли в развитие медицинского приборостроения и создание на основе разработанных установок новых медицинских технологий.

Так, в ИПФ РАН совместно с Приволжским исследовательским медицинским университетом Минздрава России (ПИМУ) и ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" разработан и реализован в прототипе медицинского прибора новый метод биомедицинской диагностики — компрессионная оптическая когерентная эластография. С помощью этого метода оказывается возможным визуализировать локальные деформации различной природы, контролировать чистоту границы реакции. Метод не имеет аналогов в мире и открывает недоступные ранее перспективы для решения широкого круга медицинских задач.

Усилиями целого ряда институтов физического, химического и медицинского профилей было создано новое направление в медицине — фотодинамическая диагностика и терапия, нашедшая широкое применение во многих медицинских центрах. С помощью фотодинамической терапии осуществляется диагностика, конт-



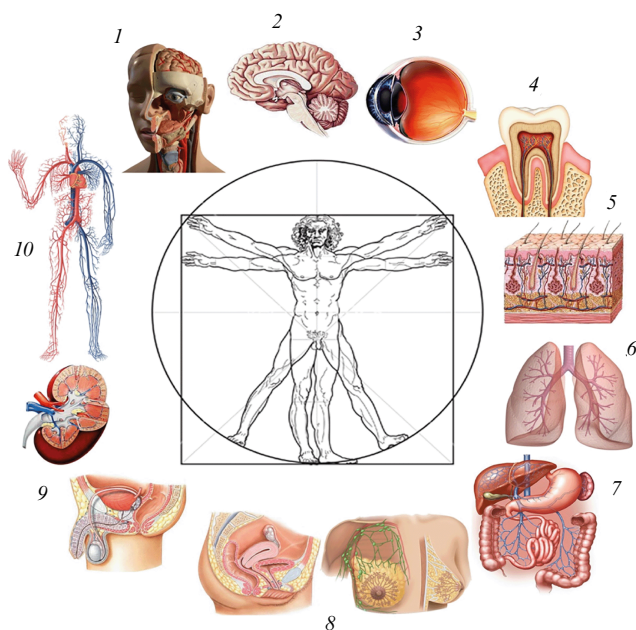


Рис. 13. Объекты фотодинамической терапии.

роль и лечение онкологических заболеваний различных органов человека: головы и шеи (1), мозга (2), глаз (3), кожи (5), лёгких (6), желудка, кишечника, печени (7), женских репродуктивных органов (8), мочеполовых органов (9). Фотодинамическая терапия применяется также и при лечении неонкологических заболеваний, таких как атеросклероз (10), парадонт (4), дегенерация сетчатки глаза (3), псориаз, артроз (5) (рис. 13).

В ИОФ РАН разработан офтальмологический фемтосекундный лазер "Фемто Визум" для интрастромальной обработки роговицы глаза. Механизм воздействия излучения с длиной волны 1,054 мкм и длительностью 250–400 фс — деструкция тканей роговицы при многофотонном поглощении.

Многофотонный механизм поглощения обеспечивает отсутствие термического повреждения близлежащих слоёв ткани и возможность осуществления вмешательства с прецизионной точностью внутри роговицы без повреждения её поверхностных слоёв.

Созданная офтальмологическая установка используется для послойного расслоения роговицы вместо механического инструмента, создания интрастромальных каналов и кератопластики, проведения интрастромальных прецизионных вмешательств за счёт выполнения микроскопических разрезов внутри роговицы (рис. 14).

В том же институте разработан лазерный хирургический комплекс "Лазурит", представляющий собой скальпель-коагулятор, и лазерный литотриптор. Лазерные литотрипторы существовали и ранее, однако "Лазурит" отличается от них принципиально и является ярким примером того, как фундаментальные результаты находят важные практические применения. В известных ранее лазерных литотрипторах разрушение камней происходит за счёт достаточно большой световой энергии, что может быть чревато неприятными последствиями для пациента. Принцип работы "Лазурита" основан на открытии Г.А. Аскарьяном, А.М. Прохоровым и Т.П. Шипуло ещё в 1960-е годы светогидравлическом эффекте, заключающемся в рождении ударной волны при взаимо-



Рис. 14. Фемтосекундный лазер "Фемто Визум" для интрастромальной обработки роговицы.

действию лазерного излучения с жидкостью. Разрушение камней в данном случае происходит не за счёт световой энергии, а за счёт энергии ударной волны. Именно этим обстоятельством определяются преимущества "Лазурита" перед другими лазерными литотрипторами, заключающиеся в:

- безопасности воздействия на окружающие камень мягкие ткани;
- эффективности фрагментации камней любой локализации и любого химического состава;
- высокой скорости фрагментации;
- отсутствию термического нагрева и повреждения волоконных средств доставки.

С помощью "Лазурита" были успешно выполнены хирургические операции при лечении мочекаменной болезни, которые не могли быть выполнены никаким другим способом (рис. 15).

Считаю целесообразным включить в обзор достигнутый дополнительно два результата, полученных в последнее время в ИОФ РАН и не вошедших в мой доклад на научной сессии Общего собрания отделения. Речь идёт о газоразрядном волоконном лазере с СВЧ-накачкой и прецизионном измерении групповой скорости ультразвука в твёрдых средах.

Созданный газоразрядный волоконный лазер на атомах ксенона с длиной волны излучения 2,027 мкм не имеет мировых аналогов, совмещает преимущества волоконных и газоразрядных лазеров и является, по сути, новым типом лазерных источников излучения. Разработанная схема допускает возможность дальнейшего совершенствования конструкции при масштабировании длины разряда в световоде с полой сердцевиной и применения в качестве активных сред различных газов и их смесей с целью увеличения выходной мощности и расширения спектрального диапазона.

Разработана методика, также не имеющая мировых аналогов, исследования пространственной зависимости скорости ультразвука в металлах при миллиметровой толщине образца. Методика основана на лазерно-ультразвуковой структуроскопии, позволяющей достичь рекордной точности измерения скорости ультразвука (~0,1%) за счёт использования широкополосных субмикросекундных акустических импульсов, возбуждаемых лазером. Разработка перспективна для контроля напряжённых состояний при различных технологических операциях.





Рис. 15. Лазерный хирургический комплекс "Лазурит".

Подводя итог, необходимо отметить, что за обозреваемый период было получено большое количество результатов, отвечающих самым высоким требованиям современной науки и представленных в годовых отчётах академиков-секретарей на общих собраниях Отделения физических наук РАН. Отобрать из них лишь небольшое число для публикации ограниченного объёма представлялось задачей крайне трудной. За основной критерий было принято соответствие результата международному уровню или его превышение. Тем не менее исключить субъективную составляющую сделанного обзора нельзя. Потому я приношу извинения тем, кто может не согласиться с моим выбором. Также необходимо упомянуть, что анализ результатов в области ядерной физики и астрономии в мою задачу не входили — они будут рассмотрены в работах других авторов.

### On some scientific results obtained at institutes of the Physical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences over the past 25 years

I.A. Shcherbakov, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova 38, 119991 Moscow, Russian Federation  
E-mail: ivan11444@mail.ru

This paper is based on my report at the Scientific Session held on May 27, 2024, as part of the General Meeting of the Physical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences. The presented results concern such scientific areas as condensed matter physics and physical materials science, optics, laser physics and laser technologies, plasma physics, physical electronics, radiophysics, and acoustics. These areas have been actively developing in recent decades and retain their relevance today.

**Keywords:** optics, laser physics, condensed matter physics, radiophysics, physical materials science, medical physics

PACS numbers: 01.10.Fv, **01.55.+b**, **01.65.+g**

Bibliography — 13 references  
*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **194** (12) 1242–1249 (2024)  
DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.05.039790>

В заключение автор выражает глубокую благодарность Е.Ю. Кильпио за помощь в отборе материала и оформлении работы.

### Список литературы

1. Боярчук А.А., Келдыш Л.В. "От физического кабинета до Отделения общей физики и астрономии" *УФН* **169** 1289 (1999); Boyarchuk A. A., Keldysh L. V. "From a physics laboratory to the Division of General Physics and Astronomy" *Phys. Usp.* **42** 1183 (1999)
2. Алфёров Ж.И. "Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии" *УФН* **172** 1068 (2002); Alferov Zh. I. "Nobel Lecture: The double heterostructure concept and its applications in physics, electronics, and technology" *Rev. Mod. Phys.* **73** 767 (2001)
3. Крёмер Г. "Квазиэлектрическое поле и разрывы зон. Обучение электронов новым фокусам" *УФН* **172** 1087 (2002); Kroemer H. "Nobel Lecture: Quasielectric fields and band offsets: teaching electrons new tricks" *Rev. Mod. Phys.* **73** 783 (2001)
4. Килби Дж.С. "Возможное становится реальным: изобретение интегральных схем" *УФН* **172** 1102 (2002); Kilby J. S. "Turning potential into reality: the invention of the integrated circuit," in *Nobel Lectures, Physics 1996–2000* (Ed. G Ekspng) (Singapore: World Scientific Publ., 2002) p. 474; <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/kilby-lecture.pdf>
5. Абрикосов А.А. "Сверхпроводники второго рода и вихревая решетка" *УФН* **174** 1234 (2004); Abrikosov A. A. "Nobel Lecture: Type-II superconductors and the vortex lattice" *Rev. Mod. Phys.* **76** 975 (2004)
6. Гинзбург В.Л. "О сверхпроводимости и сверхтекучести (что мне удалось сделать, а что не удалось), а также о "физическом минимуме" на начало XXI века" *УФН* **174** 1240 (2004); Ginzburg V. L. "On superconductivity and superfluidity (what I have and have not managed to do), as well as on the "physical minimum" at the beginning of the XXI century (December 8, 2003)" *Phys. Usp.* **47** 1155 (2004)
7. Легgett Э.Д. "Сверхтекучий  $^3\text{He}$ : ранняя история глазами теоретика" *УФН* **174** 1256 (2004); Leggett A. G. "Nobel Lecture: Superfluid  $^3\text{He}$ : the early days as seen by a theorist" *Rev. Mod. Phys.* **76** 999 (2004)
8. Гейм А.К. "Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену" *УФН* **181** 1284 (2011); Geim A. K. "Nobel Lecture: Random walk to graphene" *Rev. Mod. Phys.* **83** 851 (2011)
9. Новосёлов К.С. "Графен: материалы Флатландии" *УФН* **181** 1299 (2011); Novoselov K. S. "Nobel Lecture: Graphene: Materials in the Flatland" *Rev. Mod. Phys.* **83** 837 (2011)
10. Герценштейн М.Е., Пустовойт В.И. *ЖЭТФ* **43** 605 (1962); Gertsenshtein M. E., Pustovoi V. I. *Sov. Phys. JETP* **16** 433 (1963)
11. Пустовойт В.И. "О непосредственном обнаружении гравитационных волн" *УФН* **186** 1133 (2016); Pustovoi V. I. "On the direct detection of gravitational waves" *Phys. Usp.* **59** 1034 (2016)
12. Хазанов Е.А. "Термооптика магнитоактивной среды: изоляторы Фарадея для лазеров с высокой средней мощностью" *УФН* **186** 975 (2016); Khazanov E. A. "Thermooptics of magnetoactive medium: Faraday isolators for high average power lasers" *Phys. Usp.* **59** 886 (2016)
13. Брагинский В.В., Биленко И.А., Вятчанин С.П., Городецкий М.Л., Митрофанов В.П., Прохоров Л.Г., Стрыгин С.Е., Халили Ф.Я. "Дорога к открытию гравитационных волн" *УФН* **186** 968 (2016); Braginsky V. V., Bilenko I. A., Vyatchanin S. P., Gorodetsky M. L., Mitrofanov V. P., Prokhorov L. G., Strigin S. E., Khalili F. Ya. "Background to the discovery of gravitational waves" *Phys. Usp.* **59** 879 (2016)

Received 21 June 2024

*Physics – Uspekhi* **67** (12) (2024)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2024.05.039790>