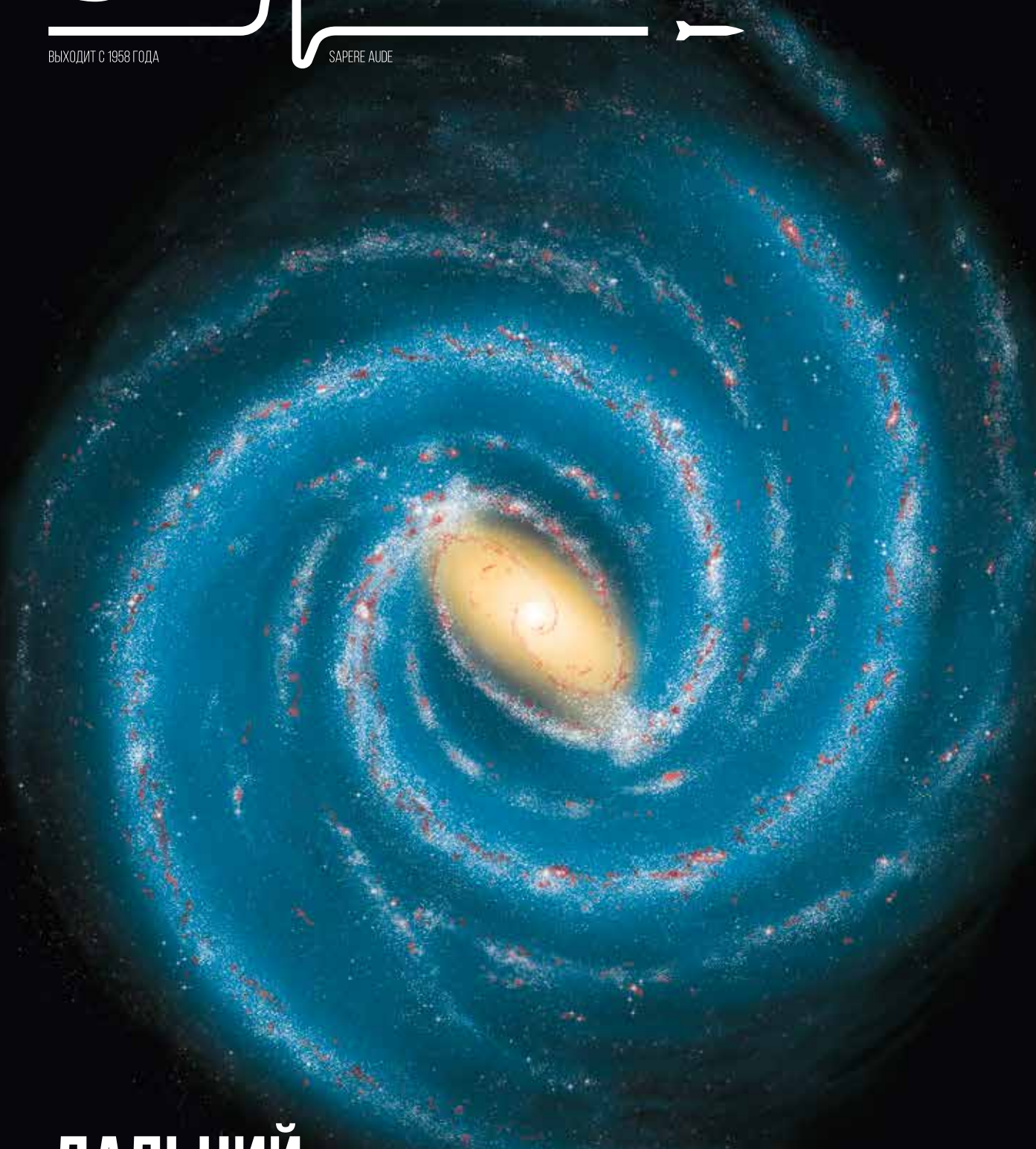


ЗА НАУКУ

ВЫХОДИТ С 1958 ГОДА

SAPERE AUDE



ДАЛЬНИЙ КОСМОС



ОТ РЕДАКЦИИ

Когда мы только начинали готовить этот номер, то тематику для себя обозначили просто — космос. Через месяц стало понятно, что тема такая же бесконечная, как и количество вопросов о Вселенной: как она появилась? Что ждет ее впереди? Одни ли мы здесь, или у нас есть соседи?

Люди задаются этими вопросами и пытаются разгадать, что же происходит за пределами Земли, уже несколько тысяч лет. Невозможно раскрыть в одном выпуске хотя бы одну сотую долю того, что человечество уже знает, — а о том, что ему еще предстоит узнать, можно только догадываться.

Дальний космос и ближний — так мы решили условно поделить эту огромную тему. Конечно, и двух номеров для всего будет недостаточно, но на то он и космос, чтобы быть необозримым. Начнем «издалека» — с малоизученных планет и непознанных галактик.

СОДЕРЖАНИЕ



14

№2 (1952) 2018 год

Главный редактор
Анна Дзарахохова

Научный редактор
Татьяна Небольсина

Дизайн, верстка, иллюстрации
Екатерина Блудчая,
Эмма Бурляева,
Елена Хавина,
Любовь Ярошинская,
Lion on helium

Фотограф
Евгений Пелевин

Корреспонденты
Алена Гурьева,
Изабелла Затикиан,
Ильяна Золотарева,
Виктория Максимчук,
Вячеслав Мещеринов,
Елизавета Павлова,
Вероника Рочева,
Алексей Тимошенко,
Дмитрий Трунин,
Олег Фея,
Елена Хавина,
Ксения Цветкова

Корректор
Юлия Болдырева

Цветокоррекция и пре-пресс
Максим Куперман

НОВОСТИ 4

Новости науки 4
Новости МФТИ 6
МФТИ в СМИ 8

ГЕРОИ НОМЕРА 10

Золото из Поднебесной

ОТКРЫТО 14

Технологии

Первые в мире биосенсоры
из меди и оксида графена

Технологии 16

Память будущего «ощупали»

Фундаментальная физика 18

Перепутать как следует

Астрофизика 20

Формирование джета
в высоком разрешении

Медицина 22

«Магическая пуля»
против рака

Космос 24

Погода на Марсе

ГЛАВНОЕ 26

Тысячи лье над головой

Пестрая лента Галактики 28

Как менялись представления
о космосе

Что это, Бэрримор? 32

Словарь из 15 терминов

Эволюция звезд 34

Во глубине вселенских руд 38

Экзопланеты 44

Black Holes and Revelations 46

Проект «РадиоАстрон»

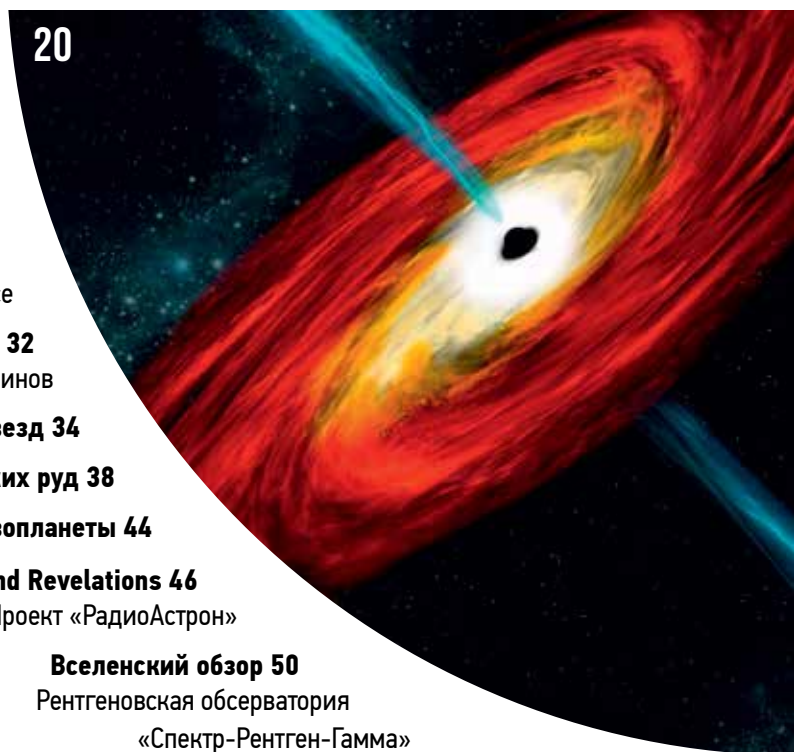
Вселенский обзор 50

Рентгеновская обсерватория
«Спектр-Рентген-Гамма»



10

20





52 СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Захватить двумерный мир

Как устроена лаборатория нанооптики и плазмоники на Физтехе

58 ЛАБОРАТОРИЯ

Белые пятна на черных дырах

Лаборатория фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной

60 STARTUP

Мы такие одни в России

Как появился BestDoctor

62 BACKGROUND

«Жизнь состоит из случайностей»

Андрей Сыкулев, основатель и генеральный директор компании «Синимекс»

64 ИНТЕРВЬЮ

Последний гость «Мира»

Александр Калери

68 В ТРЕНДЕ

Новая эра в астрономии:

что расскажет детектор LISA о происхождении Вселенной

72 КАРЬЕРА УЧЕНОГО

Как опубликовать научную статью

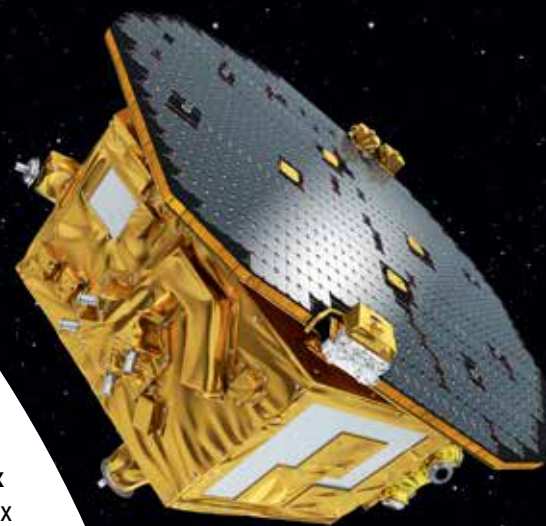
76 НАУЧНЫЕ РАЗОБЛАЧЕНИЯ

Вселенная не должна существовать!

78 РАЗБОР ПОЛЕТОВ

Пилот из далекой-далекой галактики

80 ФОТОХРОНИКА



68

Ректор МФТИ

Николай Кудрявцев

Проректор по научной работе и программам развития

Виталий Баган

Начальник пресс-службы МФТИ

Алёна Гупаисова

e-mail редакции:

zn@phystech.edu

Подписано в печать

21.06.2018

Тираж 999 экз.

Отпечатано в типографии

«Сити Принт». г. Москва, ул. Докукина, 10/41

Перепечатка материалов невозможна без письменного разрешения редакции журнала.

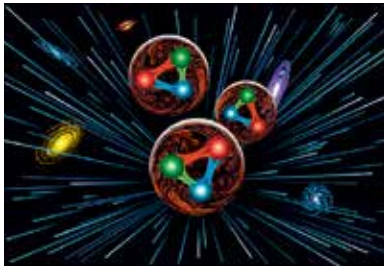
Мнения и высказывания, опубликованные в материалах журнала «За науку», могут не совпадать с позицией редакции.

На обложке:

Галактика Млечный Путь. Автор Lion on helium

ПЛОТНЫЕ ПРОТОНЫ

Протоны оказались самой плотной формой материи во Вселенной. Давление внутри них, как показывают



замеры американских ученых, примерно в 10 раз выше, чем в центре нейтронных звезд. Ученые из Лаборатории Джефферсона «просканировали» внутренности протона с помощью глубоко-виртуального комптоновского рассеяния. Они рассчитали на основании этих данных функцию распределения партонов и один из трех гравитационных факторов, а также оценили давление внутри частицы. Оказалось, что давление внутри протона достигает значений порядка 10^{35} паскалей.

ВИСМУТ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ

Российские физики разработали новый тип оптического волокна (стеклянного волокна, содержащего висмут) для лазеров, излучающих в области 1,6–1,8 микронметров.

Добавление висмута в стеклянную матрицу с высоким содержанием оксида германия стало прорывом, дающим возможность реализовать новый тип световодов. Они позволяют усиливать и генерировать оптическое излучение на различных длинах волн, в данном случае от 1,6 до 1,8 микронметров (для сравнения: толщина человеческого волоса равна примерно 40 микронметров). Сейчас из данного типа волокна созданы лазеры в области 1,7 микронметров с мощностью более 2 ватт и КПД более 30%. Разработка не имеет зарубежных

аналогов. До сих пор остается неизвестным фундаментальное ограничение характеристик таких лазеров. Ученые считают, что эти характеристики, вполне вероятно, можно улучшить, совершенствуя технологию их изготовления.



СВОЕ КИНО

Сюжет получасового фильма «Момент» меняется в зависимости от уровня внимания смотрящего. Зрители надевают специальную гарнитуру, которая записывает электроэнцефалограмму и контролирует деятельность мозга. Программное обеспечение использует эти сигналы для изменения длины сцен фильма, фоновой музыки и т. д. Чтобы сделать это возможным, режиссер-постановщик Ричард Рамчурн должен был снимать разные версии каждой сцены фильма. В результате общее число вариаций сюжета достигло 101 триллиона, и только концовка оставалась одной и той же. «Момент» начали показывать с 7 июня по всей Великобритании.



© curiosidades.batanga.com

ПРОСТО МОЗГ

Чем выше уровень интеллекта человека, тем меньше связей в коре головного мозга. К такому неожиданному выводу пришли авторы исследования из Рурского университета в Бохуме. В работе ученые использовали специальную технику нейровизуализации, позволяющую изучать строение мозга на микроструктурном уровне. В рамках работы было проанализировано строение мозга 259 мужчин и женщин, все прошли тест на IQ. Объединив полученные данные, ученые пришли к парадоксальному выводу: чем выше IQ, тем меньше дендритов, коротких отростков нервных клеток, задействованных в межклеточной коммуникации, в коре головного мозга. «Существовала гипотеза, согласно которой более крупный мозг содержит больше нейронов и, как результат, обладает большей вычислительной мощностью, — поясняет Эрхан Генч, один из руководителей исследования. — Однако головной мозг более умных людей демонстрирует меньшую нейронную активность во время прохождения теста на IQ, нежели мозг людей со средним или низким интеллектом. Мозг человека с высоким уровнем интеллекта содержит относительно немного нейронных связей, но они более эффективны».

ГАЛАКТИКИ БЕЗ ЗВЕЗД

При исследовании объектов ранней Вселенной ученые из Швейцарии обнаружили несколько галактик, практически лишенных звезд. Открытие подтверждает одну из теорий формирования структур во Вселенной, согласно которой сперва формируются крупные образования, то есть галактики и их скопления, а затем внутри них появляются мелкие тела, такие как звезды. В рамках исследования

астрономы смогли обнаружить эти галактики благодаря находящимся близко к ним квазарам — активным ядрам галактик, одним из ярчайших небесных тел во Вселенной, которые подобно маякам могут освещать другие объекты. Открытие было сделано при помощи нового инструмента MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer — Многообъектный спектрографический исследователь), который установлен на телескоп VLT Европейской южной обсерватории в 2014 году.



1500 часов в течение 10 лет телескоп Parkes в Новом Южном Уэльсе будет сканировать Млечный Путь, чтобы найти признаки разумной жизни



ИНОПЛАНЕТЯНЕ СУЩЕСТВУЮТ?

Многие астрофизики считают, что наша Вселенная обладает рядом уникальных характеристик, в том числе соотношением долей видимой, темной материи и энергии, благодаря которым в ней могут существовать звезды, планеты и подходящие условия для зарождения жизни. Малейшие отклонения в значениях этих и некоторых других физических констант сделают параллельную вселенную безжизненной. Международная группа ученых решила проверить это, создав компьютерные модели иных миров, где темная энергия имела несколько другие свойства и иначе влияла на процесс расширения границ мироздания. Моделирование было проведено в рамках проекта EAGLE (Evolution and Assembly of Galaxies and their Environments), одной из самых реалистичных моделей наблюдаемой Вселенной. Расчеты действительно показали, что наша Вселенная содержит в себе аномально мало темной энергии. С другой стороны, увеличение ее количества в несколько сотен раз никак не влияло на процесс формирования звезд, плотность галактик и другие важные черты, связанные с их обитаемостью. Параллельные вселенные будут пригодны для формирования новых звезд и зарождения жизни даже в том случае, если они содержат иное количество темной энергии, чем наша, заявляют авторы расчетов.

ПЕРЕСАДКА ПАМЯТИ

Ученые Калифорнийского университета осуществили пересадку памяти от одной морской улитки к другой через инъекцию специфических рибонуклеиновых кислот (РНК). Они взяли морского моллюска аплизию (или морского зайца), которого часто используют в нейробиологических опытах из-за его огромных нейронов, различимых даже невооруженным глазом. Их специально стимулировали с помощью электродов и слабых электрических импульсов. Затем извлекли РНК из тех нейронов, которые показывали защитную реакцию на раздражение, и ввели другому моллюску. Он в результате начал реагировать так же. Иными словами, молекула РНК перенесла память от одного моллюска другому. Сама по себе РНК никакой памяти не несет, но зато она так изменяет структуру ДНК, что нейрон оказывается в состоянии что-то запомнить. Новые результаты еще предстоит переверифицировать, но если все окажется действительно так — не только у моллюска, а и у других животных, — то можно будет подумать об РНК-таблетках, стимулирующих память.



МЕТАНАНО-2018

С 17 по 21 сентября в Сочи состоится Третья международная конференция по нанофотонике и метаматериалам МЕТАНАНО-2018, которую организует Университет ИТМО. Специальную сессию «Графен и двумерные материалы» организует руководитель лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ Валентин Волков. В конференции примут участие ученые — лидеры в своих областях, а откроет ее выпускник ФОПФ (1982), лауреат Нобелевской премии по физике (2010) и профессор Манчестерского университета Андрей Гейм.



ПЕРВАЯ ЗАЩИТА

7 июня в стенах МФТИ состоялась первая защита диссертации по системе самостоятельного присуждения ученых степеней. Аспирантка ФРКТ Инна Минашина представила диссертацию «Анализ и разработка современных интеллектуальных методов моделирования в системах принятия решений», которая была посвящена моделированию транспортных потоков и разработке интеллектуальных систем для управления перевозками на железнодорожном транспорте. В диссертационный совет вошли пять докторов технических наук: директор ФРКТ, член-корреспондент РАН Александр Дворкович, заведующий лабораторией ИПУ РАН профессор Анатолий Цвиркун, заведующий кафедрой АСУ МЭИ профессор Олег Проталинский, главный научный сотрудник ЦИТиС Эдуард Аведьян и главный научный сотрудник ИПУ РАН профессор Владимир Вишневский. Несмотря на то, что защита прошла в стенах родного института, требования к диссертации были более высокими, по сравнению с правилами ВАК. По итогам дискуссии совет единогласно принял решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук. Напомним, что МФТИ получил право на самостоятельное присуждение ученых степеней 23 августа 2017 года.



НАШИ В США

Выпускники Физтеха Михаил Лукин и Михаил Шифман стали членами Национальной академии наук США. В этом году количество полноправных членов среди иностранцев увеличилось на 21, среди них трое из России. Михаил Лукин с 2001 года работает в Гарвардском университете. Он реализовал один из вариантов «остановки» света в среде и экспериментально подтвердил существование фотонных молекул. Михаил Шифман с 1990 года работает профессором Миннесотского университета. Свою известность он получил благодаря теории сильных взаимодействий.

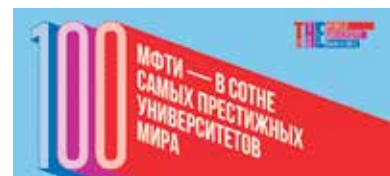


ВМЕСТЕ С РАН

Подведены итоги конкурса на создание академических научных и прикладных лабораторий на базе МФТИ, в котором приняли участие ведущие научные коллективы и ученые с намерением создать на Физтехе лабораторию фундаментальной или прикладной направленности совместно с институтами РАН. Из 27 заявок после двухступенчатой экспертизы было одобрено 9. Такие лаборатории помогут обновить институтские и факультетские образовательные программы, а также усилят взаимодействие вуза с ведущими институтами РАН.

В СОТНЕ

Британский журнал Times Higher Education опубликовал топ-100 высших учебных заведений, основанный на оценке их репутации. МФТИ оказался на позиции 91–100, повторив результат 2016 года. В сотню рейтинга вошел еще один российский вуз: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова оказался на 33 месте. По словам ректора МФТИ Николая Кудрявцева, рост репутации МФТИ в этом году связан прежде всего с интеграцией усилий Физтеха и партнеров из РАН и высокотехнологичной индустрии для решения научных и технологических задач цифровой экономики и подготовки по приоритетным направлениям. Так, в 2017 году Физтех выиграл конкурс НТИ и стал национальным центром компетенций по искусственному интеллекту.



МФТИ В РЕЙТИНГАХ

Место в 2018	Место в 2017	Изменение по отношению к прошлому году
THE EMERGING ECONOMIES UNIVERSITY RANKINGS		
11	12	↑1
THE WORLD REPUTATION RANKINGS		
91-100	-	-
THE GOLDEN AGE		
35	46	↑11
QS WORLD UNIVERSITY RANKINGS		
312	355	↑43
РЕЙТИНГ «SUPERJOB ДЛЯ СТУДЕНТОВ» ПО УРОВНЮ ЗАРПЛАТ ЗАНЯТЫХ В ИТ-ОТРАСЛИ		
1	1	-
100 ЛУЧШИХ ВУЗОВ РОССИИ (РА «ЭКСПЕРТ»)		
2	2	-
НАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЙТИНГ УНИВЕРСИТЕТОВ (ИНТЕРФАКС)		
3	6	↑3



ЛУЧШИЕ ФИЗИКИ ЕВРОПЫ

1 июня в московском парке «Зарядье» состоялась церемония награждения победителей II Европейской олимпиады школьников по физике (EuPhO 2018), в которой приняли участие 115 школьников из 23 стран Европы. Впервые мероприятие прошло в России — на базе МФТИ. Девять школьников из России принимали участие в олимпиаде, семеро из них стали золотыми, серебряными и бронзовыми медалистами. Золото взял Владимир Малиновский из Санкт-Петербурга. Серебро — Андрей Панферов (Москва) и Владислав Поляков (Санкт-Петербург). Четыре бронзовых медали у Елисея Судакова (Вологодская область), Алексея Кудринского (Пермский край), Арины Кузнецовой (Московская область) и Андрея Лёвина (Москва). Также почетную грамоту (4-я степень) получил Фёдор Князев из Москвы.

ПОБЕДЫ

КОНКУРС ФОНДА ПРЕЗИДЕНТСКИХ ГРАНТОВ

Первое место:

Проект Физтех-союза «Наука в регионы»
Проект Фонда развития Физтех-школ «Профессиональное мастерство учителя физики»

МЕЖДУНАРОДНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА UJMC

Младшая группа, 1–2 курс МФТИ:

Александр Труфанов — 4 место (26 очков)
Андрей Асанов — 7–12 место (21 очко)

Старшая группа, 3–4 курс МФТИ:

Алексей Волостнов — 1 место (29 очков)
Никита Чернега — 2–9 место (23 очка)
Максим Дидин — 15 место (18 очков)

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОЛИМПИАДА ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

Личный зачет:

Золото — Никита Семенов и Александр Артемьев
Серебро — Кирилл Перминов и Максим Елисеев
Бронза — Александр Смирнов

Командный зачет: Первое место

Конкурс «Брейн-ринг»: Второе место

ЧЕМПИОНАТ МИРА ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ ACM ICPC

Золото — Александр Останин, Александр Голованов
и Никита Уваров

ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

Первое место — Игорь Вилкин, Максим Хабаров и Иван Утешев

Лауреаты — Кирилл Воронин, Илья Кочергин, Андрей Борисов
и Тимофей Глухих

ЧЕМПИОНАТ УРАЛА ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ

Первое место — Евгений Белых, Андрей Сергунин и Илья Степанов

14-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ХОРОВОЙ КОНКУРС И ФЕСТИВАЛЬ БАД-ИШЛЬ

Камерный хор МФТИ завоевал в номинации «Народная музыка»
золотой диплом, а в номинациях «Духовная музыка»
и «Большие смешанные хоры» — серебряные дипломы

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ СРЕДИ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Второе место — Еремей Кудрявцев, Татьяна Карпова
и Ирина Калимова

ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ БИОМЕДИЦИНЫ

Первое место — Сергей Духалин

ОЛИМПИАДА ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ МФТИ

Первое место — аспирант ФАЛТ Дмитрий Гаджиев
и студент 2 курса ФОПФ Максим Елисеев

Второе место — студент 3 курса ФОПФ Кирилл Воронин

Третье место — студент 2 курса ФОПФ Илья Зыков

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОЛИМПИАДА ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ — XII КУБОК ВЕКА

Приз им. Н. И. Мухелишвили (лучшая иностранная команда) —
Илья Степанов, Евгений Белых и Андрей Сергунин

ВЕДОМОСТИ

ВЫПУСКНИКИ ИТ-ФАКУЛЬТЕТОВ МОСКВЫ ВОЗГЛАВИЛИ РЕЙТИНГ ЗАРПЛАТНЫХ ОЖИДАНИЙ

Сервис поиска работы SuperJob составил рейтинг российских вузов по уровню зарплат выпускников ИТ-факультетов за 2018 г. В выборку вошли 37 университетов, по каждому анализировалось не менее 100 резюме выпускников 2012–2018 гг. В двадцатку учебных заведений с наибольшими зарплатными ожиданиями молодых специалистов попали девять московских вузов, четыре петербургских и семь региональных. Первые три места – у Московского физико-технического института (МФТИ), МГТУ им. Баумана и Московского инженерно-физического института (МИФИ). Их выпускники хотят зарабатывать в среднем по 150 000, 130 000 и 120 000 руб. в месяц соответственно.



Индикатор

ПРОФЕССИИ БУДУЩЕГО: ЧЕМУ ОБУЧАЕТ ФИЗТЕХ-ШКОЛА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Indicator.Ru совместно с МФТИ запускает спецпроект об актуальных научных направлениях и профессиях будущего. В этом материале мы расскажем, какие лаборатории занимаются передовыми исследованиями в области математики и информатики и почему через десятилетие об этом будут знать все. Специальности, для которых эти знания окажутся особенно востребованными, мы взяли из «Атласа новых профессий» — альманаха перспективных отраслей и профессий на ближайшие 15–20 лет.

газета.ru

ТРЕХПЕТЕЛЬНЫЕ БЕЛКИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЗАМЕДЛИЛИ РОСТ РАКОВЫХ КЛЕТОК

Сотрудники ИБХ имени М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН совместно с коллегами из МГУ имени М. В. Ломоносова и Московского физико-технического института обнаружили, что белки человека SLURP способны подавлять рост раковых клеток. Эти белки обнаруживаются в эпителии и регулируют его функционирование, однако механизм их действия не до конца ясен, что обуславливает большой интерес ученых. Полученные результаты в будущем могут быть использованы для разработки и улучшения противораковых препаратов.

Daily Mail

WHEN WILL YOU DIE? FREE APP CLAIMS TO PREDICT THE END OF YOUR LIFE TO WITHIN 36.5 DAYS BASED ON YOUR CURRENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

Experts in Russia designed a free app dubbed Gero, which uses AI to analyse activity data from your phone accelerometer to estimate your lifespan within a tenth of a year. When combined with information recorded by wearable fitness monitors, this prediction becomes even more precise. The estimate will even be revised downwards if you don't keep up with your healthy living routines, hopefully adding an incentive to stick to them. The app is the work of researchers the Moscow Institute of Physics and Technology are behind the app. They analysed physical activity records and clinical data from the 2003 to 2006 US National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES).



РИА
НОВОСТИ

ФИЗИКИ РАСКРЫЛИ ТАЙНУ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ «ЧАСТИЦ» И «АНТИЧАСТИЦ» В ГРАФЕНЕ

Физики из России и Японии нашли объяснение одному из «парадоксальных» свойств графена, выяснив, как электрические аналогии частиц и античастиц внутри него могут уничтожать друг друга, не нарушая законов физики. Их выводы были опубликованы в журнале Physical Review B. «Эта задача была изначально похожа на математическую головоломку. Законы сохранения разрешают рекомбинацию только если все три частицы-участницы процесса движутся строго в одну сторону. Вероятность такого события стремится к нулю. К счастью, мы вовремя перешли от абстрактной математики к квантовой физике, где частица не имеет строго определенной энергии», — рассказывает Дмитрий Свинцов из Московского Физтеха в Долгопрудном, чьи слова приводит пресс-служба МФТИ.

ИЗВЕСТИЯ ВОДИТЕЛИ НЕ ЗАСНУТ ЗА РУЛЕМ

Создаваемая российскими специалистами система проследит за тем, чтобы водители не засыпали за рулем. Для этого предполагается анализировать видео из кабины и информацию с датчиков на теле шофера. Планируется, что разработка такого оборудования займет у ученых Московского физико-технического института (МФТИ) и АО «Нейроком» полтора года. Как сообщил «Известиям» руководитель лаборатории прикладных кибернетических систем МФТИ Тимур Бергалиев, разрабатываемый комплекс будет фиксировать признаки снижения работоспособности у водителя. При необходимости получивший предупреждение оператор дистанционно даст ему команду отдохнуть.

Forbes

НЕ РОЖДАЮТСЯ, А СТАНОВЯТСЯ: ПОЧЕМУ РОССИЙСКИЕ ПРОГРАММИСТЫ СИЛЬНЕЕ ВСЕХ

Как национальный характер и запрет на калькуляторы делают русских лучшими кадрами в IT-индустрии, рассказал Forbes проректор по международным программам и технологическому предпринимательству МФТИ, основатель и руководитель Moscow Workshops ICPC Алексей Малеев.



RUSSIAN RESEARCHERS DEVELOP NEW BIOSENSOR CHIPS BASED ON UNCONVENTIONAL MATERIALS

Russian researchers from the Moscow Institute of Physics and Technology have developed biosensor chips of unprecedented sensitivity, which are based on copper instead of the conventionally used gold. Besides making the device somewhat cheaper, this innovation will facilitate the manufacturing process. The research findings are reported in the journal *Langmuir*, named in honor of Irving Langmuir — a U.S. scientist awarded the 1932 Nobel Prize in chemistry "for his discoveries and investigations in surface chemistry."

Подробнее читайте на стр. 14

The Register®

RUSSIAN BATTERY AMBITIONS SEE A 10X INCREASE IN POWER FROM SMALLER, DENSER NUKES

Russian boffins at the Moscow Institute of Physics (MIPT) have emitted a prototype nuclear battery packing 3,300 milliwatt hours of energy per gram. The paper, published in *Diamond and Related Materials*, describes a betavoltaic battery powered by the beta decay of the nickel-63 isotope giving 10 times the power of conventional commercial cells.

НАУКА И ЖИЗНЬ®

ЗВУКОВОЙ ЧИП ДЛЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

<...> Физики из МФТИ, МИСиС, МГПУ и Лондонского университета разработали квантовую систему, в которой кубит (наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере) взаимодействует с акустическими волнами в резонаторе. Их исследование позволяет показать, что явления и эффекты квантовой оптики работают на акустике, и использовать в будущем подобные устройства для разработки квантовых компьютеров. Статья с результатами опубликована в *Physical Review Letters*.

Мел

В МФТИ ОТКРОЕТСЯ МАГИСТЕРСКАЯ ПРОГРАММА ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОЕКТАМИ В СФЕРЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

РВК, МФТИ и лаборатория МФТИ-Сбербанк открывают магистерскую программу по управлению проектами в сфере технологий искусственного интеллекта. Программа рассчитана на выпускников бакалавриата технических специальностей с опытом программирования, у которых есть идеи новых продуктов или бизнес-проектов. Реализация студенческих проектов будет происходить на базе открытой платформы для разработки разговорного ИИ — iPavlov и технологий МФТИ-Сбербанк. Студенты смогут создать собственный стартап под руководством научных руководителей.



ЭФФЕКТИВНЕЕ ВСЕГО УЧИТ ЯРКИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ИЛИ СТРЕСС НА ЭКЗАМЕНЕ

Знаменитый Физтех можно назвать институтом гениев: средний проходной балл ЕГЭ — 94,1, среди абитуриентов много победителей олимпиад, каждый шестой выпускник защищает докторскую, 10 выпускников в списке Forbes. Артём Воронов, проректор Московского физико-технического института по учебной работе и довузовской подготовке, рассказал ЧТД, как сочетание нагрузки и свободы формирует успешную личность.



РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ СМОДЕЛИРОВАЛИ МАРСИАНСКУЮ ЗИМУ

Ученые из МФТИ и ИКИ, а также их немецкие и японские коллеги численно смоделировали распределение водяного пара и льда в атмосфере Марса в течение года. Помимо относительно крупных частиц атмосферной пыли, на которых происходит конденсация пара, исследователи учитывали при расчетах более мелкие, незаметные для приборов частицы, — это позволило получить точную картину, которая хорошо согласуется с результатами прямых измерений при помощи орбитальных зондов. Статья опубликована в *Journal of Geophysical Research: Planets*.

Подробнее читайте на стр. 24

ЗОЛОТО ИЗ ПОДНЕБЕСНОЙ

✍ Юлия Болдырева, Анна Дзарахова



Четверг, 19 апреля, стал большим днем для российского спортивного программирования: на финальном турнире престижнейшего чемпионата ICPC в Пекине российские команды собрали богатый урожай наград. В отборочном туре чемпионата приняли участие более 49 тысяч студентов из 111 стран, а до финала добрались 140 команд по три человека в каждой. В итоге первое место и кубок достались участникам из МГУ, а второе, вместе с золотой медалью, — команде МФТИ Cryptozoology, в которой выступали Александр Останин, Александр Голованов и Никита Уваров. Вернувшись из Китая, весь победный состав вместе с тренерами Михаилом Тихомировым и Ренатом Гимадеевым собрался в Центре развития ИТ-образования МФТИ, чтобы дать интервью главреду журнала «За науку». К ним присоединился руководитель команды, проректор по международным программам и технологическому предпринимательству МФТИ Алексей Малеев.

□ Начинает беседу ветеран команды Александр Останин. Сейчас он доучивается на шестом курсе ФИВТа. На вопрос о том, что подстегнуло его перед самым дипломом взвалить на себя еще и подготовку к ICPC, отвечает со смехом:

— Лучшие спросить, что меня подстегнет сделать диплом. Ну не знаю, я занимался этим всегда, с первого курса, каждую неделю участвовал в тренировках. Так что нужно было довести дело до конца, диплом там у меня или нет.

— На первом курсе у меня была другая команда, — вспоминает он. — Мы неплохо написали полуфинал, но потом один участник уехал в Америку. Состав немного поменяли. Три года участвовали так, в один из сезонов даже выиграли четвертьфинал, но потом уже у другого участника «закончились» сезоны: он провел пять, а больше по правилам нельзя. Я к тому времени провел четыре. В итоге мы собрались такой командой, как сейчас. Один сезон пропустили и поехали в этом году. Теперь я тоже отыграл свои пять сезонов и больше не смогу.

Красивое завершение спортивной карьеры. Такая «ротация кадров» поддерживается организаторами, чтобы программисты не делали участие в соревнованиях своей основной работой. Ну и чтобы дать, как говорится, дорогу молодым: на чемпионат не допускаются «бойцы» старше 24 лет. Теперь у Александра Останина появится больше времени на себя и свои увлечения:

— В футбол играю каждую неделю. Стараюсь ходить куда-то, особенно на выезде: в музеи, парки... В Пекине вот видел Запретный город,



Александр Останин

который несколько веков был резиденцией императоров. Раньше туда не пускали простолюдинов, а теперь можно посмотреть на разные постройки: тут император делал то, тут — другое, здесь общался с этими ребятами, а здесь — с теми. Красиво, но под конец уже немного скучно — довольно однообразная архитектура.

Другому Александру — Голованову — ближе музыка, чем спорт.

— Когда мне скучно, я на гитаре играю, но это раз в миллиард лет. Я вырос в Казани, окончил там лицей им. Н. И. Лобачевского, но на татарском пять лет уже не разговаривал. Наверное, все теперь забыл. Олимпиадной математикой увлекался со школы. И сейчас, если честно, больше математикой увлекаюсь.

Как и его тезка, он давно участвует в соревнованиях. Говорит, что начал еще в школе, и это увлечение во многом привело его на Физтех:



Александр Голованов

— При поступлении выбора особо не было. Был еще матфак Вышки, но туда я не хотел. Поговаривают, что после этого на работу сложнее устроиться, и вообще там жестко-жестко.

С тренером команды Ренатом Гимадеевым Александр знаком еще со школы — сдавал ему задачи на проверку в кружке. Сейчас Ренат — выпускник, но продолжает преподавать в университете и заниматься с командой, несмотря на занятость в компании AIM Tech.

— Я помню тебя во всяких летних школах, — говорит Александр. — Мы с тобой познакомились после моего 6-го класса.

— Моя сестра училась с ним в одном классе, — поясняет Ренат. — Я даже у него вел занятия тогда, кружок в 33-м лицее. Задачи принимал у всех.

Школьные знакомства и позволили Александру «войти во вкус» спортивного программирования. Начал он этим заниматься в компании старых товарищей:

— Поступил на Физтех не один. У меня были друзья, с которыми я участвовал в соревнованиях по командному программированию в школе, поэтому какое-то время у нас старт был такой же, как и в школе. С этим составом мы на сборы не ездили, даже на полуфинал не прошли на первом курсе.

Младший участник команды Никита Уваров присоединился к двум Александрам, когда оба остались без своих прежних команд. Тренер Михаил Тихомиров рассказывает, как это произошло:

— Александры раньше были членами двух разных команд, но в какой-то момент в каждой из них по два человека закончили участвовать или ушли. Оба Сани оказались по одному, и в команде Никиты примерно то же самое произошло: у него был один всего сокомандник, и он ушел в Jinotega (эта команда становилась золотым и серебряным призером чемпионата мира по программированию ICPC в 2016 и 2017 году соответственно — прим. ред.) — другую команду МФТИ. В итоге остались три сильные команды, в каждой из которых оказалось всего по одному человеку, и вот из них собрали новую. Если бы хоть одна из тех команд в другое время закончила свое существование, то этой бы не получилось.

О том, как формируются команды на Физтехе, подробнее рассказывает Алексей Малеев:

— Когда начинается учебный год, мы приглашаем всех новичков попробовать, прийти на открытые тренировки. 70–80 студентов приходят на первое занятие. Сперва проходят личные тренировки, за которыми тренер внимательно смотрит, а потом формирует команды. Саша незаурядные результаты в школе показывал и сразу отличился. Чаще всего



Алексей Малеев

сперва команды формируются из первокурсников, а дальше они начинают участвовать в разных соревнованиях. Физтехам даже далеко ездить не нужно — дважды в год мы проводим международные тренировочные воркшопы Moscow Workshops ICPC на кампусе в Долгопрудном. А если хочется совместить тренировки с путешествиями, то на воркшопы можно отправиться командой в Испанию, Индию, Белоруссию или во Владивосток. Кто-то продолжает этим заниматься, кто-то находит другие интересы. Риск большой. Стать лучшей командой даже из 80 студентов Физтеха, — это не так-то просто. У Саши Останина путь к золотой медали занял шесть лет. Это длинный путь, в начале пути — риск: «Приду я к чемпионству или нет». Не все приходят — только самые настойчивые и удачливые.

Никита — в их числе. Своей страсти к программированию он уделяет почти все свободное время:

— Бывает, хожу в кино, занимаюсь спортом иногда, но в целом никакого хобби, кроме связанных с программированием, нет. Бывает интересно съездить на сборы или контест в другой город или страну; например, я был на Moscow Workshops в Барселоне, очень хорошо отдохнул. По России тоже изрядно поездил за свою АСМ-карьеру. А в обычное время: устал — посмотрел мемов, позалипал на



Никита Уваров

YouTube, сходил на пары. И можно дальше, — говорит он.

Заниматься этим тоже начал со школы, но своим тогдашним успехам не придает большого значения:

— В школе у меня была серебряная медаль международной олимпиады по информатике. Но считается, что для России позор иметь серебряную медаль. Когда российские школьники выступают на международной олимпиаде, они берут как минимум серебро. Бронзы по информатике уже много лет нет. Считается, что серебро — это слитое выступление, а золото — это хорошо.

Как и у других участников, у Никиты есть своя «специализация» в команде. Однако, по словам Александра Останина, все решения в ходе соревнований принимаются коллегиально, тут нет места диктату «по старшинству»:

МФТИ В ФИНАЛАХ ICPC

2012	Золото Команда MIPT Waterogers	●
2016	Золото Команда MIPT Jinotega	●
2017	Серебро Команда MIPT Jinotega	●
2018	Золото Команда MIPT Cryptozoology	●

— Нельзя сказать, что кто-то диктатора из себя изображает. Роли распределены, например, Саня обычно больше придумывает решения, чем что-то пишет, обсуждает их с сокомандниками. Никита специализируется на всяких задачах, где много неприятных реализаций, ему это нравится.



Ренат
Гимадеев

Сам же Останин, по словам других участников, «умеет все».

В экипаж космического корабля кандидатов обычно подбирают по психологическим типам, чтобы полет прошел успешно и без лишнего напряжения. Участие в соревнованиях — тоже по-своему долгое путешествие, и тут, по словам ребят, также нужно сойтись характерами.

— Конечно, бывают примеры, когда люди с самой первой тренировки начинают друг друга ненавидеть, — говорит Михаил. — И ничего хорошего из этого не выйдет. Всегда надо пробовать. Иногда это занимает много времени. Пока я был аспирантом, писал в разных командах. Мне кажется, составов десять я попробовал, но толку из этого не вышло.

— Наверное, важно, что на Физтехе сложилось сообщество людей, интересующихся ICPC, — добавляет Алексей Малеев. — Мы были первыми, кто вывел локальные сборы по подготовке к чемпионату мира на международный уровень. В образовательном проекте Moscow Workshops ICPC уже прошли подготовку студенты 167 вузов 50 стран. И на последних соревнованиях 10 из 13 участников подготовительных сборов получили медали на финале.

Несмотря на все тяготы соревнований, участникам с Физтеха сейчас удается поддерживать стабильно высокие результаты. Однако, как считает Ренат Гимадеев, совершенству нет предела.

— Последние три года МФТИ действительно очень прилично выступал. Сейчас так сложилось, что большая часть тех, кто тренируется, — с ФИВТ. Это логично, потому что там намного более сильное программирование и абитуриенты по информатике, чем в среднем по Физтеху. Может быть, придумать идею, как стимулировать остальные факультеты активнее в этом участвовать. Чем больше людей будет этим заниматься на Физтехе, тем выше будут результаты, — объясняет Ренат.

Сами же герои дня пока не до конца определились со своими дальнейшими планами. Золотая медаль

ДЛЯ СПРАВКИ

ICPC — это один из главных всемирных студенческих чемпионатов по программированию, который уходит своими корнями в соревнование, проводившееся в Техасском университете в 1970-х годах. Ранее проводился ежегодно под эгидой ассоциации вычислительной техники (ACM). В разное время спонсорами соревнований становились такие компании, как Apple, AT&T, Microsoft и IBM. В 2018 году генеральным спонсором стала компания JetBrains.

Каждая команда состоит из трех человек. К участию допускаются студенты высших учебных заведений, а также аспиранты первого года обучения, но не старше 24 лет. Студенты, дважды участвовавшие в финальной стадии олимпиады или пятикратно принимавшие участие в региональном отборе, не допускаются к участию.

Тур олимпиады происходит следующим образом: каждой команде на пять часов выдается компьютер и от восьми до двенадцати задач, условия которых написаны на английском языке. Команды пишут решения на языках программирования C, C++, Java, Python или Kotlin и посылают их на тестирующий сервер.

чемпионата открывает перед ними множество дорог. Работа в Google или Facebook, о которой многие мечтают, для них сейчас — вполне реальная перспектива. Но ребята стараются смотреть на вещи трезво.

— Работать в конкретной компании не считается ни чем-то крутым, ни целью, к которой следует стремиться, — говорит Александр Останин. — Во всяком случае, у меня так. Нет никакой особенной цели, просто хочется заниматься тем, что интересно. Можно попутно сделать так, чтобы это приносило деньги. Для этого необязательно куда-то уезжать.

Никита пока сконцентрирован на учебе и не загадывает наперед, молчит и Александр Голованов.



Михаил
Тихомиров

Их позицию объясняет Ренат: — Саня Останин уже работает, а Голованов и Никита еще вуз не окончили. Им реально рано решение принимать. Они наверняка будут где-то стажироваться.

— Конкретно работой никто особенно не меряется в сообществе программистов, — добавляет Михаил. — Чтобы попасть даже в Google, обязательно быть ни золотым медалистом, ни просто медалистом. Важно позаниматься олимпиадным программированием, приобрести какой-то опыт. Этого уже будет достаточно, чтобы устроиться в любую компанию. ■



Биосенсорные чипы из меди и оксида графена — это будущее многих технологий

ПЕРВЫЕ В МИРЕ БИОСЕНСОРЫ ИЗ МЕДИ И ОКСИДА ГРАФЕНА

Ученые из МФТИ разработали биосенсорные чипы беспрецедентно высокой чувствительности на основе меди вместо традиционного для таких устройств золота.

□ БИОСЕНСОРЫ ВЕЗДЕ

В настоящее время биосенсорные чипы используются ведущими фармацевтическими компаниями для разработки всех видов лекарств. Такие чипы являются незаменимым инструментом для изучения кинетики молекулярных взаимодействий, а еще они могут стать основой всевозможных химических анализаторов — для выявления опасных веществ в окружающей среде или продуктах питания, поиска молекул-маркеров заболеваний, обнаружения утечек в химической промышленности и т. п.

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Юрий Стебунов, ведущий автор исследования и старший научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ:

«Известно, что медь не приемлет воздействия окружающей среды. Мы показали, что защитные диэлектрические пленки толщиной всего лишь в десятки нанометров не только эффективно защищают медь, но в ряде случаев позволяют повысить чувствительность биосенсора. Мы не останавливаемся на чисто научных исследованиях, наша разработка до конца года станет доступной для потенциальных потребителей. Предложенные

нами технологии могут быть использованы для создания миниатюрных сенсоров и нейроинтерфейсов, и это то, над чем мы сейчас работаем».

Ключевой особенностью разработки российских ученых из лаборатории нанооптики и плазмоники Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ (подробнее о лаборатории читайте на стр. 52 — прим. ред.) является использование при создании основного чувствительного элемента биосенсора таких матери-

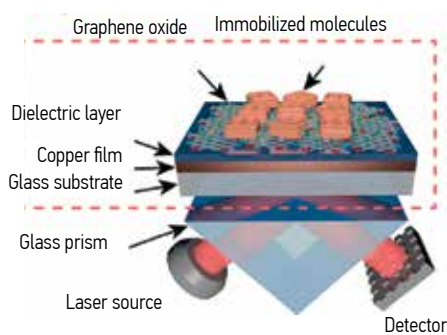
алов, как медь и оксид графена. Это позволило достичь беспрецедентной чувствительности без значительных изменений в конфигурации биосенсорного чипа, что делает его совместимым с существующими коммерческими биосенсорами, например, такими как Biacore, Reichert, BioNavis или BiOptix.

ЗОЛОТО И МЕДЬ

Золото — традиционный материал для оптоэлектроники и фотоники. Чувствительный элемент практически всех коммерческих биосенсоров включает золотые пленки толщиной несколько десятков нанометров. Причины этому — отличные оптические свойства золота и его высокая химическая стабильность. Но у золота есть и серьезные недостатки. Во-первых, его высокая стоимость. Если сравнивать высококачественные материалы, то золото более чем в 25 раз дороже меди. Во-вторых, золото — материал, несовместимый с микроэлектронным производством, что серьезно ограничивает массовое производство устройств на его основе.

Этих недостатков лишена медь. Она обладает оптическими свойствами не хуже золота и используется в качестве проводника электричества в современной микроэлектронике, но, что и мешало ее использованию в биочипах, быстро окисляется. Проблема окисляемости меди при взаимодействии с окружающей средой была решена исследователями из МФТИ за счет нанесения поверх металла тонкого, всего 10 нанометров, диэлектрического слоя, который также изменил оптические свойства биосенсорных чипов и сделал их более чувствительными к анализируемым объектам.

SPR sensor chip



Схематическое изображение биосенсора и биосенсорного чипа, который представляет собой стеклянную пластинку с тонкой пленкой меди, покрытой защитным диэлектрическим слоем, а также связующим слоем оксида графена, на котором иммобилизованы молекулы, взаимодействующие с анализируемыми биомолекулами

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Валентин Волков, руководитель лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ:

«Наша разработка — важный этап в развитии технологии производства биологических сенсоров, основанных на фотонных и электронных технологиях. Взяв за основу стандартные технологические процессы и медь, объединив их с таким перспективным материалом, как оксид графена, мы продемонстрировали их высокую эффективность и тем самым открыли новое направление исследований в области разработки биологических сенсоров».

ГРАФЕН ДЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Вторая важная особенность новой разработки, позволившая добиться беспрецедентной чувствительности, — использование специального слоя из оксида графена поверх медного покрытия и диэлектрика. Оксид графена впервые получен известным химиком, профессором Оксфордского университета Бенджамином Броди еще в 1859 году, однако в наше время этот материал фактически получил второе рождение с открытием российскими учеными из Манчестерского университета, выпускниками МФТИ Андреем Геймом и Константином Новосёловым первого двумерного материала — графена. За передовые исследования с графеном они в 2010 году получили Нобелевскую премию по физике.

Оксид графена представляет собой углеродную кристаллическую решетку графена с дополнительными оксидсодержащими функциональными группами, которые были использованы в качестве устойчивых неподвижных «якорей» для прикрепления белковых молекул к поверхности. Ранее авторами данной разработки оксид графена уже был использован для увеличения чувствительности стандартных биосенсоров на основе золота. С медью этот материал также продемонстрировал высокую чувствительность.

ДОРОГА В БУДУЩЕЕ

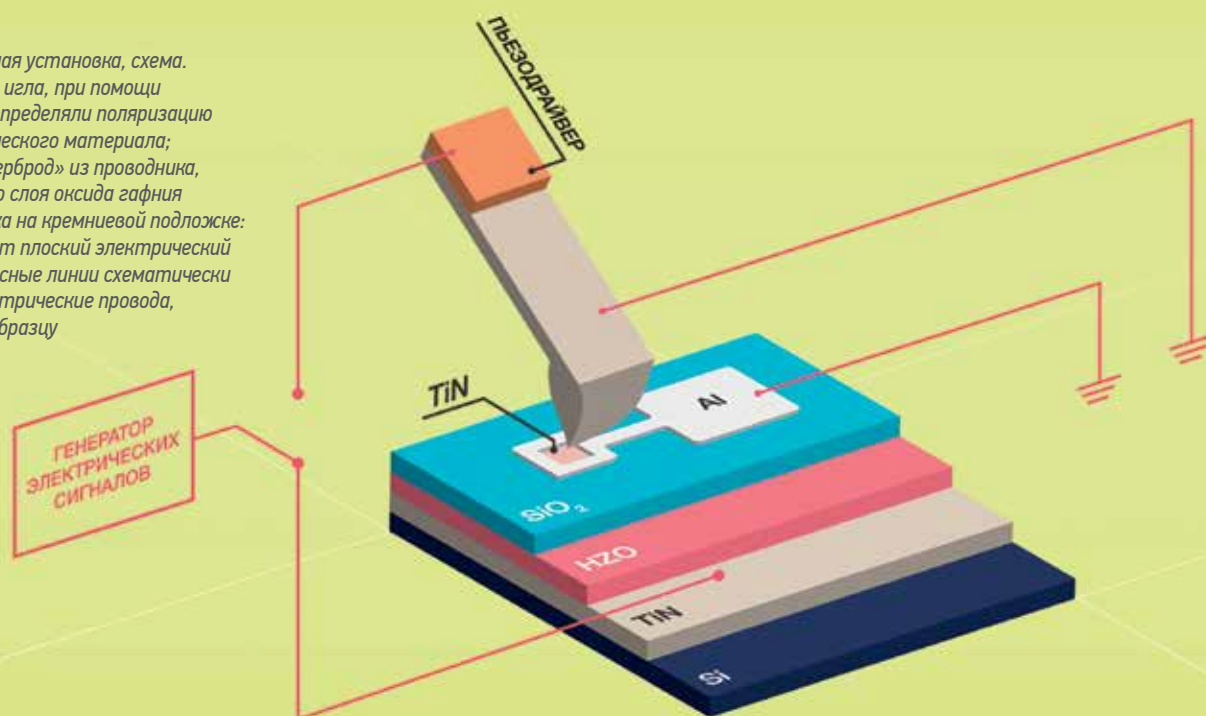
Использование меди вместо золота в биосенсорных устройствах открывает путь к созданию компактных биосенсорных устройств для мобильных гаджетов, носимой электроники и «умной» одежды благодаря возможности производить биосенсорные чипы с помощью отработанных технологий микроэлектроники. Ученые всего мира и гиганты электронной индустрии, такие как IBM и Samsung, активно работают над созданием компактных биосенсоров, которые можно будет встраивать в электронику, подобно тому как сейчас в наших электронных устройствах присутствуют различные нано- и микроэлектромеханические сенсоры движения (акселерометры и гироскопы).

Роль биосенсоров в будущем трудно переоценить. Можно с уверенностью сказать, что благодаря им техника приобретет новый, отсутствующий в настоящее время «орган чувств». И в данном случае это не просто метафора: крупнейшие корпорации работают над внедрением искусственного интеллекта, созданием умных гаджетов и разработкой биоинтерфейсов, которые обеспечивают взаимодействие мозга с компьютером.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 17-79-20345. ■

Оригинальная статья: *Superior sensitivity of copper-based plasmonic biosensors; Yu. V. Stebunov, D. I. Yakubovsky, D. Yu. Fedyanin, A. V. Arsenin, V. S. Volkov; Langmuir, 2018, 34 (15).*

Экспериментальная установка, схема. Сверху — острая игла, при помощи которой физики определяли поляризацию сегнетоэлектрического материала; далее идет «бутерброд» из проводника, диэлектрического слоя оксида гафния и снова проводника на кремниевой подложке: эти слои образуют плоский электрический конденсатор. Красные линии схематически показывают электрические провода, подключенные к образцу



ПАМЯТЬ БУДУЩЕГО «ОЩУПАЛИ»

Физики из МФТИ детально описали процесс переключения электрической поляризации оксида гафния, на основе которого многие исследователи предлагают делать запоминающие ячейки для компьютерных устройств нового поколения.

□ Вещество со структурной формулой $\text{Hf}_{0,5}\text{Zr}_{0,5}\text{O}_2$, которому посвящена работа, — сегнетоэлектрик. В сегнетоэлектрических материалах электрический дипольный момент существует даже в отсутствие внешнего электрического поля. При этом направление спонтанной поляризации может быть изменено на противоположное с помощью внешнего поля. Сегнетоэлектрики сохраняют поляризацию так же, как магниты (ферромагнетики) — намагниченность: это очень ценное свойство, позволяющее, например, создать микроскопические ячейки для компьютерной памяти.

ЭНЕРГОСНЕЗАВИСИМОСТЬ

В современных компьютерах микросхемы оперативной DRAM памяти используют для хранения информации конденсаторы, которые могут быть заряжены до более высокого или низкого напряжения (логические 1 или 0); при отключении питания конденсаторы быстро разряжаются и информация стирается. Использование в конденсаторах прослойки из сегнетоэлектрика позволит сохранить данные и после обесточивания устройства — сделав таким образом энергонезависимую память, подоб-

КСТАТИ:

Идея сканирования поверхности материала при помощи острой иглы лежит в основе зондовой микроскопии и объединяет несколько методов. Некоторые из них (например, сканирующая туннельная микроскопия, при ней через иглу и образец пропускается электрический ток) позволяют не только определять рельеф поверхности с точностью до атома, но даже переносить отдельные атомы с места на место.

ную привычной нам флеш-памяти. Сам факт того, что оксид гафния может быть сегнетоэлектриком, был установлен сравнительно недавно, буквально в последнее десятилетие. Все потому, что этот эффект проявляется только тогда, когда из материала сделана очень тонкая, от 5 до 20 нанометров, пленка. Чтобы записывать и считывать данные, пленку из оксида гафния нужно еще поместить между обкладками микроскопического конденсатора: подобный конденсатор изготовили исследователи и провели с ним серию экспериментов.

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Анастасия Чуприк, старший научный сотрудник лаборатории нейровычислительных систем МФТИ:

«Несмотря на то, что оксид гафния уже используется в микроэлектронике и его относительно легко применить для производства энергонезависимой памяти, природа его сегнетоэлектрических свойств остается не до конца ясной. Наша работа стала шагом вперед на пути к осознанному проектированию будущих устройств: зная свойства материала и чем они обусловлены, инженеры смогут оптимизировать ячейки памяти, делая их более компактными, технологичными и надежными».

В отличие от многих «модных» материалов вроде графена или углеродных нанотрубок, это вещество уже применяется в микроэлектронной промышленности: например, в процессорах Intel. Получить необходимые тонкие пленки (тут даже уместно написать «нанопленки») можно, например, методом атомно-слоевого осаждения. «Этот метод, применявшийся и в нашем исследовании, — рассказывает Анастасия Чуприк, старший научный сотрудник лаборатории нейровычислительных систем МФТИ, — позволяет получать конформные, то есть однородные по толщине пленки. Он очень интересен с точки зрения микроэлектроники, так как помимо производства уже выпускающихся устройств может быть использован в перспективных задачах вроде трехмерной микроэлектроники».

ОЩУПЫВАТЬ, А НЕ ОГЛЯДЫВАТЬ

Технологичность в сочетании с сегнетоэлектрическими свойствами до момента публикации нового исследования были бесспорными плюсами оксидами гафния. А вот минусом являлось отсутствие внятного представления о том, как именно переполаризуется материал, что же именно при этом с ним происходит. Изучить микроскопическую структуру оксида гафния непосредственно внутри плоского конденсатора (по сути — будущей ячейки памяти) удалось при

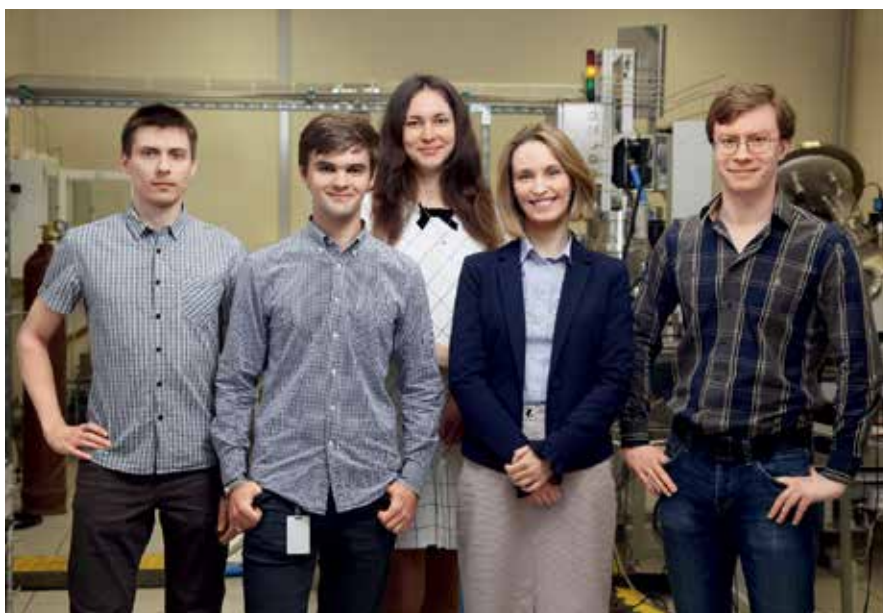
помощи разновидности атомно-силового микроскопа — прибора, который не осматривал, а скорее «ощупывал» образец.

«Передвигая в атомно-силовом микроскопе вдоль поверхности материала особо острую иглу и подавая электрическое напряжение на обкладки конденсатора, мы получили данные как о рельефе поверхности, так и о распределении поляризации в материале», — поясняет Анастасия. Полученные в ходе экспериментов данные впервые позволили показать существование у оксида гафния доменов, то есть микроскопических участ-

ков сегнетоэлектрика с определенной поляризацией. Игла микроскопа, попадая на такие участки, по-разному отклонялась в зависимости от локальной поляризации, и это позволяло выявить границы доменов с точностью до нескольких нанометров.

Кроме того, ученые подтвердили перестройку кристаллической решетки оксида гафния в результате воздействия электрического поля. При самых первых операциях перезаписи информации в ячейках памяти области несегнетоэлектрической моноклинной фазы оксида гафния превращаются в зерна сегнетоэлектрической орторомбической фазы, усиливая функциональные свойства материала. Наличие таких изменений предполагалось рядом исследователей ранее, но для подтверждения этой гипотезы физикам недоставало информации. ■

Оригинальная статья: Ferroelectricity in $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ Thin Films: A Microscopic Study of the Polarization Switching Phenomenon and Field-Induced Phase Transformations; Anastasia Choupruk, Sergey Zakharchenko, Maxim Spiridonov, Sergei Zarubin, Anna Chernikova, Roman Kirtaev, Pratyush Buragohain, Alexei Gruverman, Andrei Zenkevich, and Dmitrii Negrov; ACS Applied Materials and Interfaces, 2018, 10 (10).



Команда молодых ученых, участвовавших в работе: Сергей Зарубин, Роман Киртаев, Анна Черникова, Анастасия Чуприк и Максим Спиридонов (слева направо)

ПЕРЕПУТАТЬ КАК СЛЕДУЕТ

Ученые из МФТИ нашли оптимальные квантовые перепутанные состояния, сохраняющие перепутанность максимально длительное время при воздействии локальных шумов. Работа делает следующий шаг в приближении к технологиям квантовых вычислений и связи.

□ СПУТАННЫЕ В ОДНУ СИСТЕМУ

Квантовые компьютеры привлекательны своей способностью решать отдельные задачи гораздо быстрее обычных. Квантовая связь интересна тем, что сообщения по квантовому каналу физически невозможно перехватить втайне от получателя. И в том и в другом случае оперируют понятием кубитов: квантовых систем, которые могут находиться в одном из двух состояний. Точнее — поскольку система квантовая — кубит до проведения измерения находится как бы одновременно в двух состояниях сразу, подобно широко известному коту Шредингера в закрытой коробке.

В рамках квантовой механики никакую систему нельзя описать как, скажем, шарик, стрелку или любой

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Сергей Филиппов,

заведующий лабораторией квантовой теории информации МФТИ:

«Нашей группе удалось аналитически решить две актуальные задачи квантовой коммуникации: 1) найти предельно допустимый уровень шума, при котором состояния на выходе из квантового канала связи еще могут обладать свойством перепутанности; 2) для шумов, не превышающих предельно допустимого, найти такие перепутанные состояния, которые обеспечивают максимальную эффективность квантовых протоколов».

иной четко осязаемый предмет: вместо этого необходимо использовать так называемую волновую функцию ψ . Волновая функция «размазана» в пространстве, и по ней можно вычислить любую характеристику

объекта, например, плотность вероятности обнаружения частицы в заданной точке или среднюю энергию частицы.

Волновая функция двух максимально перепутанных кубитов —

то есть описывающая две запутанные частицы А и В в двух разных местах — выглядит как $\psi \sim 0_A 1_B + 1_A 0_B$. Причем 0 и 1 соответствуют не числам, а волновым функциям, которые соответствуют состоянию частиц с условным обозначением «0» и «1». Последнее широко применяется в различных вычислительных системах, так как соответствует двоичному коду, самой простой системе кодирования информации. При наличии в двух лабораториях такой запутанной пары частиц можно реализовать протокол квантовой телепортации (ничего общего с телепортацией материальных тел из фантастики!) или осуществить сверхплотное кодирование информации.

ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ

Однако сделать кубиты перепутанными в удаленных лабораториях совсем не просто. Обычно для этого используют источник перепутанных кубитов, направляя каждый кубит по своему каналу в разные лаборатории. Если говорить о практических применениях, то вместо лабораторий участвуют два банка, имеющих доступ к квантовым каналам связи. При этом по пути каждый из кубитов неизбежно взаимодействует с окружением, и это взаимодействие проявляется в квантовом шуме. Эти шумы «портят» начальное квантовое состояние и самым пагубным образом действуют на перепутанность. Физики говорят, что квантовое

состояние двух кубитов перестает быть чистым и становится смешанным. Тем не менее, если поступившее получателем смешанное состояние все еще обладает хоть небольшой долей перепутанности, то из большого количества таких зашумленных состояний можно дистиллировать небольшое количество максимально перепутанных состояний и использовать их в упомянутых выше протоколах.

Если же шум воздействует на кубиты достаточно долгое время, то до цели доходит не перепутанное смешанное состояние, а так называемое сепарабельное состояние, из которого уже невозможно дистиллировать максимально перепутанные пары. В настоящее время именно такие «распутывающие» шумы препятствуют практической реализации квантовых протоколов на основе перепутанности между удаленными лабораториями.

ДЛЯ СПРАВКИ:

Перепутанные состояния (также называемые запутанными, сцепленными, зацепленными, от англ. entangled) — это понятие, которое относится к парам квантовых частиц, включая, например, фотоны, кванты света. Пара запутанных частиц в определенном смысле ведет себя как единая система и проявляет интересные свойства, на основе которых можно создать ряд принципиально новых технологий квантовых вычислений и связи.

ОПТИМАЛЬНО ЗАПУТАННЫЕ

Ученые из МФТИ и Физико-технологического института РАН посвятили свою работу следующей проблеме: как оптимальным образом приготовить квантовое перепутанное состояние так, чтобы оно оставалось перепутанным максимально длительное время при воздействии шума определенного вида. И если до этого было основание считать, что необходимо создавать кубиты в максимально перепутанном состоянии $\psi \sim 01 + 10$, — новое исследование принесло совсем иной результат. Максимально запутывать кубиты осмысленно лишь в случае воздействия унитарного шума, действие которого всегда приводит к увеличению энтропии.

А если шум неунитарный — что соответствует ситуациям, когда система обменивается энергией с неким внешним тепловым резервуаром, — то оптимальное начальное состояние уже не является максимально перепутанным. Для этого случая ученые смогли точно рассчитать оптимальное состояние и показали, что по мере воздействия шума оптимальное состояние сначала проигрывает максимально перепутанному, однако выигрывает на больших временах.

Авторы показали, что при относительно небольшой температуре окружения (по сравнению с разностью энергий состояний 0 и 1) оптимально приготовленное состояние остается перепутанным в два раза дольше, чем изначально максимально перепутанное состояние. Таким образом, работа ученых может быть использована для значительного усовершенствования экспериментов с перепутанными кубитами.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 16-11-00084. ■

Оригинальная статья: S. N. Filippov, V. V. Frizen, D. V. Kolobova. Ultimate entanglement robustness of two-qubit states against general local noises. *Phys. Rev. A* 97, 012322 (2018).



ФОРМИРОВАНИЕ ДЖЕТА В ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ

Международная команда исследователей визуализировала образование струи плазмы в окрестности массивной черной дыры в галактике «Персей А».

□ Массивные черные дыры в центрах галактик превосходят массу Солнца в миллиарды раз. Уже давно известно, что некоторые из них выбрасывают струи плазмы, которая течет со скоростью, близкой к скорости света. Такие струи, называемые джетами, формируются в окрестности черной дыры и могут выходить далеко за пределы родной галактики. Над вопросом о том, как формируются джеты, астрофизики бьются многие годы. Долгое время не было технической возможности увидеть структуру этих струй достаточно близко к месту их зарождения, что необходимо для прямого сравнения информации, полученной из наблюдений, с теоретическими моделями образования джетов.

СОРОК ЛЕТ КОНКУРЕНЦИИ

По сей день учеными обсуждаются базовые гипотезы формирования выбросов плазмы в галактиках. Есть две конкурирующие идеи, которые были предложены еще на рубеже 70–80-х годов прошлого века.

Одна — модель Блэнфорда — Знаека. В центре галактики находится сверхмас-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Юрий Ковалев, соавтор исследования, заведующий лабораторией в МФТИ и ФИАН, член-корреспондент РАН:

«Мы публикуем первую карту „РадиоАстрона“ для объекта, находящегося так близко к нам. Из-за его близости реализуемое линейное разрешение составляет величину всего лишь 12 световых дней на расстоянии 70 мегапарсек, или 230 миллионов световых лет! Благодаря такому беспрецедентному разрешению „РадиоАстрона“ мы увидели, что джет сразу стартует широким и имеет цилиндрическую форму. Быть с самого начала широким он может только при

условии, если в его формировании значительную роль сыграл аккреционный диск. Это первый результат, который указывает на важность вклада диска».

сивная черная дыра массой в миллиарды масс Солнца. Она вращается, вокруг нее вращается аккреционный диск. Часть падающего на нее из аккреционного диска вещества, которая не засасывается черной дырой, выбрасывается наружу в виде струи. То есть узкий джет формируется благодаря крутящему моменту, получаемому от центральной сверхмассивной черной дыры.

С этим представлением многие годы конкурировала модель Блэнфорда – Пейна. В рамках этой модели считается, что формирование горячих выбросов плазмы возможно через крутящий момент, уносимый от аккреционного диска. То есть сама черная дыра не играет ключевой роли в формировании джета.

До последнего времени астрофизики, занимающиеся далекими галакти-

ДЛЯ СПРАВКИ

В рамках международного проекта «РадиоАстрон» в 2011 году на околоземную орбиту был запущен космический радиотелескоп. Главный элемент аппарата — 10-метровое зеркало. «РадиоАстрон» реализует рекордное угловое разрешение до нескольких микросекунд дуги, эквивалентное радиотелескопу диаметром 350 000 км, — почти расстояние между Землей и Луной. На Земле в рамках проекта работает до 40 крупнейших радиотелескопов по всему миру. Сигналы отдельных телескопов, синхронизированные с помощью атомных часов, объединяются вместе в интерферометре для получения изображения при помощи специализированной обработки данных.

ками, отдавали предпочтение модели Блэнфорда — Знаека: они склонялись к тому, что джеты в галактиках формируются центральной сверхмассивной черной дырой.

ФОРМИРУЕМЫЙ ДИСК

Международная команда исследователей из восьми стран с помощью космического телескопа «РадиоАстрон» (подробнее о телескопе читайте на стр. 46 — прим. ред.) получила изображения джета, зарождающегося в окрестности центральной черной дыры галактики «Персей А», с ультравысоким угловым разрешением. Радиоизображение, сделанное с помощью комбинации телескопов в космосе и на Земле, позволило восстановить структуру струи с детализацией на уровне в пару сотен радиусов черной дыры. Астрономам впервые удалось достичь такого разрешения и получить детальное изображение основания джета в 10 раз ближе к границе черной дыры, чем это было возможно с наземными инструментами. Впервые получилось выявить новые детали области формирования струи.

Эти данные являются серьезным аргументом в пользу гипотезы о том, что джет может формироваться с участием аккреционного диска. Возможно, что вклад в этот процесс от аккреционного диска даже является основным.

Раньше, из-за ограничения параметров наземных телескопов, астрономы не имели такого высокого углового разрешения при наблюдении джетов, поэтому не могли измерить ширину джета в его основании. Из-за этого общепринятой точкой зрения являлось то, что джеты стартуют узкими, и, следовательно, они формируются центральной черной дырой.

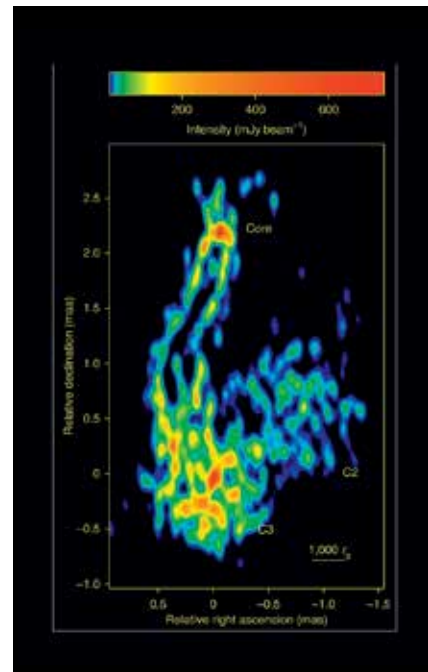
Благодаря возможностям «РадиоАстрона» авторы работы обнаружили, что ширина джета в самом основании составляет порядка тысячи радиусов Шварцшильда (этот радиус определяет размер горизонта событий черной дыры). А ведь, согласно устоявшимся представлениям, размер джета у его основания должен быть как минимум на порядок меньше.

Это может означать, что, по крайней мере, внешняя часть струи запускается с аккреционного диска, окружающего черную дыру. Полученный результат еще не опровергает существующие гипотезы, в которых джеты запускаются из эргосферы — области пространства рядом с вращающейся черной дырой. Но он дает теоретикам представление о структуре струи вблизи места ее запуска, что послужит дальнейшему совершенствованию теоретических моделей.

ПОЛЫЙ ВНУТРИ?

Если внимательно посмотреть на полученное изображение джета, можно заметить, что он как будто светится по краям, а ближе к центру темный. Казалось бы, это радиоизображение должно показывать структуру джета. Но неужели эти струи полые внутри?

Похоже, что все-таки дело в другом. По мнению авторов работы, присутствие темной области в центре джета связано с эффектом релятивистской абберации. Суть этого эффекта в следующем: если облако плазмы неподвижно, оно излучает во все стороны одинаково. При движении с небольшой скоростью оно тоже будет излучать во все стороны одинаково. Но если скорость движения плазмы приближается к скорости света, ее излучение сосредоточится в том на-



Радиоизображение джета в галактике «Персей А», полученное «РадиоАстроном». Источник: Giovannini et al., Nature Astronomy

правлении, куда она движется. И чем быстрее она движется, тем уже луч света, который она излучает.

Скорее всего, пограничные слои плазмы в джете трутся о межзвездную пыль и газ. В то же время скорость течения плазмы в центре выше, и поэтому излучение центральной части джета заключено в более узком угле, и мы с Земли его просто не видим, так как оно направлено в другую сторону. А плазма, которая течет по краям, движется медленнее, и ее излучение мы видим.

Это может означать, что при измерении скорости течения плазмы по тем областям джета, которые возможно увидеть, полученная скорость не будет отражать, насколько быстро течет плазма в центральной области струи. Если эта гипотеза верна, астрофизикам придется пересмотреть оценки физических параметров джетов, рождаемых квазарами. ■

Оригинальная статья: «A wide and collimated radio jet in 3C84 on the scale of a few hundred gravitational radii», Giovannini G. et al., Nature Astronomy.

«МАГИЧЕСКАЯ ПУЛЯ» ПРОТИВ РАКА

Ученые из России и Австралии разработали молекулярный конструктор для доставки лекарственных средств к опухолям.

□ КОНЦЕПЦИЯ «МАГИЧЕСКОЙ ПУЛИ»

Большинство современных лекарств оказывает эффект на весь организм и, как говорится, «одно лечат, а другое калечат». Ученые всего мира уже давно мечтают о создании такого типа лекарственного средства, которое смогло бы распознать то, что нуждается в лечении, даже в самых отдаленных уголках нашего организма и вылечить, или, в крайнем случае, убить. Это своего рода «магическая пуля», самонаводящаяся и точно поражающая цель. Автором этой концепции является немецкий ученый, лауреат Нобелевской премии Эрлих Пауль.

Необходимыми частями магической пули являются распознающая и тера-

певтическая молекулы. Распознающая молекула обычно нацелена на рецепторы на поверхности «больных» или «опасных» клеток. В качестве таких молекул могут выступать антитела (одни из главных игроков нашего иммунитета, способные связываться с патогенами) или подобные им соединения. Терапевтические молекулы могут быть очень разнообразны, начиная с биомолекул, запускающих цепочку реакций иммунного ответа, токсинов для убийства клетки и заканчивая комплексами из лекарственных средств органической и неорганической природы.

Встает вопрос: как можно соединить между собой распознающую

ДЛЯ СПРАВКИ:

Барназа и барстар — два небольших бактериальных белка. Барназа вызывает деградацию рибонуклеиновой кислоты (РНК). Барстар является природным ингибитором барназы и предотвращает ее действие на РНК, связываясь с ее активным центром. Эти белки стабильны, растворимы в водных системах и способны быстро образовывать прочный комплекс. Константа их связывания крайне высока (10^{14} М⁻¹). Для сравнения, реакция антиген-антитело, необходимая при работе иммунной системы, имеет константы связывания в диапазоне 10^8 - 10^{11} М⁻¹.

и терапевтическую части «магической пули»? Для этой цели часто используют белки, способные надежно связываться друг с другом. Одной из самых стабильных белковых пар и главным претендентом на роль «молекулярного клея» является комплекс барназа-барстар. Данный молекулярный конструктор был разработан заведующим лабораторией молекулярной иммунологии ИБХ д.б.н., проф., чл.-корр. РАН Сергеем Михайловичем Деевым. Терапевтическую молекулу можно химически «пришить» к барстару, а распознающую — к барназе. Получится бифункциональная конструкция, части которой можно изменять.

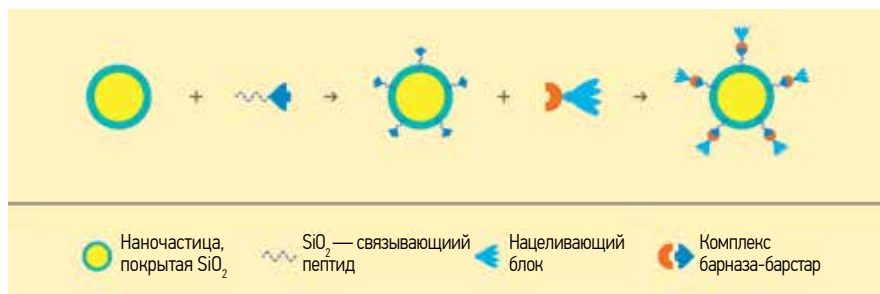


Схема образования конструкции на основе наночастиц и комплекса барназа-барстар

НАНОЧАСТИЦА КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЙ НОСИТЕЛЬ

Для создания гибких структур, обладающих одновременно различными свойствами, как для терапии и диагностики заболевания, так и для изучения патологий, нужна платформа, где можно было бы объединить все необходимое.

Для решения этой задачи используют нано- или микрочастицы, площадь их поверхности позволяет разместить десятки различных молекулярных конструкций. Кроме того, частицы могут обладать своими полезными свойствами. Например, флуоресцентные наночастицы можно использовать для визуализации процесса, магнитные — в качестве контрастных агентов для магнитно-резонансной томографии. Некоторые частицы способны разрушаться под действием излучения. Объединение потенциала нано- и микрочастиц со свойствами бифункциональных соединений дает возможность создания универсального конструктора лекарственных средств.

КУРС НА РАКОВЫЕ КЛЕТКИ

Остался один нерешенный вопрос: как можно присоединить молекулярные конструкции к наночастице? Два популярных решения: сорбция или непосредственная химическая сшивка. Эти методы часто изменяют пространственную структуру молекул на поверхности наночастиц, ухудшая их свойства, в том числе способность связываться с рецепторами клеток.

Международная группа ученых предложила использовать нано- и микрочастицы, покрытые диоксидом кремния SiO_2 . В качестве линкера

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



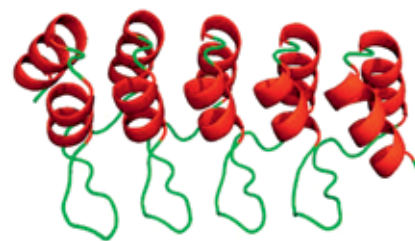
Виктория Шипунова, сотрудник лаборатории нанобиотехнологий МФТИ, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной иммунологии ИБХ им. М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН:

«Большинство существующих на сегодняшний день методов химической конъюгации наночастиц с биомолекулами имеют ряд серьезных проблем. Это неориентированное присоединение и низкая плотность присоединяемых молекул, пространственные затруднения при связывании с рецепторами на поверхности клеток, длительное время модификации и ряд других. Разработанный нами метод на основе белкового модуля барназа-барстар не изменяет пространственной структуры распознающих молекул, обладает высокой специфичностью и быстрой кинетикой образования — на соединение всех блоков уходит несколько минут».

(промежуточного звена) между наночастицей и молекулярным комплексом выступает SiO_2 -связывающий пептид, полученный генно-инженерным путем. Со стороны молекулярного комплекса пептид связан с барстаром. Барназа же в комплексе с функциональной молекулой оказывается во внешнем слое оболочки частицы.

Авторы статьи применили описанную выше конструкцию для связывания с раковыми клетками. В качестве распознающей молекулы было выбрано соединение из класса дарпинов (DARPin), это небольшие белки с анкириновыми повторами, обладающие высокой степенью сродства к молекулам-мишеням.

Выбранная молекула дарпина способна связываться с онкомаркером HER2, находящимся на поверхности раковой клетки. HER2 — белок, ответственный за рост и деление клеток. В раковых клетках нарушено нор-



Белок с анкириновыми повторами. Источник: www.staff.uni-mainz.de

мальное протекание этих процессов, и HER2 нарабатывается в опухоли в избытке. Авторы статьи показали, что свойства и пространственная структура дарпинов, связанных с наночастицами с помощью комплекса барназа-барстар, не изменяются, что позволяет им селективно и эффективно связываться с рецепторами HER2.

Разработанная композиция является молекулярным конструктором, где можно одни части заменять другими, конструировать все более сложные системы. Возможно, в будущем эта разработка ляжет в основу лекарств нового поколения. ■



Взаимодействие молекулярных конструкций с рецепторами раковых клеток

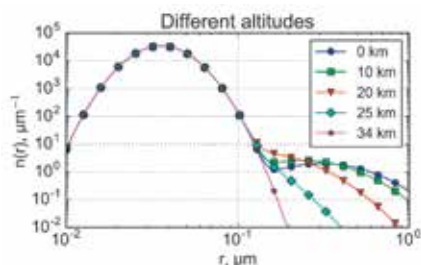
Оригинальная статья: *Versatile Platform for Nanoparticle Surface Bioengineering Based on SiO_2 -Binding Peptide and Proteinaceous Barnase*Barstar Interface*; V. O. Shipunova, I. V. Zelepukin, O. A. Stremovskiy, M. P. Nikitin, A. Care, A. Sunna, A. V. Zvyagin, and S.M. Deyev; *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2018, 10 (20).

ПОГОДА НА МАРСЕ



Физики из МФТИ и ИКИ РАН совместно с коллегами из Германии и Японии построили численную модель круговорота воды на Марсе.

□ При расчетах исследователи предположили, что, помимо относительно крупных частиц атмосферной пыли, на которых происходит конденсация пара, необходимо включить в рассмотрение более мелкие, незаметные для приборов частицы. Это позволило уточнить картину, которая лучше согласуется с результатами прямых измерений с орбитальных зондов.



Бимодальное распределение концентрации частиц в зависимости от их размера: пик при радиусе порядка 0,025 микрометра более отчетливый, пик при радиусе около 0,4 микрометра выражен слабее. Изображение: Дмитрий Шапошников и др., *Journal of Geophysical Research: Planets*



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Александр Родин, руководитель лаборатории инфракрасной спектроскопии МФТИ:

«Наша модель описывает трехмерные движения воздушных масс в атмосфере планеты, перенос солнечного и инфракрасного излучения, фазовые переходы воды, а также микрофизику марсианских облаков, которая играет ключевую роль в круговороте воды на планете».

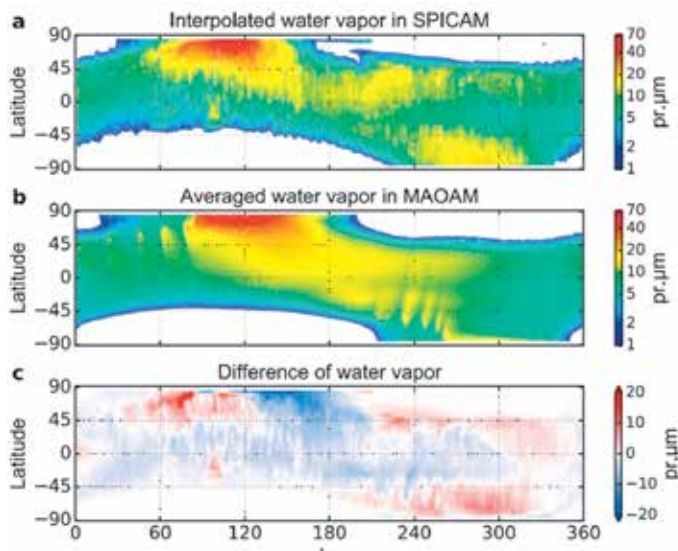
МАЛ ЗОЛОТНИК, ДА ДОРОГ

Воды на Марсе сравнительно немного, особенно в разреженной холодной атмосфере: если собрать всю взвешенную в атмосфере воду и распределить ее ровным слоем по поверхности планеты, то толщина слоя составит не более 20 микрометров. Тем не менее, даже несмотря на низкую концентрацию, вода оказывает значительное влияние на марсианский климат. Например, облака рассеивают и переизлучают падающее на них инфракрасное излучение, а конденсация льда на аэрозольных частицах очищает атмосферу от пыли. Поэтому для понимания происходящих на Марсе процессов важно разобраться, как именно вода в виде пара и ледяных

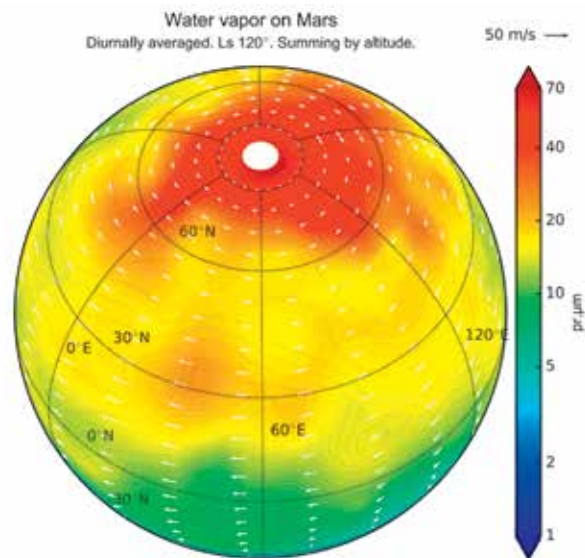
кристаллов переносится воздушными потоками атмосферы планеты и перераспределяется между сезонными полярными шапками.

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тем не менее, результаты численных расчетов не всегда согласуются с данными реальных измерений. Все разработанные численные модели учитывают конденсацию воды на аэрозольных частицах, взвешенных в атмосфере, — как известно, облака прежде всего возникают именно вокруг таких частиц. Получается, что результаты моделирования существенным образом зависят от распределения этих частиц по размерам, которое известно недостаточно хорошо. Обычно считается,



Сравнение плотности водяного пара в зависимости от времени года (ось x) и широты (ось y). Картинка (a) отвечает экспериментальным данным, картинка (b) — численному моделированию, картинка (c) — разности первых двух. Изображение: Дмитрий Шапошников и др., *Journal of Geophysical Research: Planets*



Распределение плотности водяного пара над поверхностью планеты в период марсианского лета в северном полушарии. Стрелками отмечено направление ветров. Изображение: Дмитрий Шапошников и др., *Journal of Geophysical Research: Planets*

что это распределение имеет всего один максимум. Однако последние наблюдения указывают на то, что в отдельные сезоны оно может иметь два пика — по-научному такое распределение называется бимодальным.

ГОДОВОЙ ЦИКЛ

В своей работе группа ученых под руководством Александра Родина и Пауля Хартога построила модель гидрологического цикла Красной планеты, учитывая бимодальность распределения концентрации аэрозольных частиц по размерам. Для этого исследователи использовали модель общей циркуляции атмосферы Марса MAOAM (Martian Atmosphere Observation and Modeling — моделирование и наблюдение за марсианской атмосферой), разработанную в институте им. Макса Планка. Опираясь на надежный трехмерный расчет циркуляции атмосферы, физики построили теоретическую модель процессов, которая позволяет качественно объяснить фазовые переходы воды и ее перенос атмосферными потоками.

В результате ученые выяснили, что наибольшая концентрация воды достигается над северным полюсом в тот момент, когда в соответствующем полушарии наступает лето.

По мере приближения зимы плотность водяного пара, взвешенного в атмосфере, постепенно снижается, что может указывать на конденсацию воды и выпадение в виде осадков на поверхность планеты. Результаты расчетов практически полностью совпали с картой, построенной на основании наблюдений SPICAM: небольшие расхождения наблюдались только около периодов наибольшей концентрации воды в атмосфере.

ЛЕДЯНЫЕ ОБЛАКА НА ЭКВАТОРЕ

Кроме того, физики аналогичным способом рассчитали плотность и распределение в атмосфере облаков, состоящих из микроскопических кристаллов льда. Оказалось, что наибольшее количество льда содержалось над экваториальными областями планеты в течение тех же периодов, когда над северным полюсом плотность водяного пара была максимальной (то есть северным летом).

Исследователи подчеркивают, что результаты моделирования с исполь-

ДЛЯ СПРАВКИ:

Впервые воду на Марсе нашли еще в 1963 году, а затем подробно исследовали с помощью большого числа приборов, установленных на орбитальных аппаратах, посадочных платформах и марсоходах, — начиная от космического аппарата «Маринер-9» и заканчивая межпланетной станцией «ЭкзоМарс». Используя результаты этих измерений, ученые разработали модель марсианской атмосферы, которую впоследствии значительно уточнили и проверили с помощью численных расчетов.

зованием бимодального распределения отличаются от расчетов, в которых распределение частиц по размерам имело всего один максимум, и лучше согласуются с экспериментальными данными. Так, например, обычные расчеты несколько занижают высоту ледяных облаков и хуже согласуются с экспериментом во время периодов, когда водяной пар достигает наибольшей плотности. ■

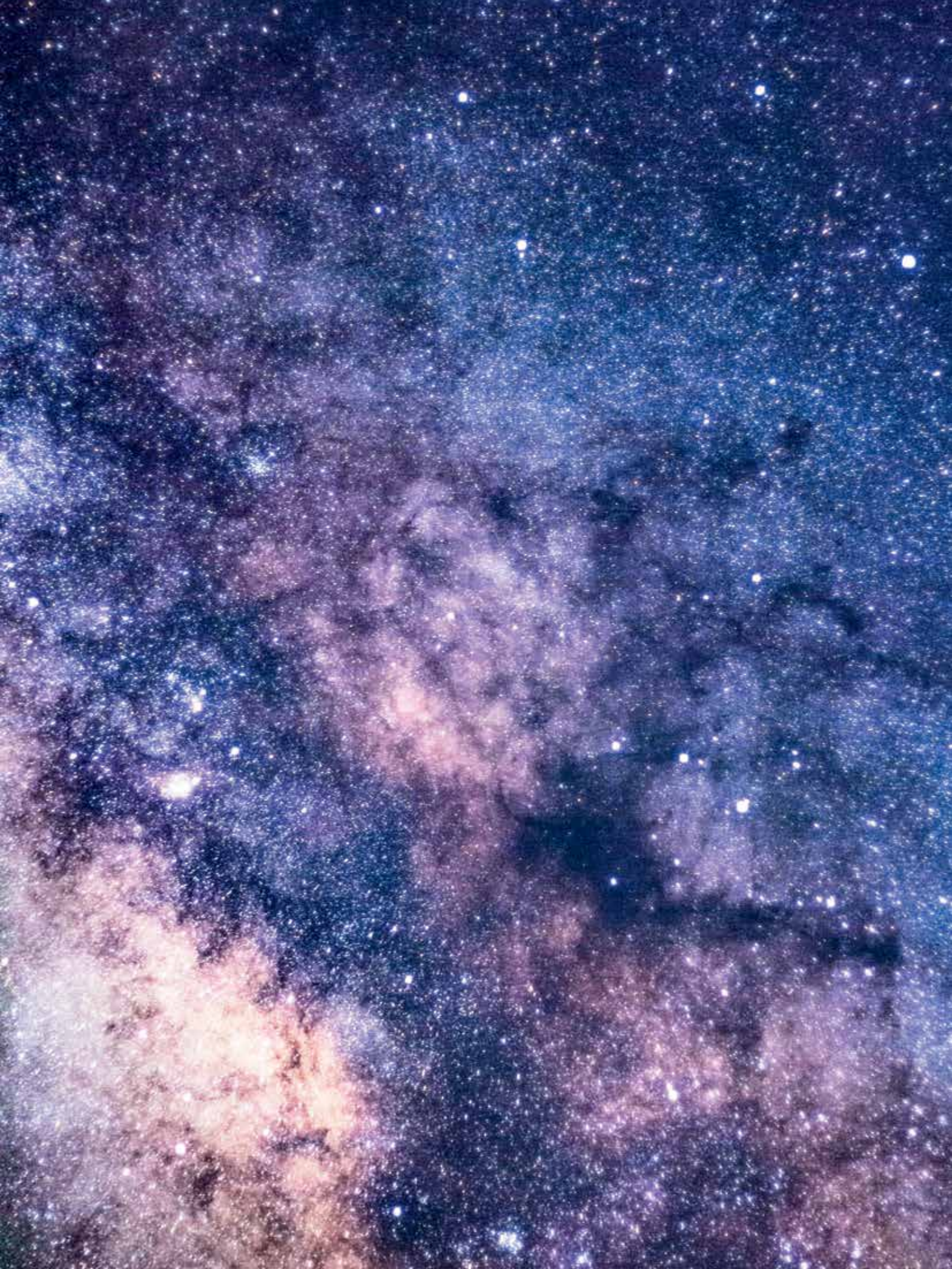
Оригинальная статья: *Modeling the Hydrological Cycle in the Atmosphere of Mars: Influence of a Bimodal Size Distribution of Aerosol Nucleation Particles*; Dmitry S. Shaposhnikov, Alexander V. Rodin, Alexander S. Medvedev, Anna A. Fedorova, Takeshi Kuroda, Paul Hartogh; *JGR: Planets*, Volume 123, Issue 2, February 2018.

ТЫСЯЧИ ЛЬЕ НАД ГОЛОВОЙ

Сколько тысячелетий люди всматривались в ночное небо, скольких оно вдохновляло на открытия художественные и научные? Человечество прошло долгий путь в своем осознании удивительного полотнища, каждую ночь возникающего над головами: от романтического мифологического описания до скрупулезного наблюдения за объектами, которые не разглядеть с поверхности Земли.

Сегодня уже существует подробная карта Вселенной, какой она была спустя всего несколько сотен тысяч лет после Большого взрыва. Люди обнаружили огромное количество естественных лабораторий, разбросанных по небу, в которых можно дистанционно исследовать экстремальные состояния вещества. Каждый день в астрономические каталоги добавляются все новые планеты у далеких звезд. И, возможно, мы находимся на пороге открытия планет, где будут найдены признаки существования жизни.

Все это можно назвать Дальним космосом. Для простоты мы будем обозначать так все то пространство, куда еще не добрались ни человек, ни аппараты, им созданные. Однако исследование этих необозримых просторов подталкивает ученых к созданию и переосмыслению сложнейших и наиболее масштабных физических теорий.



ПЕСТРАЯ ЛЕНТА ГАЛАКТИКИ

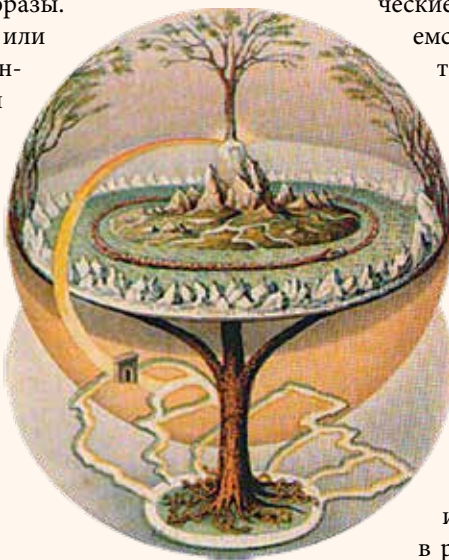
И строители пирамид Древнего Египта, и художники эпохи Возрождения, и ученые-современники поднимали головы, чтобы любоваться звездным небом. «Кто мы? Что таит в себе загадочный переливающийся небосвод?» Пока существует человечество, мы не перестанем задаваться вопросами и открывать секреты Вселенной, которые по ходу технического прогресса становятся все сложнее и сложнее. В познании мира мы прошли путь от мифов о слонах и черепахе до сложных космологических теорий, основанных на высокоточных наблюдениях, квантовой физике и теории относительности.

□ МИФ

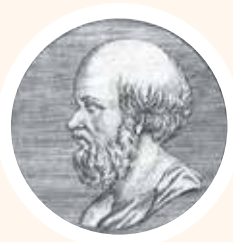
В древности люди приближали к себе Вселенную, создавая реальные жизненные образы. Одна из идей: ось мира, мировая гора или же мировое дерево, соединяющее созданные человекоподобными богами нижний, средний и верхний миры. С корнями глубоко в земле и кроной в небосводе. У скандинавов это ясень Иггдрасиль, в Древней Индии — священное дерево Ашваттха. Мировое дерево встречается и у других народов. Миф о плавающей мировой черепахе, на спине которой покоится плоская Земля, встречается у народов Древней Индии и Древнего Китая, в преданиях коренного населения Северной Америки. Иногда присутствуют слон, змея и кит

РОДНОЕ ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

Планеты солнечной системы, доступные невооруженному взгляду, как ни поразительно, знали еще древние египтяне и довольно подробно их описывали: Венера, или Себа Джа («пересекающая звезда»), Меркурий, или Себег, Сатурн, или Себа Иабти Джа Пет («Восточная звезда, пересекающая небо»), Марс, или Хор Джесер («красный Хор»), Юпитер, или Себа Реси Эн Пет («звезда южного неба»). Известны египетским астрономам были и созвездия: например, Большую Медведицу они называли Мес, а созвездие Орион — Сах.



Ясень
Иггдрасиль



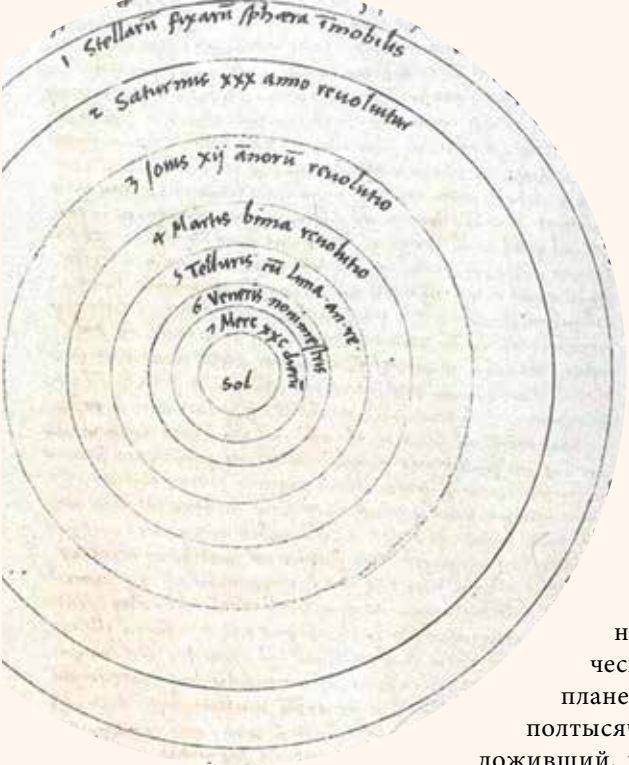
Эратостен

МОНАРХИ ВСЕЛЕННОЙ

Греческие философы заложили астрономические представления, которыми мы пользуемся и сегодня. Кстати, и космос — понятие того времени. Оно определяет мир как гармоническое целое, противопоставление хаосу. Первым назвал Вселенную «космосом» Пифагор. В большинстве своем греки придерживались геоцентрической системы мира, согласно которой Земля неподвижна, а Солнце, Луна, звезды и все остальное вращается вокруг.

Эратостен еще в III веке до н.э. стал первым в мире географом, который изобрел понятия широты и долготы, используемые по сей день. Доказал сферичность Земли, измеряя длину тени и ее отклонение в разных точках, построил первые модели и карты на основе этого и определил размеры Земли.

Вопрос того, что же все-таки является статическим центром Вселенной и что есть Вселенная, долго оставался открытым. Гелиоцентрическая модель возникла в противовес геоцентрической системе мира в Античности, но завоевала умы только в XVI–XVII веках. В гелиоцентрической системе Земля предполагается обращающейся вокруг своей оси за одни звездные сутки и одновременно вокруг неподвижного относительно других звезд Солнца за один год. Впервые она была предложена в начале III века до н. э. Аристархом Самосским, который вычислил относительные размеры Земли, Луны и Солнца и предположил, что меньшее тело вращается вокруг большего.



Небесные сферы
в рукописи Коперника



Галилео Галилей,
портрет 1636 года

➡
Памятник Копернику
в городе Ольштын,
Польша

Энциклопедию астрономических и математических знаний создал Птолемей во II веке нашей эры. Неравномерность вращения планет объяснялась математически: вводился эквант — точка, из которой движение планеты выглядит равномерным и которая не совпадает с геометрическим центром траектории планеты. Как и Аристотель, за полтысячелетия до того предполагивший, что небесные тела прикреплены к твердым «небесным сферам», Птолемей считал, что Земля неподвижна.

Существовала альтернативная пироцентрическая модель мира: некоторые представители пифагорейской школы полагали, что и Солнце, и Луна, и планеты вращаются вокруг Центрального Огня.

В период Средневековья не было большого прорыва в понимании Вселенной. В своих представлениях мыслители опирались на работы античных философов, геоцентризм был доминирующей моделью. Христианские воззрения Средневековья расширяли философию Античности.

Первый значительный толчок в сторону современных представлений о Вселенной совершил Николай Коперник. В 1543 году он выпустил книгу «О вращениях небесных сфер», в которой возродил гелиоцентрическую идею и указал на то, что Земля вращается вокруг своей оси. При этом всю Вселенную Коперник сводил до неподвижных звезд вокруг, опираясь на теорию о сферах.

Были и другие мнения. Тихо Браге предложил гео-гелиоцентрическую систему мира: в центре находится неподвижная Земля, вокруг которой обращаются Солнце, Луна и звезды. При этом планеты вращаются вокруг Солнца. Несмотря на ошибочность этой теории, Тихо Браге внес свой значительный вклад в понимание Вселенной: он первым в Европе начал проводить систематические и высокоточные астрономические наблюдения, на основании которых впоследствии его сподвижник Иоганн Кеплер вывел законы дви-

жения планет. Вселенная, согласно теории Кеплера, — это шар, внутри которого находится Солнечная система. Он описал движение планет вокруг Солнца по орбитам тремя законами и заменил круговые орбиты на эллипсы.

Итальянский астроном Галилео Галилей поддерживал идеи Коперника, придерживаясь гелиоцентрической системы мира и утверждая, что Земля крутится вокруг своей оси. В 1609 году он построил удивительный для того времени научный прибор — телескоп, пусть и с несовершенной с высоты достигнутого прогресса оптической схемой и всего 30-кратным увеличением. Но тем не менее с его помощью обнаружил спутники Юпитера, объяснил, что свечение Луны — лишь отражение солнечного света от Земли и первым разглядел пятна на Солнце.

КОСМИЧЕСКИЕ РАССТОЯНИЯ

А как люди научились измерять расстояния до звезд? С помощью геометрии, еще в Античности. Они выбирали отрезок известной длины — базу, измеряли из его концов углы, под которыми виден объект, а затем математически вычисляли расстояние. При переходе с одного конца базы на другой наблюдаемая точка сдвигалась на фоне далеких объектов. Это явление назвали параллаксом. Соответствующее параллактическое смещение звезд на небе относительно диаметра Земли — годичный параллакс.

Так, еще в 1639 году английские астрономы определили расстояние от Земли до Солнца в 95,6 млн км. Недосчитались 54 млн км: на самом деле среднее расстояние — 149,6 млн км.

А вот закон всемирного тяготения открыл Исаак Ньютон в 1687 году. В работе «Математические на-



чала натуральной философии» он обобщил известные теории и сделал попытку описать модель Вселенной с помощью математического анализа, разработал единую систему механики и сформулировал законы динамики. Также Ньютон обосновал законы Кеплера с позиции гравитации и сделал предположение, что Вселенная бесконечна.

Еще один прорыв совершил в 1726 году англичанин Джеймс Брэдли. Он наблюдал в обсерватории звезду Гамма Дракона, колебания которой не соответствовали теории параллакса. Тогда он нашел объяснение: скорость движения Земли по орбите складывается со скоростью света, идущего от звезды, и меняет его видимое направление. Это явление, открытое в 1728 году и получившее название годичной аберрации, стало первым прямым доказательством движения Земли вокруг Солнца и позволило подтвердить конечность скорости света и уточнить ее оценку. Полученное Брэдли значение составило 308 000 000 м/с. Это была поразительная точность для того времени — сейчас нам известно, что скорость света составляет 299 792 458 м/с.

КОСМОС ЖИВЕТ

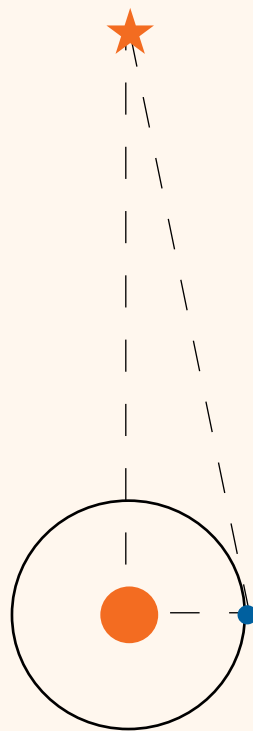
Австрийский физик Кристиан Доплер в 1842 году обнаружил эффект, который впоследствии назвали его именем: приближение источника света или звука к наблюдателю увеличивает наблюдаемую частоту, отдавление же уменьшает ее. Он применил это и в астрономии. Предположил, что все звезды излучают белый свет, однако краснеют, если движутся от Земли, и кажутся более голубыми, приближаясь. Впоследствии оказалось, что эффект Доплера не имеет отношения к цвету звезд. Тем не менее, открытие повлияло на дальнейшее восприятие Вселенной.

Качественным прорывом стали положения общей теории относительности (ОТО), которые вывел в 1916 году Альберт Эйнштейн. Он предположил, что пространство должно либо расширяться, либо сужаться. Это ломало все представления о статичности Вселенной. Еще одно из ярких предположений ОТО — существование черных дыр, чье притяжение настолько велико, что объекты, движущиеся даже со скоростью света, как и сам свет, не могут их покинуть.

Решения уравнений Эйнштейна, описывающих расширяющуюся Вселенную, нашел российский математик Александр Фридман в 1922 году.



Джеймс Брэдли
1692–1762



Метод
параллакса

Следующий шаг сделал американский астроном Эдвин Хаббл. В 30-х годах XX века он доказал, что наша галактика Млечный Путь, в которой находится Солнечная система, — лишь одна из множества других галактик Вселенной. Также, опираясь на эффект Доплера, он заметил в 1929 году, что скорость удаленных галактик возрастает пропорционально их расстоянию до Земли. Это подтвердило факт расширения Вселенной. Зависимость была названа впоследствии Законом Хаббла.

После этого открытия ученые задумались о начале истории нашей Вселенной. Если галактики удаляются друг от друга согласно закону Хаббла, значит, когда-то в прошлом они находились достаточно близко друг к другу. Так возникла Теория Большого взрыва — события, которое обусловило переход от очень плотного состояния материи к расширению.

Неизменную энергетическую плотность, равномерно заполняющую пространство Вселенной, или проще — кинетическую энергию вещества, полученную во время Большого взрыва, назвали «темной энергией». Или космологической постоянной. Она стала еще одним элементом пазла в теории, объяснив наблюдаемое астрономами ускоренное расширение Вселенной.

В 1948 году замечательным физиком-теоретиком Георгием Гамовым была предложена модель горячей Вселенной, согласно которой она вначале была в состоянии плотной горячей плазмы, а затем постепенно расширялась без потерь тепла. Эта модель предсказала существование микроволнового реликтового теплового излучения, равномерно заполняющего Вселенную. Реликтовое излучение было обнаружено экспериментально с появлением высокоточной техники спустя 17 лет.

В конце 1990-х была принята за стандартную космологическая модель Λ CDM или Lambda-Cold Dark Matter: пространственно-плоская Вселенная заполнена обычной материей, темной энергией и холодной темной материей. Холодная темная материя — гипотетическая, она не испускает электромагнитное излучение и напрямую не взаимодействует с ним, ее частицы движутся гораздо медленнее скорости света. Согласно модели Λ CDM, возраст Вселенной равен примерно 13,75 млрд лет.

Ученые рассуждали и на тему начала начал: толчок темной энергии в момент Большого взрыва оказался достаточным, чтобы Вселенная не свернулась снова, и в то же время



Телескоп Хаббл —
совместный проект
НАСА и ЕКА



Эдвин Хаббл
1889–1953

таким, чтобы пространство не разлеталось слишком сильно. Вероятность повторения такого стечения событий существует, поэтому есть философское предположение о существовании многих параллельных вселенных, которые появились в результате каких-то других Больших взрывов.

СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Современные телескопы и другая космическая техника позволяют заглядывать далеко за пределы нашей галактики, структурировать и составлять масштабные высокоточные каталоги: исторический The Catalogue of Fundamental Stars, новый The Guide Star Catalog, в котором содержится примерно 20 миллионов звезд, наблюдаемых с помощью телескопа Хаббл, множественные списки астероидов, любительские каталоги космических объектов и многое другое.

А какова форма Вселенной? Существует ли конец света? Космолог Стивен Вайнберг допускает, что Вселенная может быть замкнутой сферой с постоянно увеличивающимся радиусом или незамкнутой бесконечным пространством.

С помощью математической модели Фридмана по данным WMAP — космического аппарата НАСА, следящего за реликтовым излучением, — ученые определили, что средняя плотность Вселенной равна критической с точностью до 1%. То есть Вселенная бесконечная и плоская. Но не стоит

☞ «Blue Marble» —
фотография Земли
из космоса, сделанная
астронавтами НАСА,
миссия Аполлон-17

воспринимать это утверждение буквально. Плоскость здесь означает, что вещество Вселенной распределено однородно и изотропно на масштабах порядка 200 миллионов световых лет.

До начала космических полетов Земля часто изображалась как зеленый мир. Юрий Гагарин открыл ее человечеству с новой стороны: «Небо очень черное. Земля голубая. Все видно очень ясно». А в 1972 году экипажем Аполлона-17 была сделана первая фотография нашей планеты — «Blue Marble».

Сегодня мы любимся снимками не только Земли, но и далеких космических объектов, мечтаем прогуляться по пыльным тропинкам далеких планет и сильно продвинулись в исследованиях Луны, Марса, космоса в целом. Но все еще впереди. Ученым пока не удалось ответить на многие вопросы. Каково происхождение материи, энергии и пространства-времени, сформировавших Вселенную? Почему, все-таки, она расширяется ускоренно? Как объяснить причину появления темной энергии? Почему удаленная от нас часть Вселенной так однородна, хотя, согласно теории, должно быть наоборот? Что является причиной согласованного движения большой группы скоплений галактик к одной точке Вселенной? Загадки неисчерпаемы. ■

Автор статьи выражает благодарность за помощь в подготовке материала Михаилу Разумовскому.



ЧТО ЭТО, БЭРРИМОР?

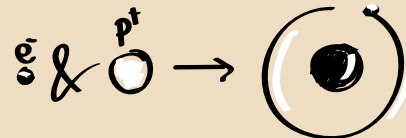
Вокруг нас раскинулась огромная Вселенная. Пусть она и безгранична, ее размеры все равно невозможно представить или сравнить хоть с чем-то знакомым из привычного окружающего мира. И чтобы не запутаться окончательно в немалом количестве объектов и явлений Вселенной, мы постарались кратко рассказать хотя бы про малую их часть.

ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

процесс синтеза ядер, отличных от ядер самого легкого изотопа водорода, имеющего один протон в качестве ядра, на ранних стадиях формирования Вселенной. Первичный нуклеосинтез, по мнению большинства космологов, происходил примерно с 10-й секунды до 20-й минуты после Большого взрыва. Считается, что за это время сформировалась большая часть ядер гелия ${}^4\text{He}$ наряду с небольшим количеством изотопа водорода дейтерия ${}^2\text{H}$, изотопа гелия ${}^3\text{He}$ и изотопа лития ${}^7\text{Li}$.



РЕКОМБИНАЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ



эпоха, во время которой электроны и протоны впервые стали связываться с образованием электрически нейтральных атомов водорода. Рекомбинация произошла спустя примерно 380 тысяч лет после Большого взрыва.

МАГНИТАР

тип нейтронной звезды с чрезвычайно мощным магнитным полем.

ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

комплекс гипотез, которые призваны объяснить, почему последние несколько миллиардов лет наша Вселенная расширяется ускоренно.

БЕЛЫЙ КАРЛИК

это компактный остаток звезды, в котором уже не происходит термоядерное горение вещества и который является весьма устойчивым телом.

СВЕРХНОВАЯ (SUPERNOVA)

астрономическое событие, которое происходит на последних стадиях эволюции массивной звезды, разрушение которой сопровождается титаническим взрывом. Это вызывает внезапное появление на небе звезды, которую раньше было невозможно увидеть и которая затем постепенно исчезает из виду спустя несколько недель или месяцев. Сверхновые могут выбрасывать вовне огромную часть вещества звезды со скоростями до 30 000 км/с. Это стимулирует возникновение расширяющейся и быстро проникающей в окружающую межзвездную среду ударной волны.

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

компактные остатки звездной эволюции. Ядра массивных звезд, которые в 8–10 раз тяжелее Солнца, в конце жизни, исчерпав запасы термоядерного топлива, коллапсируют. Этот коллапс приводит к возникновению нейтронной звезды — объекта со средней плотностью чуть больше, чем у атомного ядра, радиусом около 10 километров и с массой примерно 1,5 солнечных массы. За счет такой плотной упаковки получается набор экстремальных свойств, которые больше нигде не доступны: ни в лабораториях, ни во Вселенной.

ШАРОВОЕ СКОПЛЕНИЕ

сотни тысяч или даже миллионы очень старых звезд, скопившихся в сферически-симметричной области. Это одни из самых старых образований во Вселенной. Они возникли раньше галактик, около 12 миллиардов лет назад.

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

возможная форма материи, которая, как считается, составляет примерно 80% материи во Вселенной. Большая часть темной материи считается состоящей из еще не открытых субатомных частиц. Название темной материи объясняется тем, что она, по-видимому, не взаимодействует с электромагнитным излучением, таким как свет, и поэтому невидима во всем электромагнитном спектре.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

слабое космическое фоновое излучение, заполняющее все пространство. Оно выступает важным источником данных о ранней Вселенной, поскольку является самым древним электромагнитным излучением во Вселенной, относящимся к эпохе рекомбинации.

РАДИОПУЛЬСАР

нейтронная звезда, обладающая достаточно сильным магнитным полем — в 10^{13} раз больше, чем у Земли (для нейтронной звезды это типичное магнитное поле). Такой объект, вращающийся с периодом примерно один оборот в секунду (рекордные периоды — это тысяча оборотов в секунду), становится источником излучения. Есть нейтронные звезды, которые наблюдаются от гамма-диапазона до радио. В радиодиапазоне их известно больше всего — около двух тысяч.

ЧЕРНАЯ ДЫРА

область пространства-времени, обладающая столь сильным гравитационным полем, что ничто, в том числе и электромагнитное излучение (свет), не может вырваться из-под его воздействия. Граница области, которую невозможно покинуть ни материи, ни излучению, называется горизонтом событий.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС

сжатие астрономического объекта под действием его собственной силы тяжести. Гравитационный коллапс является фундаментальным механизмом формирования структуры во Вселенной. Благодаря ему возникли и продолжают образовываться скопления галактик, звезды и планеты.

АККРЕЦИЯ

процесс гравитационного притяжения массивным объектом большого количества вещества, обычно газообразного, в аккреционный диск — структуру, движущуюся по орбите этого центрального тела. Трение приводит к тому, что вещество аккреционного диска, вращаясь, понемногу приближается к центральному телу. Гравитационные силы сжимают это вещество и повышают его температуру, приводя к излучению части энергии вовне.

КВАЗАР

активное галактическое ядро очень высокой светимости. Большинство крупных галактик содержат сверхмассивную центральную черную дыру с массой в миллиарды солнечных масс. В квазарах и других типах активных галактических ядер черная дыра окружена газо-пылевым аккреционным диском. Когда газ в аккреционном диске падает на черную дыру, выделяется энергия в виде электромагнитного излучения. Самые мощные квазары имеют светимость, в тысячи раз большую, чем обычная галактика, такая как Млечный Путь.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

Все элементы тяжелее гелия, из которых состоит большая часть привычных нам материальных объектов, когда-то возникли в недрах звезд и при взрывах сверхновых. Мы сами, как и вся жизнь на Земле, появились только благодаря миллиардам лет звездной эволюции. Древние мореплаватели и современные астрономы ищут ответы на свои вопросы, взгляды в небо.

Что же представляют собой звезды с точки зрения науки?

□ Звезды рождаются в широком диапазоне масс. Они формируются из холодной межзвездной среды, которая коллапсирует, — то есть из холодного молекулярного газа. Этот процесс активно происходил в формирующихся галактиках во времена ранней Вселенной, но продолжается и сейчас, в частности, в нашей галактике, в областях звездообразования.

ТЕ, КОТОРЫЕ НЕ ЗАЖЛИСЬ

Если масса сколлапсировавшего объекта превышает $\sim 0,08$ массы Солнца, то в нем при достижении большой плотности в ходе коллапса запустится процесс термоядерного горения водорода, то есть родится звезда. Объекты с меньшей массой тоже образуются. Но, как выясняется, в объектах с массами примерно от 0,01 до 0,08 масс Солнца водород загореться не может, поскольку в ядре такого объекта для горения водорода недостаточно велики температура и плотность. Такие объекты называются **коричневыми карликами** —

это нечто среднее между планетами и звездами.

Если образуются тела с еще меньшими массами, эти объекты уже относятся к планетам.

Например, у Юпитера масса немного больше 0,001 солнечной.

И ТЕ, ЧТО СТАЛИ ЗВЕЗДАМИ

Про верхнюю границу диапазона масс звезд раньше считалось, что

она составляет около 100 солнечных масс. Однако уже есть наблюдения, подтверждающие, что существуют звезды с массами примерно до 200 солнечных масс. Верхний предел на массу связан с тем, что при большой массе звезда выделяет настолько много энергии в виде излучения, что она становится очень неустойчивой. Но в основном образуются маломассивные звезды.

Термоядерное горение водорода происходит в ядре звезды. Масса ядра — это примерно одна десятая полной массы звезды. Но только эта центральная область участвует в горении. Вначале горит водород — эта стадия самая длительная в эволюции звезд. Когда весь водород в ядре сгорает, ядро начинает сжиматься под действием гравитационных сил.

При сжатии ядра, повышении в нем плотности вещества и температуры могут создаться условия для загорания гелия. Гелий в звезде появляется в ходе предшествующего горения водорода. Когда водород в ядре сгорает, загорается слой водорода вокруг ядра, и это приводит к многократному расширению звезды. Звезда превращается в **красный гигант**. Красный — поскольку из-за возросшей площади поверхности температура звезды понижается и спектр сдвигается в красную сторону. Дальше чаще всего горение в ядре останавливается.

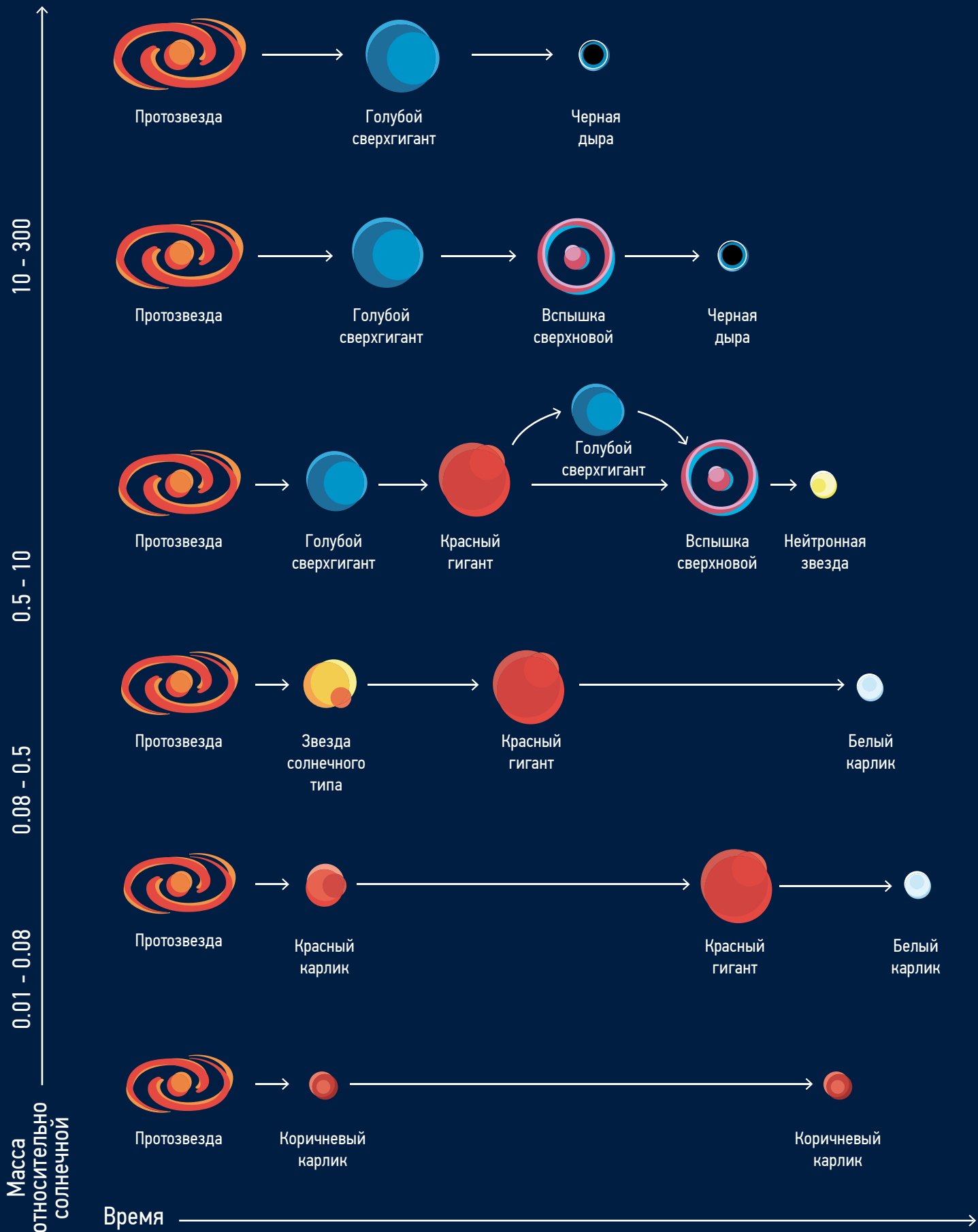
Последующая судьба звезды принципиальным образом зависит

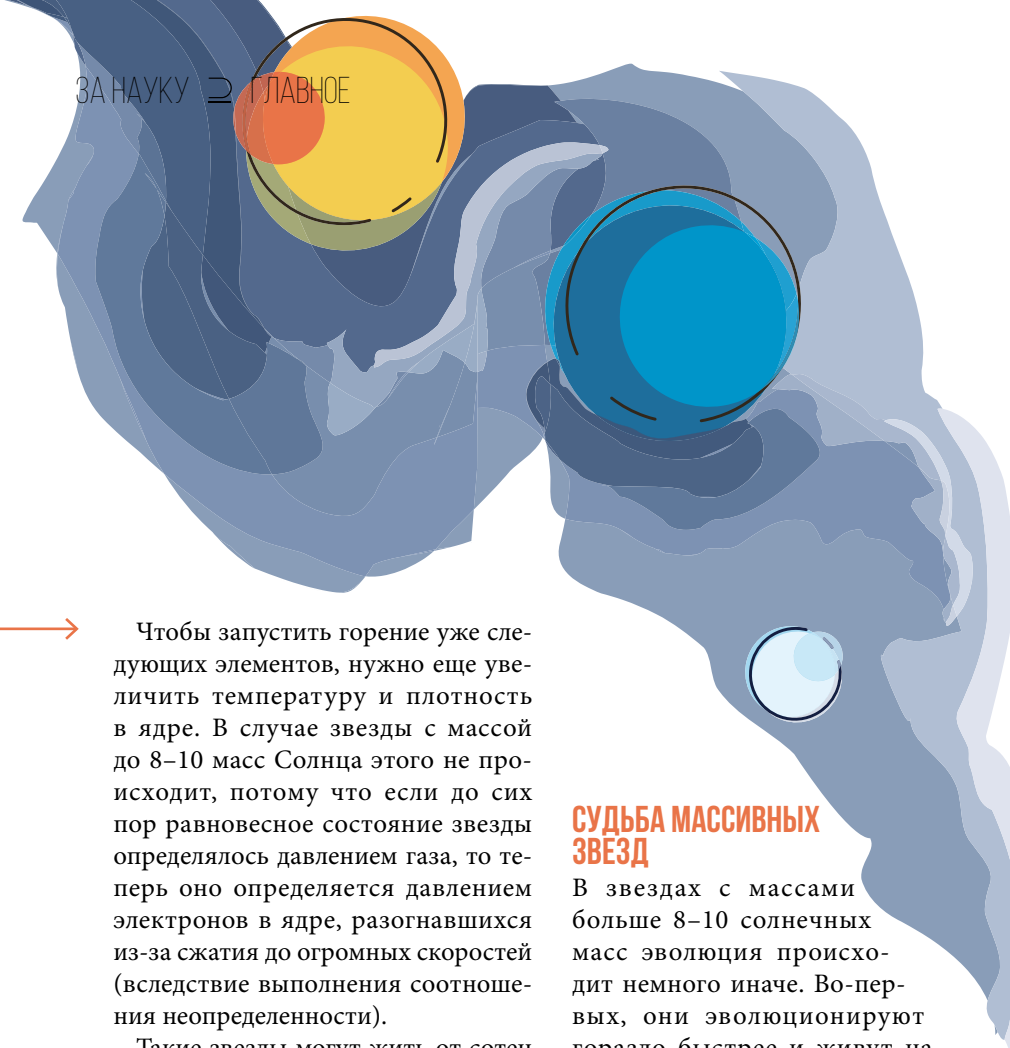


от того, какую она имеет начальную массу. Хотя свою роль играет также и ее начальный химический состав, но он становится важным аспектом, если рассматривать процесс звездообразования в ранней Вселенной.

ДЛЯ СПРАВКИ

Сейчас в звездах и межзвездной среде нашей Галактики примерно один и тот же состав химических элементов: три четверти по массе — водород, почти четверть — гелий, и 2% по массе — это более тяжелые элементы. Это связано с тем, что уже многократно произошло обогащение межзвездной среды газом, который выбрасывался из предыдущих поколений звезд. Причем водород и гелий в пропорции 3 к 1 по массе сформировались в ранней Вселенной в результате **первичного нуклеосинтеза**, когда еще не было ни звезд, ни галактик. А 2% тяжелых элементов сформировались уже в звездах и в **сверхновых**. В ранней Вселенной могли образовываться значительно более массивные звезды, нежели современные, из-за того, что тогда они образовывались из газа, который состоял практически только из легкого водорода и гелия. В то время звезды могли иметь несколько сотен солнечных масс.





Чтобы запустить горение уже следующих элементов, нужно еще увеличить температуру и плотность в ядре. В случае звезды с массой до 8–10 масс Солнца этого не происходит, потому что если до сих пор равновесное состояние звезды определялось давлением газа, то теперь оно определяется давлением электронов в ядре, разогнавшихся из-за сжатия до огромных скоростей (вследствие выполнения соотношения неопределенности).

Такие звезды могут жить от сотен миллионов до десятков миллиардов лет. На последней стадии эволюции подобных звезд внешние оболочки звезды срываются вовне, и остается ядро, поначалу довольно горячее. Ультрафиолетовое излучение этого ядра начинает подсвечивать сорвавшуюся оболочку, и возникает красивое явление, которое назвали планетарной туманностью.

РАСКАЛЕННЫЕ ДОБЕЛА

Оставшееся ядро — это **белый карлик**. В этом компактном остатке звезды уже не происходит термоядерное горение вещества. Его температура может быть около 200 тысяч градусов. Размер его примерно равен радиусу Земли, при этом масса — порядка массы Солнца (если вначале масса звезды была равна солнечной, то белый карлик будет около 0,6–0,7 массы Солнца). Плотность такого объекта составляет примерно 1000 кг/см³. Из-за маленькой поверхности белый карлик очень медленно остывает. И через миллиарды лет он становится красным карликом с температурой только в несколько тысяч градусов.

СУДЬБА МАССИВНЫХ ЗВЕЗД

В звездах с массами больше 8–10 солнечных масс эволюция происходит немного иначе. Во-первых, они эволюционируют гораздо быстрее и живут на много меньше маломассивных звезд. Всего лишь десятки миллионов лет. В их случае горение в ядре не останавливается на стадии гелия. В таких звездах ядро после сгорания гелия может продолжить сжиматься.

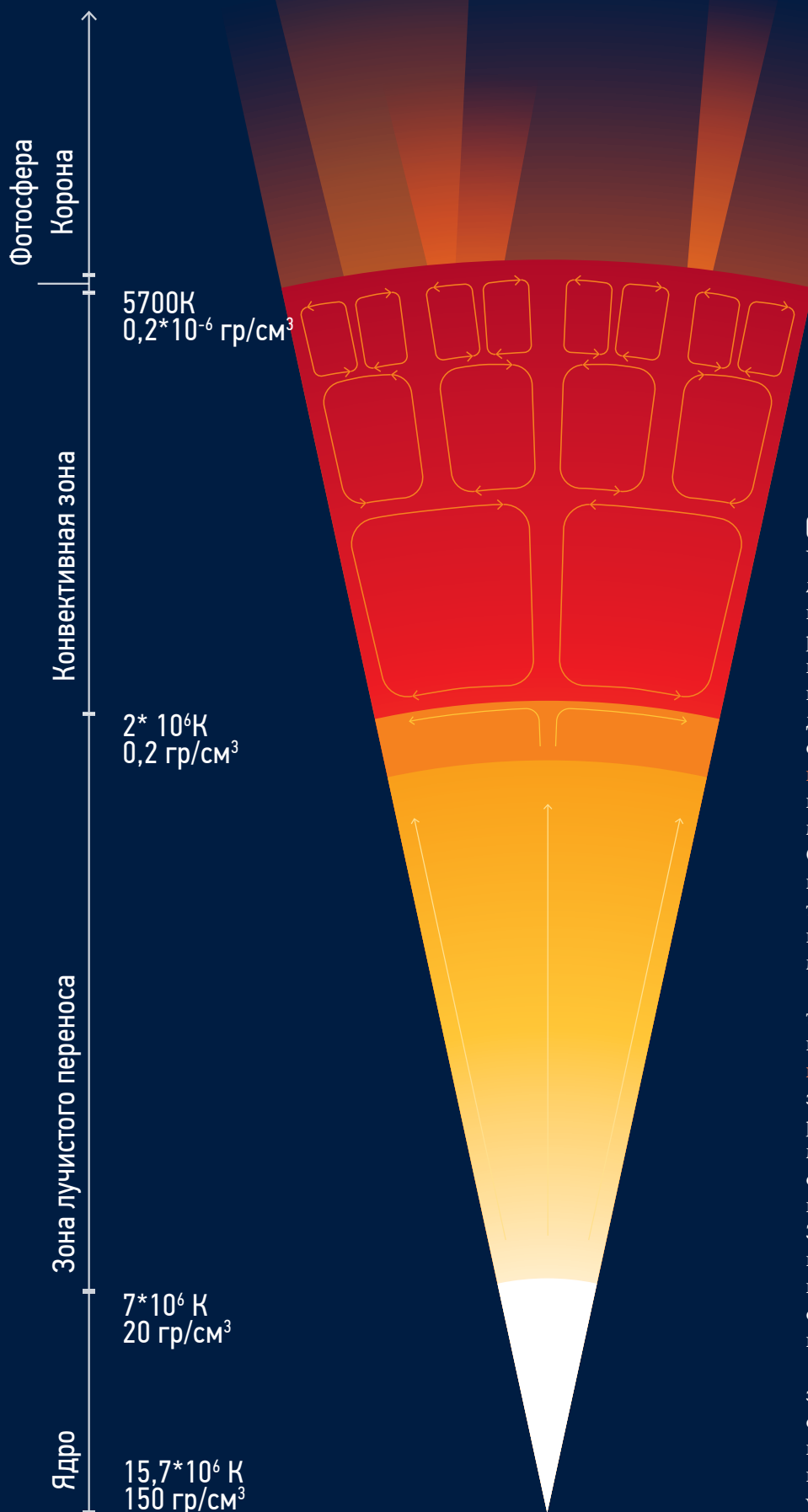
«Можно красиво сказать, что обычная звезда, пока в ней нет рождения (то есть электроны не получили огромный импульс из-за сжатия ядра), обладает отрицательной теплоемкостью. Это важнейшее свойство звезды, которое позволяет поддерживать стабильным процесс термоядерного горения. Что такое отрицательная теплоемкость? Это значит, что чем больше звезда будет отдавать свою энергию во внешний мир, тем выше станет ее температура. Дело в том, что когда звезда начинает отдавать больше энергии наружу, ее ядро поджимается. В результате, увеличилась плотность и температура. Есть условия для загорания следующего элемента», — рассказывает заведующий лабораторией экспериментальной астрофизики отдела астрофизики высоких энергий

ИКИ РАН, профессор МФТИ и профессор РАН Сергей Сазонов.

Оказывается, эти циклы могут продолжаться вплоть до загорания железа. Причем каждая следующая стадия становится все быстрее. Дальше процесс идти не может, потому что это становится энергетически невыгодно: при горении элементов до железа энергия выделяется, но чтобы из железа получить более тяжелые элементы, энергию нужно затратить. В результате в массивных звездах образуется многослойное ядро, в центре которого находится железо, а затем — более легкие элементы вплоть до водорода на наружной границе ядра.

Горения в ядре больше нет, оно начинает стремительно коллапсировать. Заканчивается это тем, что может образоваться аналог белого карлика, но состоящий из нейтронов, поскольку при очень больших плотностях начинается нейтронизация вещества: протоны сливаются с электронами в нейтроны. И в результате может образоваться **нейтронная звезда**. При этом внешние оболочки срываются со звезды из-за того, что ядро так быстро коллапсирует: от него начинает распространяться ударная волна, происходит сброс внешних оболочек, и все это приводит к **взрыву сверхновой**. Масса нейтронной звезды так же, как и белого карлика, близка к массе Солнца. При этом нейтронная звезда имеет размер 10–20 километров. Это еще более экстремальные объекты.

Наконец, если звезда имеет массу выше 30–40 солнечных масс, то считается, что из нее в конце ее эволюции должна образовываться **черная дыра**. Дело в том, что ядро, которое получилось после прогорания вещества до железа, у массивной звезды будет иметь массу больше 2–3 солнечных. В этом случае уже ничто не может остановить ядро от сжатия. Внешняя оболочка, как и в предыдущем случае, срывается в виде сверхновой.



СТРУКТУРА ЗВЕЗДЫ

У звезды типа Солнца можно выделить три основные зоны. Центральная — это ядро, где происходит горение. Энергия, которая рождается в ядре, должна как-то выйти наружу, иначе мы бы не могли увидеть звезды. За перенос этой энергии наружу ответственна **зона лучистого переноса**. Лучистый перенос заключается в процессе рождения и почти моментального поглощения фотонов. Он связан с тем, что расстояния, на которые могут распространяться фотоны рентгеновского и гамма-излучения, вырывающегося из ядра, очень маленькие.

Но затем оказывается более эффективно осуществлять перенос энергии посредством конвекции — возникает **конвективная зона**. Конвективная зона занимает около 20% от полного радиуса. В ней работает стандартный механизм конвекции: тепло переносится вверх вихрями газа. Наконец, внешний слой звезды — **фотосфера**. Это слой, отвечающий за формирование спектра излучения, который мы видим. Из этой зоны начинают распространяться фотоны, которые добираются до Земли.

Температура и плотность вещества звезды практически монотонно падают с радиусом. Например, в центре Солнца температура выше 15 миллионов градусов, а температура фотосферы уже около 6 тысяч градусов. ■

ВО ГЛУБИНЕ ВСЕЛЕНСКИХ РУД

Большая часть видимого вещества Вселенной заключена в звездах и газопылевых облаках, из которых однажды сформируются новые объекты. Впрочем, не всегда можно изучать звезды и их остатки напрямую. Поэтому немалую роль для астрономии играют и косвенные данные, которые ученые получают, изучая излучение и взаимодействие разных объектов.

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

□ Нейтронные звезды уникальны сочетанием экстремальных свойств, связанных с тем, как они возникли. Это самые плотно упакованные макроскопические объекты из тех, которые мы знаем, и, видимо, из тех, которые существует в природе. Дальше только черные дыры. Но у черных дыр вся информация об их недрах, естественно, потеряна, по крайней мере, для внешнего наблюдателя. Таким образом, нейтронные звезды являются естественными лабораториями, где можно изучать вещество в экстремальном состоянии: при высокой плотности, сильных гравитационных, магнитных и электрических полях. Пытаться искать какие-то процессы, связанные с экзотическими частицами и так далее.

КОСМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ

Помимо большой значимости для понимания устройства Вселенной, у нейтронных звезд есть совершенно практическое приложение. Вращающиеся нейтронные звезды (пульсары) являются источниками излучения во всех диапазонах спектра, и это периодические источники. Такая звезда может весить как полторы массы Солнца, иметь радиус 10–15 километров и при этом вращаться до 400 раз в секунду. И, что важно, период ее вращения очень стабилен — на масштабах десятков лет стабильность периода сравнима со стабильностью хода атомных часов.

«Люди довольно давно начали обсуждать систему космической навигации, основанную на нейтронных звездах. Прелесть в том, что это позволяет сделать автономную навигацию. Вот сейчас, если у вас спутник летит куда-нибудь к Плутону, сигнал туда-обратно идет несколько часов. И спутник не может сам точно определить свои координаты и скорость в Солнечной системе без постоянного контакта с Землей. А если на нем стоит система автономной навигации по рентге-

новским пульсарам, то возможна автономная навигация. Сейчас все ведущие космические агентства мира активно заняты разработкой таких систем. Так что, я думаю, начиная с 2030-х годов межпланетные станции в Солнечной системе будут ориентироваться по нейтронным звездам», — считает ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, автор проекта профессиональных астрономических новостей Сергей Попов.

Пульсары находятся далеко от Земли, можно считать, что они почти неподвижны на небе. Профиль сигнала, приходящего от них, уникален для каждой звезды. Таких источников довольно много. Можно представить, что по небу разбросано несколько десятков маяков, у которых хорошо известны периоды, с которыми они вращаются, и формы сигналов. На самом деле, нейтронных звезд тысячи, но пульсаров, которые бы светили и в рентгеновском диапазоне, и в радио-, куда меньше. Возникает задача построения независимых навигационных систем с использованием этих маяков в качестве реперных точек. Такая система в идеале может быть автономной по той причине, что эту задачу способен решать компьютер, стоящий на борту аппарата.

«Спутник во время полета регистрирует периоды сигналов от пульсаров. По сдвигу частоты, то есть по величине эффекта Доплера можно построить вектор скоростей. Дальше нужно определить положение. Определить положение можно по тому, как к вам приходит фронт сигнала от того или иного пульсара. То есть вы летите, знаете, что у вас прямо по курсу находится пульсар, и от него приходит сигнал, по которому ищется геометрическое место точек, где он может находиться. В другом направлении находится другой пульсар, сигнал от которого вы тоже измеряете. Получается второй такой набор

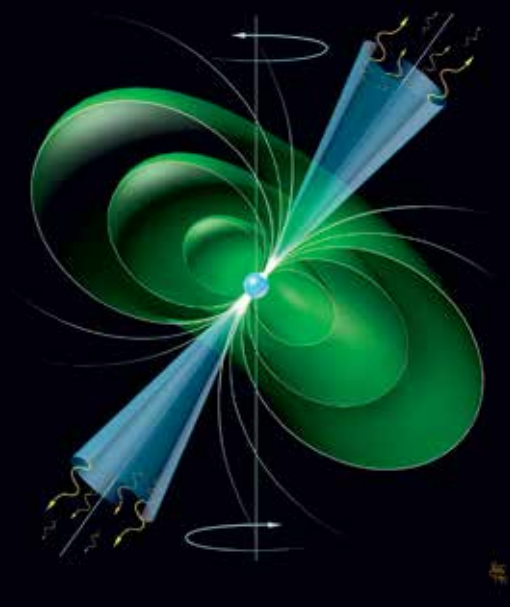


Иллюстрация
радиопульсара,
space-art.co.uk

точек, который пересекается с первым, то есть геометрическое место точек уменьшается. И уже, как правило, на четвертом-пятом пульсаре вы находите единственное решение. Пересечений становится все меньше и меньше между этими фронтами, и вы можете определить, в каком месте Солнечной системы вы находитесь», — рассказывает Александр Лутовинов, заместитель директора ИКИ РАН, профессор РАН.

Точность этого метода не зависит от того, находится ли аппарат близко от Земли или где-то в дальнем космосе. В случае орбитальных спутников такой принцип навигации позволяет работать на орбитах выше, чем ГЛОНАСС или GPS, то есть на орбите Луны и далее. Единственной проблемой в использовании этого метода на практике до недавнего времени было отсутствие подходящих легких детекторов излучения в диапазоне излучения пульсаров. Совершенствование космической рентгеновской техники за последние 10 лет привело к появлению кремниевых рентгеновских детекторов массой в несколько десятков килограммов, которые стало наконец возможно установить на спутник.

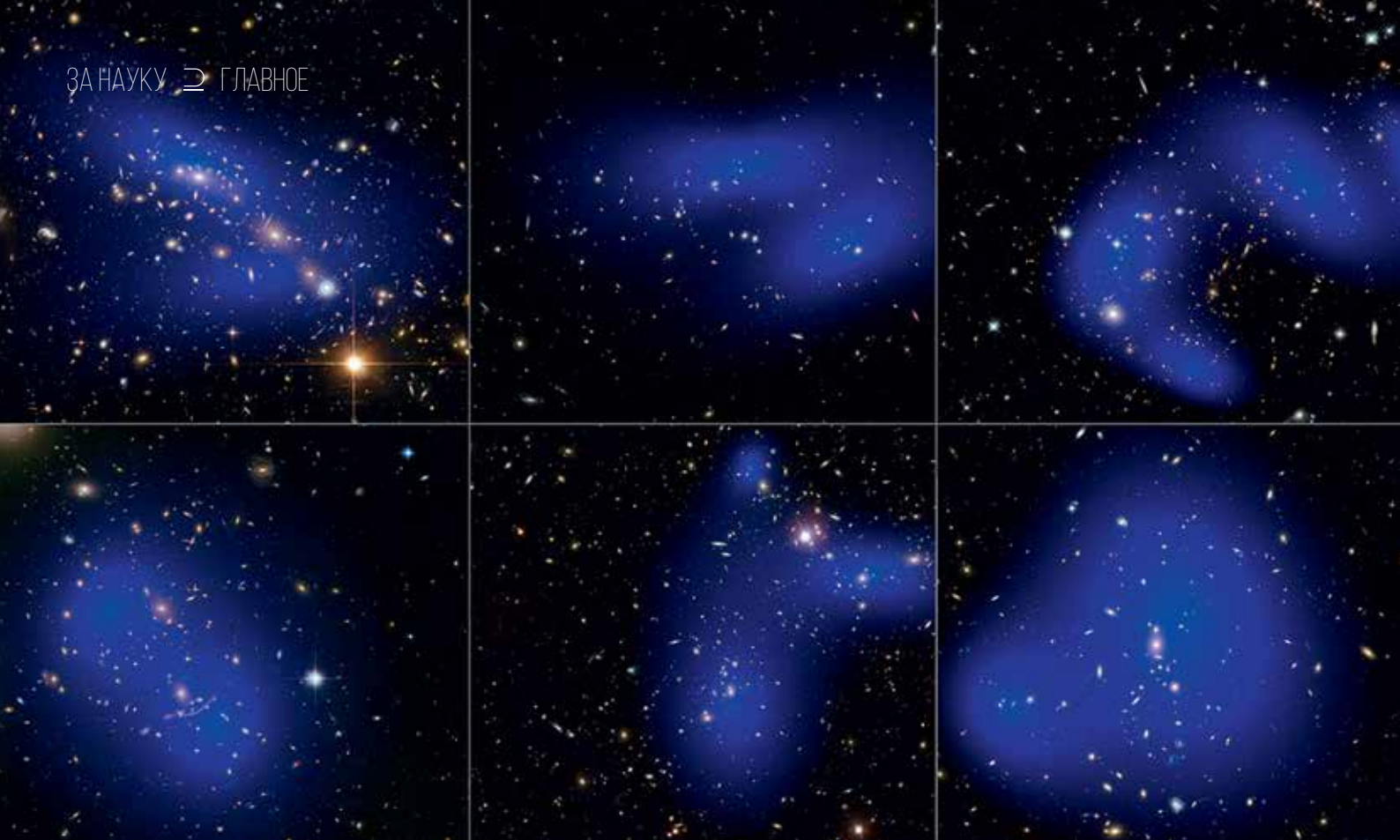
ЯРЧЕ ГАЛАКТИК

С большими магнитными полями и экстремальными свойствами нейтронных звезд связано излучение магнитаров. Магнитары были открыты в 1979 году с помощью приборов эксперимента «Конус» на борту советских спутников «Венера». Аппаратура зафиксировала повторяющиеся гамма-вспышки. В этих вспышках был выделен период в несколько секунд. Источник удалось отождествить. Оказалось, что это нейтронная звезда в Магеллановом облаке — карликовом спутнике нашей галактики.

«Мощность больших магнитаров совершенно фантастическая: этот 10-километровый шарик пусть и на долю секунды, но становится ярче целой галактики. Основная энергия уносится в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазоне. Причем эта вспышка не разрушает нейтронную звезду. Вспышки могут повторяться. Это самый экстремальный способ изучения нейтронных звезд, наверное. В прошлом году был впервые обнаружен гравитационно-волновой всплеск от слияния нейтронных звезд, и это еще один способ наблюдать нейтронные звезды. Будучи столь плотно упакованы, нейтронные звезды обладают огромной потенциальной энергией. И если мы бросим ноутбук на поверхность нейтронной звезды, то энергия выделится как при ядерном взрыве», — продолжает Сергей Попов. →



Иллюстрация
космической навигации.
Источник:
blogs.discovermagazine.com



ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ VS ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

→ Естественно, этот результат нужно было объяснять, и появилась концепция темной энергии. Темная энергия — комплекс гипотез, которые призваны объяснить, почему последние несколько миллиардов лет наша Вселенная расширяется ускоренно.

Темная материя, как и темная энергия, — гипотеза. Согласно гипотезе, темная материя — это некий вид частиц. Плотность темной материи может в одной области Вселенной быть меньше, а в другой больше. Темная энергия же имеет везде одинаковую плотность энергии.

«В принципе, в астрономии нечто похожее появлялось постоянно. Это сводится к тому, что мы видим, как правило, гравитационный эффект чего-то, но не видим сам объект, с которым он связан. Простейший пример — это открытие Нептуна. Люди наблюдали отклонение движения Урана и заподозрили, что есть невидимый массивный объект, — за орбитой Урана открыли планету Нептун. История современной темной материи начинается в 30-е годы с такого же эффекта. При изучении распределения скоростей галактик в их скоплениях Фриц Цвикки обратил внимание

на то, что скорости эти очень большие. В чем, собственно, проблема? Если вы попробуете купить астероид, привести туда кислорода и создать атмосферу, ничего не получится. Потому что в комфортных условиях молекулы кислорода двигаются со скоростью под 300 метров в секунду, и гравитация астероида их не удержит, они разлетятся. Земля удерживает атмосферу просто из-за своей большой массы. Так вот, чтобы удержать скопление галактик с большими скоростями, нужна большая масса. А в скоплении этой массы не было видно», — рассказывает Сергей Попов.

Цвикки предположил, что в скоплениях галактик есть какая-то темная материя, которую мы не видим, и она гравитационно удерживает галактики от разлета. Он думал, что это газ или пыль. Но с течением времени оказалось, что такого вещества надо много. И из космологических данных сегодня известно, что обычным веществом это объяснить нельзя. Поэтому сейчас считается, что темная материя — это какой-то вид частиц, не входящих в Стандартную модель.



Коллаж показывает изображения шести разных скоплений галактик, полученные при изучении поведения темной материи во время столкновений таких скоплений

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Если бы не было темной материи, то за прошедшие 14 миллиардов лет жизни Вселенной не успели бы образоваться галактики и их скопления. И хитрость здесь вот в чем. Когда Вселенная была молодой, в ней не могли расти флуктуации плотности обычного вещества. В это время Вселенная была горячей, плотной и непрозрачной для своего излучения. Если обычное вещество собиралось где-то в кучу, то там повышалась плотность излучения, и излучение «расталкивало» это вещество, то есть флуктуация плотности не могла расти. Флуктуация плотности могла бы расти только в таком веществе, которое не чувствует излучения, и темная материя как раз подходит.

“*Реликтовое излучение — это прямая информация о Вселенной, когда ей было около 380 тысяч лет*”

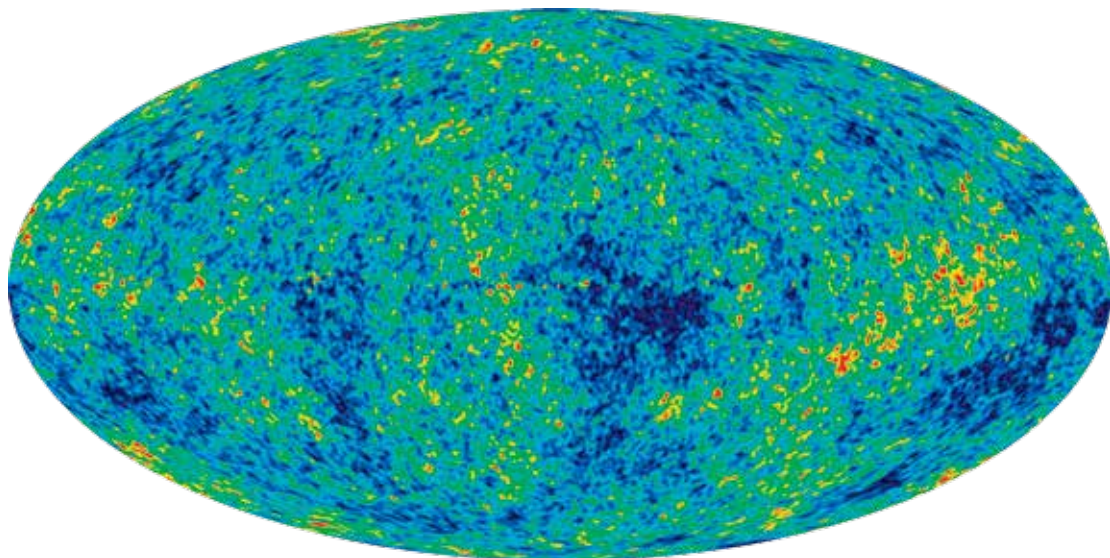
Примерно первые 380 тысяч лет, когда Вселенная была непрозрачна для излучения, из первичных флуктуаций плотности могли расти только структуры темной материи. А когда произошла рекомбинация, освободилось то излучение, которое астрономы наблюдают как реликтовое излучение. В этот момент обычное вещество тоже смогло участвовать в росте структуры Вселенной. То есть уже был создан каркас Вселенной, и вещество устремилось туда, где уже было много темной материи.

Через десятки миллионов лет возникли первые звезды, через сотни миллионов лет возникли первые галактики. Вселенная расширилась в тысячу с лишним раз. И вся эта большая структура создана темной материей, которой в 5 раз больше, чем обычного вещества, — она до сих пор гравитационно доминирует.

Почему реликтовое излучение так важно? Во-первых, это прямая информация о Вселенной, когда ей было около 380 тысяч лет. Во-вторых, эта информация позволяет очень сильно ограничить то, что с ней могло происходить до этого времени. Как было сказано, во Вселенной пытались расти структуры и возникали неоднородности плотности, в том числе и в обычном веществе. Они должны были отпечататься в реликтовом излучении, и в 90-е годы астрономы стали надежно фиксировать неоднородности в реликтовом излучении. Это говорит о том, как происходила эволюция Вселенной до стадии рекомбинации.

Кроме того, прежде чем попасть к нам, реликтовое излучение проходит всю видимую часть Вселенной, то есть это самый далекий источник, который нам виден. И на своем пути излучение просвечивает все, фактически собирая информацию. И в этом смысле реликтовое излучение, кроме инструмента для изучения ранней Вселенной, является вообще инструментом для изучения Вселенной.

Карта ранней Вселенной



ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ



Изначально понятие черной дыры возникло как решение уравнений общей теории относительности. Это сферически симметричное решение, при котором большая масса сосредоточена в маленьком объеме — настолько маленьком, что возникает горизонт событий. Никакая информация не может выйти наружу из-под горизонта событий, и мы не видим, что происходит за ним. Это решение долгое время считалось чисто академическим результатом. Только в 50-х годах ученые стали подумывать о том, что описанные объекты могут действительно существовать. И в 60-х их начали обнаруживать по косвенным признакам, поскольку напрямую увидеть их нельзя. В прошлом году Нобелевскую премию дали за регистрацию гравитационных волн от слияния черных дыр. На сегодняшний день это самое убедительное подтверждение их существования. Теперь астрономы стремятся поймать неуловимую тень черной дыры на фоне аккреционного диска.

Их происхождение может быть разным. Есть черные дыры, когда-то бывшие звездами: происходил коллапс звезды, то есть звезда падала внутрь себя и взрывалась, как сверхновая. Есть сверхмассивные черные дыры в центрах галактик. Они — результат падения в центр галактики газа и многих звезд. В таких черных дырах могут быть миллиарды солнечных масс. Подобные галактики называют квазарами. В случае квазара на черную дыру из аккреционного диска должно падать достаточно много вещества. И, наконец, есть гипотеза, что существуют еще первичные черные дыры, которые образовались на самых ранних стадиях жизни Вселенной. Но пока никаких свидетельств их существования нет.

МАЯКИ ВСЕЛЕННОЙ

Квезары называют маяками Вселенной. Они часто светят прямо из ранней Вселенной, которой меньше миллиарда лет, и их излучение все просвечивает на своем пути. Таким образом можно изучать состав Вселенной и ход ее развития.

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института ядерных исследований РАН и Астрокосмического центра ФИАН Борис Штерн рассказывает: «Изначально Вселенная была ионизованной. 380 тысяч лет назад произошел процесс рекомбинации, после чего она стала нейтральной. Мы видим это время. Через сотни миллионов лет она снова ионизовалась светом квазаров, сверхновых и ярких звезд. Возникли облака ионизованного газа. Затем облака ионизованного газа объединялись, и образовались облака нейтрального газа. Так происходила вторичная ионизация Вселенной. И сейчас она, в основном, ионизована. Мы можем наблюдать этот процесс благодаря квазарам. Они работают как маяки».

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Совсем недавно черные дыры стали еще и инструментом астрофизиков в изучении эволюции звезд. Это стало возможно при появлении гравитационных обсерваторий, таких как знаменитая обсерватория LIGO. Возникновение гравитационных волн может быть результатом слияния черных дыр. Наблюдение подобных процессов — совершенно новая область астрофизики. Сегодня становится возможно увидеть двойные системы черных дыр и то, как они появились. Процесс их образования зависит от звездной эволюции. И такое событие, как слияние черных дыр, которое порождает гравитационные волны, дает все больше информации о звездной эволюции. Даже те скромные данные, которые уже есть, — а наблюдалось пока всего несколько слияний черных дыр — уже многое прояснили для ученых. Полученные наблюдательные данные говорят о том, что мы видим, скорее всего, слияние очень массивных и очень старых звезд, возникших в шаровых скоплениях. Это пример того, как черные дыры позволяют получить информацию о других объектах.

Модель черной дыры

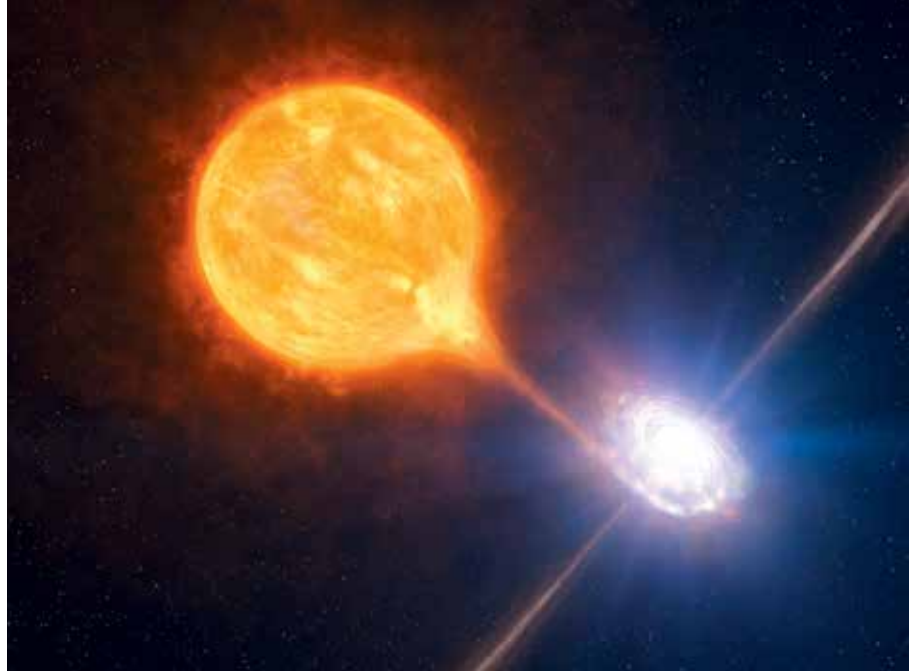


Сверхновая в представлении художника

ДЖЕТЫ

Джеты — это релятивистские струи плазмы. Причины, по которым они интересны, связаны с тем, что большое количество объектов во Вселенной имеют джеты. Соответственно, исследование этих объектов в конце концов приводит к исследованию джетов. К тому же джеты могут выглядеть сильно ярче, чем они есть на самом деле. А когда астрономы смотрят на небо, они видят в первую очередь наиболее яркие объекты. Такая способность джетов связана с тем, что если вещество в них плавно движется со скоростью, близкой к скорости света, то срабатывает эффект релятивистской аберрации.

«Суть этого явления заключается в следующем. Неподвижный сгусток плазмы излучает во все стороны одинаково. Если он начинает двигаться с какой-то небольшой скоростью, он тоже излучает во все стороны одинаково. А вот если он движется со скоростью, близкой к скорости света, тогда из-за эффекта релятивистской аберрации большая часть света, который он излучает, фокусируется в достаточно узкий луч. Поэтому если наблюдателю повезло оказаться внутри этого луча, соответственно, он увидит намного более яркое излучение, чем все остальные. А для наблюдателей, которые находятся вне этого луча, излучение будет ослаблено. Естественно, джеты направлены во Вселенной случайным образом. Но те из них, которые направлены в нашу сторону, мы видим достаточно яркими», — рассказывает Юрий Ковалев, заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии Астрокосмического цен-



Формирование джета при перетекании вещества со звезды на черную дыру (микровизар)

тра ФИАН и лабораторией фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ.

Какие объекты во Вселенной порождают джеты? Чаще всего это активные галактики, которые имеют в центре сверхмассивные черные дыры массами миллионы и миллиарды масс Солнца. Механизм формирования таких выбросов в них работает следующим

“ На центральную сверхмассивную черную дыру извне падает вещество, и около 10% этого вещества выбрасывается наружу в виде джетов ”

образом. На центральную сверхмассивную черную дыру извне падает вещество, и около 10% этого вещества выбрасывается наружу в виде джетов. По принципу симметрии формируется два джета в направлении, перпендикулярном плоскости, в которой находится аккреционный диск, — диск из того самого вещества, которое падает на черную дыру.

Другие объекты, которые рождают джеты, — это сливающиеся звезды. В случае слияния звезд, когда одна звезда падает на другую, наружу выбрасывается вещество, которое сформировано в виде джетов. Кроме этого, из магнитных полюсов пульсаров вылетают электроны и тоже ускоряются до скоростей, близких к скорости света. Фактически в этом случае тоже происходит генерация луча света, который можно увидеть на Земле. Таким образом, изучая подобные джеты, астрофизики изучают как далекие галактики, так и сливающиеся, достаточно компактные объекты типа звезд. ■

Гравитационная обсерватория LIGO



ЭКЗОПЛАНЕТЫ

Количество открытых экзопланет на сегодня исчисляется уже тысячами. Это очень бурно развивающаяся область астрофизики. Помимо физического интереса, она обладает и социальной значимостью, поскольку имеет прямое отношение к вопросу о месте человека во Вселенной. И связано это не только с поиском жизни в нашей и других галактиках, но и с далекой перспективой существования человечества.

□ Экзопланеты открывают все более активно. И важно уже даже не то, что их тысячи, а то, что постепенно обнаруживаются планеты, достаточно похожие на Землю по размерам, по массе и по степени облучения извне.

«Совсем недавно было обнаружено, что ближайшая к нам звезда — Проксима Центавра — имеет планету земного типа. В 40 световых годах от нас у звезды Trappist-1 была найдена система из семи планет земного типа, три из которых облучаются так, что там возможна жидкая вода. В конце прошлого года были открыты четыре планеты у звезды Тау Кита. И из них две — тоже в зоне обитаемости. Новые открытия в этой области происходят одно за другим. В ближайший год, наверное, будет некоторая пауза. Но потом, когда запустят новый космический телескоп „Джеймс Уэбб“, мы должны увидеть атмосферы некоторых планет, близких к нам», — рассказывает доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института ядерных исследований РАН и Астрокосмического центра ФИАН Борис Штерн.

ЗОНА ОБИТАЕМОСТИ

Чтобы отделить планеты, на которых гипотетически могут быть условия для существования жизни, подобной земной, было введено понятие зоны обитаемости. Оно достаточно условно. Из периода обращения планеты и характеристик звезды можно узнать, сколько излучения звезды падает на планету. Сама планета нагревается

и тоже излучает. Равновесие падающего облучения и излучения самой планеты определяет равновесную температуру. Затем эту величину сравнивают с земной равновесной температурой. Точнее, берется диапазон примерно от Венеры до Марса. Если транслировать такой диапазон по интенсивности излучения на другие планетные системы, получается та самая зона обитаемости.

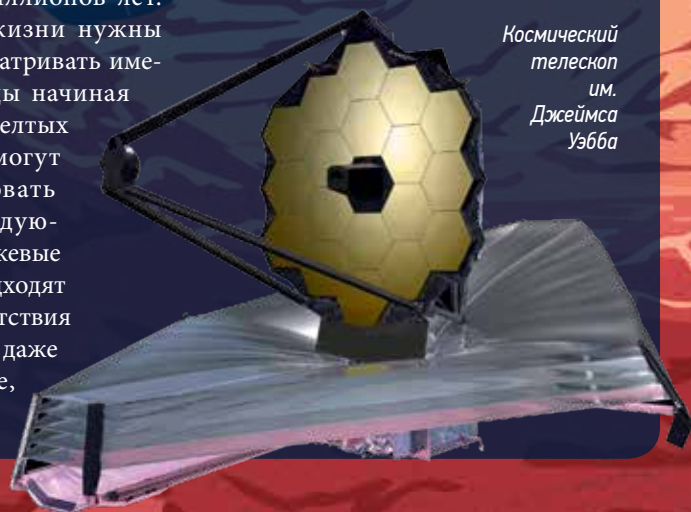
Проще говоря, это тот диапазон, в котором может существовать жидкая вода, то есть температура может быть выше 0°C. Но не стоит забывать, что температура на планете зависит от атмосферы, создающей парниковый эффект, который греет планету. Например, равновесная температура Венеры не так сильно отличается от земной. Но при этом на поверхности Венеры — 450°C, а на Земле — 15°C. К тому же в планетных системах далеко не всех звезд может существовать жизнь.

Большие звезды очень недолговечны, их эволюция длится не более нескольких миллионов лет. А для зарождения жизни нужны миллиарды лет. Рассматривать имеет смысл лишь звезды начиная с класса Солнца — желтых карликов, которые могут стабильно существовать миллиарды лет. Следующий класс — это оранжевые карлики. Они тоже подходят для возможного присутствия жизни и, может быть, даже больше, чем Солнце, потому что их пре-

дельный возраст может быть заметно больше. Дальше по классификации следуют красные карлики, которых во Вселенной насчитывается больше всего, но по целому ряду причин эти звезды малопригодны для существования жизни около них.

МЕТОДЫ ОТКРЫТИЯ

Исторически первый метод — это спектроскопический, или метод лучевых скоростей. Разберем на примере. Земля вращается вокруг Солнца, но и Солнце вращается вокруг общего центра тяжести с Землей, который находится внутри Солнца. Скорость вращения Солнца относительно этого общего центра тяжести (с Землей) — 10 см/с. А вот скорость вращения Солнца относительно общего центра тяжести с Юпитером уже 10 м/с. Оказывается, что метры в секунду — вполне измеряемая современными инструментами скорость. Это движение измеряют по смещению спектральных линий поглощения в атмосфере звезды: если



Космический телескоп им. Джеймса Уэбба



Планетная система звезды Trappist-1. Размер в сравнении с Солнечной системой

звезда движется к нам — они смещаются в синюю область, от нас — в красную. Это научились делать на рубеже 80–90-х годов прошлого века, а в 1995 году таким образом нашли первую планету — совершенно невероятную, очень тяжелую и очень близкую к звезде. С тех пор этим методом найдены многие сотни новых объектов. Существующий на сегодня предел точности измерения — 20 см/с. Так были обнаружены, например, планеты в системе Тау Кита.

Этот метод позволяет найти объекты с массами в несколько земных. Менее массивные найти значительно сложнее. Такой подход хорош тем, что он применим ко всем планетным системам. Есть гораздо более чувствительный метод, который позволяет находить планеты земной массы достаточно несложно, но он очень избирательный. Это метод транзитов. Если эклиптика звезды (плоскость вращения планет вокруг звезды) лежит на луче зрения, мы видим, как планеты проходят через ее диск. Они затмевают звезду, и это можно наблюдать. Но вероятность обнаружить планету с радиусом орбиты как у Земли, которая вращается у звезды типа Солнца, составляет около 0,5%. Еще одно преимущество метода транзитов — на просвет может быть видна атмосфера.

Есть и другие, менее продуктивные способы обнаружения экзопланет. Для гигантских далеких планет возможен метод прямого наблюдения, поскольку они видны. Но планета должна быть большой и дальше от своей звезды, чем Нептун от Солнца.

АТМОСФЕРЫ ЭКЗОПЛАНЕТ

«Мы получаем все больше и больше информации об экзопланетах. С начала XXI века мы можем анализировать состав атмосфер и определять другие свойства экзопланет все точнее. Нужно отметить, что из нескольких тысяч известных экзопланет меньше 1% тех, которые видны сами по себе. Непосредственно мы видим молодые гигантские планеты, находящиеся далеко от своих звезд. В таком случае мы видим собственное излучение планеты в инфракрасном диапазоне», — рассказывает ведущий научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга Сергей Попов.

Получается, что сегодня можно исследовать спектры верхней атмосферы гигантских молодых планет и, соответственно, изучать их состав. Есть и обратный случай: гигантская планета находится очень близко от своей звезды. И тогда звезда прогревает ее атмосферу до огромной температуры, которая может составлять несколько тысяч по шкале Кельвина. И снова можно видеть это излучение

и изучать спектр такой экзопланеты. Более того, можно измерять скорость ветра в такой атмосфере, и это сделано в нескольких случаях, потому что там дуют невероятной силы ветра из-за мощного прогрева.

В случае планет поменьше нужно прибегнуть к методу транзитов. Планеты проходят на фоне диска звезды и, соответственно, их внешняя атмосфера просвечивается. Таким образом тоже можно изучать спектры экзопланет, астрофизики уже исследуют атмосферы сверхземель — планет, которые в несколько раз тяжелее Земли. Но для того, чтобы качественно изучить атмосферу полного двойника Земли, нужны прямые изображения. Пока что это задача отдаленной перспективы.

Ближайшее будущее — это изучение атмосфер планет типа Земли в зоне обитаемости вокруг красных карликов, которые являются слабыми звездами и могут излучать в тысячи раз меньше энергии, чем Солнце. Поэтому, чтобы планета была потенциально обитаемой, нужно, чтобы она находилась очень близко от такой звезды. При подобной конфигурации транзиты будут происходить довольно часто. Соответственно, разумное ожидание состоит в том, что через 10–15 лет ученые получат прямые данные по атмосферам железнокаменных планет в зонах обитаемости вокруг красных карликов. ■

BLACK HOLES AND REVELATIONS

Нереализованный советский проект возродился спустя десятилетия, чтобы объяснить многие явления далекого космоса и заставить ученых пересмотреть свои взгляды на экстремальные объекты Вселенной.

□ ТЫ ПОМНИШЬ, КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ

Космический телескоп «РадиоАстрон» изначально был задуман достаточно давно, около 35 лет назад. Официальное решение о старте разработки было принято в начале 80-х годов. Изначально было запланировано, что он будет запущен в космос намного раньше, чем это случилось, но развал Советского Союза внес свои коррективы. Проект воскрес фактически благодаря сильной команде из ФИАНа под руководством академика Николая Семёновича Кардашёва. Он является научным руководителем этого проекта до сегодняшнего дня. Разрабатывала этот спутник команда под руководством НПО имени С. А. Лавочкина.

Спутник представляет из себя 10-метровое зеркало, которое для запуска в космос было необходимо сложить, как бутон цветка, чтобы его диаметр не превышал 3,5 метра — диаметр ракеты. 27 лепестков этого зеркала были сложены и запущены с космодрома Байконур летом 2011 года. Через несколько дней после запуска они были успешно раскрыты. Так на орбите Земли появился 10-метровый радиотелескоп, который на сегодня является самым крупным телескопом, когда-либо запущенным в космос.

Космический телескоп проекта «РадиоАстрон» готовится к запуску



НА ЧТО СПОСОБЕН

Технические характеристики зеркала телескопа определяют, в каком диапазоне волн он может работать. Точность поверхности зеркала должна быть примерно 1 миллиметр. То есть после запуска спутника в космос, после громадной тряски на старте раскрывшееся зеркало должно было сформировать параболоид вращения с точностью 1 миллиметр при размере 10 метров.

«Мы работаем на четырех длинах волн. Самая длинная — 96 сантиметров. Следующая — 18 сантиметров, потом — 6 сантиметров. Самая короткая — 1,3 сантиметра. В этих четырех диапазонах длин волн работают четыре приемника излучения. Усилители сигнала для приемников в этих диапазонах были построены нашей страной совместно с зарубежными партнерами: Австралией, Индией, Финляндией, Германией, Нидерландами и США», — рассказывает Юрий Ковалев, заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии Астрокосмического центра ФИАН и лабораторией фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ.

Стоит уточнить, почему был выбран такой диапазон длин волн. Во-первых, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой — принцип, который используется для получения космического интерферометра размером с расстояние от Земли до Луны, — на сегодняшний день позволяет синхронизовать космический телескоп с наземными только в радиодиапазоне. Рабочий диапазон был выбран для решения следующих задач: наиболее длинные волны — 96 сантиметров и 18 сантиметров — для исследования пульсаров (нейтронных звезд). Наиболее короткие длины волн — 1,3 и 6 сантиметров — для исследования квазаров, центров активных галактик и центра нашей галактики.

Космический телескоп движется вокруг Земли на расстоянии вплоть до радиуса орбиты Луны. Благодаря созданию сверхдлинной базы интерферометра «РадиоАстрон» стало реальностью угловое разрешение до нескольких микросекунд дуги. Это эквивалентно диаметру радиотелескопа ~350000 км. То есть факти-

чески создатели проекта получили виртуальный телескоп размерами Земля — Луна. На Земле составными частями этого гигантского интерферометра работают до 40 крупнейших радиотелескопов. И полученные с помощью этого интерферометра данные уже сегодня заставляют астрофизиков пересмотреть устоявшиеся взгляды на привычные явления (подробнее на стр. 20 — прим. ред.).

“«РадиоАстрон» — первый в нашей стране космический проект, который реализовал принцип открытого доступа”

«Наиболее короткие длины волн дают самое высокое угловое разрешение. Когда мы говорим об очень высоком угловом разрешении, полученном на «РадиоАстроне», то обычно речь идет о длинах волн 6 сантиметров или 1,3 сантиметра. Исследовать область водяного пара и области образования звезд и планет необходимо на тех длинах волн, на которых излучаются соответствующие радиолинии. И главным образом мы наблюдаем излучение линий водяного пара как раз на длине волны 1,3 сантиметра. Гравитационные измерения, в свою очередь, проводим очень хитрым способом. Мы не используем для этого наше большое 10-метровое зеркало, но используем наш спутник как целое, на борту которого летают водородные часы. Мы сравниваем ход этих часов с ходом часов на Земле и благодаря этому проверяем общую теорию относительности», — делится Юрий Ковалев.

ТРУДНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ

Одна из самых сложных задач, с которой столкнулись создатели проекта «РадиоАстрон», — синхронизация данных, которые измеряются наземными и космическим телескопами. После того, как проведены синхронные наблюдения одного объекта на всех теле-

скопах, данные наблюдения должны быть переданы в единый центр. Его называют корреляционным центром — здесь данные проходят статистическую обработку на суперкомпьютере, для чего необходимо иметь возможность одни потоки данных наложить на другие и синхронизировать с точностью до атомных часов.

Юрий Ковалев поясняет: «Нам нужна точность 10^{-14} секунды за секунду. Это транслируется в уход часов на одну секунду за несколько миллионов лет. Такая стабильность хода часов и привязки наших наблюдательных данных ко времени — это то, что нам нужно, чтобы мы могли решать поставленные задачи. На борту у нас стоят атомные часы российского производства. Они успешно работали в течение первых 6 лет полета спутника. Через 6 лет водород в колбе закончился, и летом 2017 года мы перешли на запасной режим синхронизации, который у нас тоже замечательно работает. Принцип следующий. На Земле у нас есть две станции слежения и сбора научной информации с нашего спутника. Они попеременно смотрят прямо на спутник и получают с борта нашего спутника в режиме реального времени научные данные. Первые 6 лет, пока на борту спутника работали атомные часы, на Земле принимался поток научных данных, в которых уже содержалась привязка ко времени. Сейчас, когда атомные часы завершили свою работу, обе станции слежения работают в режиме так называемой „замкнутой петли“».

В этом режиме используются атомные часы, стоящие на станциях сбора научной информации. К этим атомным часам привязывается излучатель, который излучает очень узкий сигнал на частоте 7 гигагерц. Этот сигнал измеряется спутником, и к его частоте привязывается бортовая аппаратура.

ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

«РадиоАстрон» — первый в нашей стране космический проект, который реализовал принцип открытого доступа. Любой человек может подать научную заявку на получение наблюдательного времени, которую рас-

Наземные радиотелескопы, участвующие в наблюдениях «РадиоАстрона». Источник: Paul Boven (boven@jive.eu)



смагивает программный комитет. Если предлагаемая научная задача оказывается наиболее интересной из присланных, заявка выигрывает, и подавшая ее научная группа получает доступ к наблюдательному времени спутника. Такой подход реализован в большинстве обсерваторий мира.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ

Ожидаемое время жизни, в течение которого спутник должен работать и успешно проводить наблюдения, для «РадиоАстрона» составляет 5 лет. Это оценка, связанная с тем, за какое время электроника начнет отказывать под жестким космическим излучением. И она прожила даже дольше, хотя отдельные блоки спутника уже отказывают. Однако почти каждый элемент и блок спутника реализован двукратно или трехкратно. Если какой-то блок ломается, начинает использоваться его копия.

«На сегодняшний день на борту нашего спутника немало блоков не работает, однако, к счастью, все блоки хотя бы в одном экземпляре все еще имеются, и мы можем продолжать наблюдения и реализацию научной программы в полном объеме. Мы уже проработали почти 7 лет, больше чем 5, которые нам были отведены. Наш спутник был построен очень качественно при том, что технически это один из самых сложных космических астрофизических проектов. И конкурс заявок на научные наблюдения на „РадиоАстроне“ не падает, а только растет, что говорит о все большей заинтересованности российского и международного сообщества в экспериментах, организуемых на нашем спутнике», — заключает Юрий Ковалев.

Есть еще одна оценка — гравитационное время жизни, которое говорит, через какое время спутник может упасть на Землю. На борту у аппарата имеется достаточно большое количество топлива для того, чтобы проводить коррекцию орбиты в случае, если она опустится слишком низко. За все время работы космиче-



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Юрий Ковалев, заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии Астрокосмического центра ФИАН и лабораторией фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ:

«В ближайший год мы будем изучать далекие квазары и сверхмассивную черную дыру в центре нашей галактики. Мы планируем наблюдение областей образования звезд и планет в нашей галактике. Продолжим изучение области водяного пара в дисках галактик. Другой объект нашего внимания — пульсары. Мы будем изучать свойства межзвездной среды, рассеяние излучения в межзвездной среде. На ближайшие годы это не запланировано, но также частью нашей научной программы является наблюдение гравитационных линз. Кроме этого мы проверяем общую теорию относительности, а именно — один из основных принципов, которые заложены в ее основу, — принцип эквивалентности — в рамках наших гравитационных измерений».

ского телескопа его орбита корректировалась таким образом дважды: в 2012 году и в 2017. Это делается для того, чтобы спутник не сближался слишком сильно с Землей и чтобы длительность нахождения спутника в тени Земли, когда он не получает энергии от солнечных батарей, была не дольше четырех часов. На сегодня для коррекции орбиты на борту спутника имеется больше 80% топлива. Таким образом, аппарат может находиться на земной орбите еще многие годы, и когда спутник прекратит свою работу как космический телескоп, он будет безопасно сведен с орбиты и затоплен. Впрочем, как говорят участники проекта «РадиоАстрон», пока об этом не может быть и речи. ■



Астрофизическая обсерватория «Спектр-Р». Источник www.laspace.ru

7 ЛЕТ

Время работы орбитальной обсерватории «РадиоАстрон».

27 ЛЕПЕСТКОВ

Составляют антенну орбитальной обсерватории

199 ЧАСОВ

Период обращения обсерватории вокруг Земли

3 МЕТРА

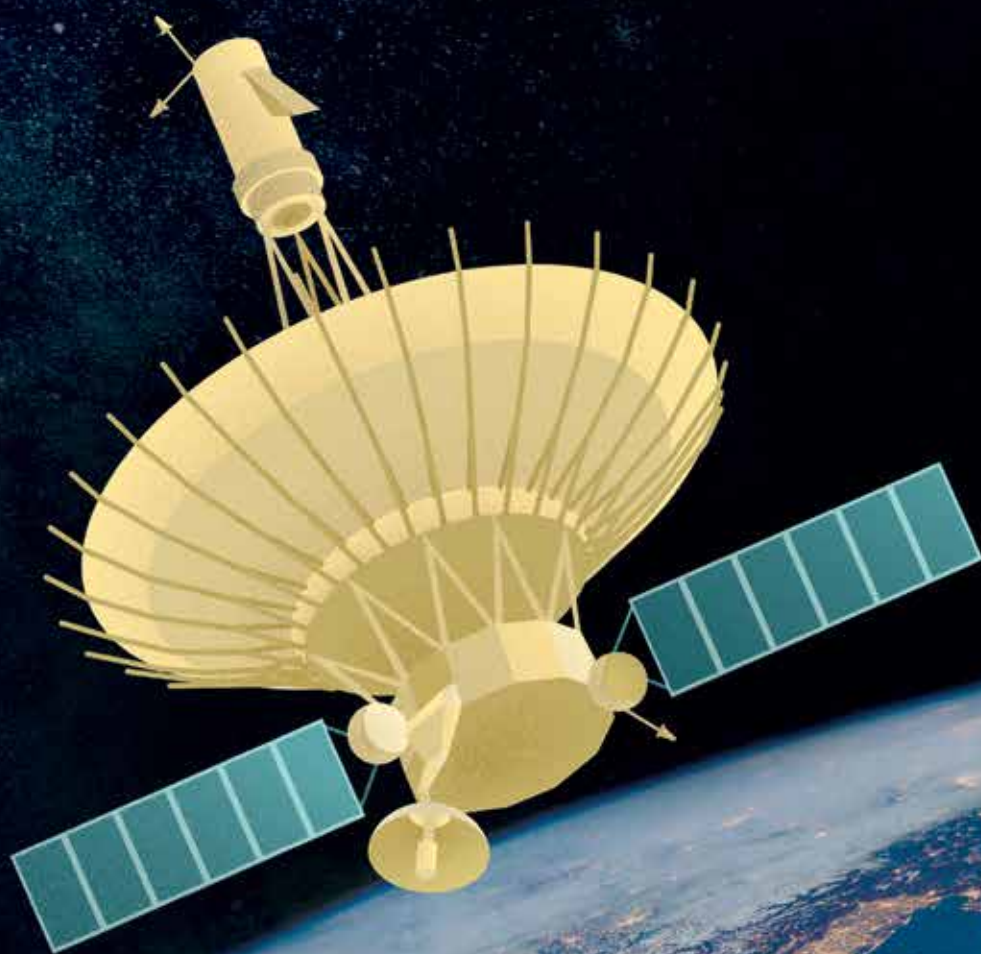
Диаметр центрального зеркала

360 ТЫСЯЧ КИЛОМЕТРОВ

База наземно-космического интерферометра

10 МЕТРОВ

Диаметр зеркальной антенны телескопа



ВСЕЛЕНСКИЙ ОБЗОР

Уже через год на орбиту Земли должна отправиться рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма». В рамках этого проекта планируется провести уникальный рентгеновский обзор всего неба. Предыдущий подобный обзор был сделан почти 30 лет назад немецкой обсерваторией ROSAT. Он проводился в мягком рентгеновском диапазоне с не очень высокой чувствительностью. И необходимость в новом обзоре назрела давно.



Александр Лутовинов, заместитель директора ИКИ РАН и профессор РАН

□ ДОЛГО ЗАПРЯГАЕМ

«Спектр-Рентген-Гамма» (или «Спектр-РГ») — совместный проект России и Германии, который был задуман еще в 80-е годы. Тогда концепция была немного другая. На разрабатываемом спутнике должно было стоять много приборов, которые создавались в разных странах. К 90-м годам почти вся аппаратура была уже изготовлена. Но к этому времени в Советском Союзе стало уже не до космических обсерваторий, и проект не был доведен до запуска. Уже в 2000-е проект возродился в новом статусе. Название сохранилось, а состав научной аппаратуры изменился. Задачей обновленной версии «Спектр-Рентген-Гаммы» является построение карты Вселенной. Запуск космической обсерватории запланирован на март 2019 года.



Сергей Сазонов, заведующий лабораторией экспериментальной астрофизики отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН, профессор МФТИ и профессор РАН

ЧТО НА БОРТУ

Институт внеземной физики общества Макса Планка в Германии изготовил рентгеновский телескоп eROSITA. Уникальность этого прибора заключается в том, что у него достаточно широкое поле зрения и высокая чувствительность. Поэтому полученные с его помощью результаты будут значительно превосходить все, что было сделано ранее. Это крупнейший проект, в котором участвует Германия: стоимость телескопа eROSITA превышает 100 миллионов евро.

Второй телескоп, ART-XC, работает в более жестком рентгеновском диапазоне, является разработкой Института космических исследований (ИКИ) РАН и был изготовлен в сотрудничестве с Саровским ядерным центром. В ходе его разработки в ИКИ впервые в России были изготовлены рентгеновские полупроводниковые детекторы космического исполнения. Сам телескоп и зеркальная система для него разрабатывались в Сарове. Технологии производства таких зер-

кал в России не было никогда — в Сарове за несколько лет эту технологию освоили и развили с нуля. Например, шероховатость полировки должна достигать буквально нескольких ангстрем. И в ходе изготовления этих зеркал на помощь саровским специалистам пришли их коллеги из NASA, у которых технология производства подобных зеркал уже хорошо отлажена. Они изготовили несколько зеркальных систем, причем часть из них сделали за свой счет.

Отличаются эти два телескопа тем, что eROSITA работает в более мягком диапазоне — от 0,15 нм до 5 нм, а ART-XC — чуть жестче, от 0,05 до 0,3 нм. То есть они взаимно дополняют друг друга для решения различных задач.

ОБЗОРНАЯ ЭКСКУРСИЯ ПО ВСЕЛЕННОЙ

Сейчас эти два телескопа уже построены и установлены на спутник. Обсерватория полетит в точку Лагранжа L2. Это на рассто-



Телескоп eRosita на заключительных этапах сборки в Институте внеземной физики общества Макса Планка

янии 1,5 миллионов километров от Земли, если лететь от Солнца. Точка, удобная для проведения обзоров. Там уже сейчас успешно работает несколько других спутников. Спутник будет постоянно вращаться вокруг своей оси, и в течение года эта ось будет двигаться вместе с Землей вокруг Солнца. Благодаря вращению аппарат будет записывать дугу всего неба шириной в 1° за день. Таким образом, за полгода будет составляться карта всего неба. И в течение четырех лет с помощью этого аппарата будет сделано 8 обзоров неба с рекордной чувствительностью и в широком диапазоне энергий. Это даст также и информацию о переменности объектов. Главная цель этого обзора — сделать перепись всевозможных рентгеновских источников и, в частности, аккрецирующих белых карликов.

«Такие объекты называются катаклизмическими переменными: на белый карлик, который находится в тесной двойной системе с другой звездой, происходит аккреция вещества со звезды-компаньона. Такой процесс очень интересно наблюдать в рентгеновском диапазоне. В предыдущих рентгеновских обзорах регистрировалось немного таких объектов — буквально десятки. Новая космическая обсерватория должна увидеть тысячи или даже десятки тысяч катаклизмических переменных. Кроме того будет обнаружено много ранее неизвестных аккрецирующих нейтронных звезд и черных дыр», — считает ведущий научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН, профессор МФТИ и профессор РАН Сергей Сазонов.

После запуска обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» появится гораздо более богатый статистический материал по разным классам объектов. Сперва нужно получить информацию об их существовании путем описанного картирования неба. Затем астрономы смогут наблюдать зарегистрированные в ходе этого обзора объекты более бдительно в других диапазонах длин волн: в оптическом и радиодиапазоне.

ДЛЯ СПРАВКИ

Фотон рентгеновского излучения обладает большей энергией по сравнению с квантами УФ или видимого излучения. Поэтому они могут отражаться от зеркал только при пологих углах падения. Это приводит к более узкому полю зрения рентгеновских телескопов и иной технологии их конструирования.



Космический телескоп «Спектр-РГ»

КСТАТИ

Первый обзор неба в рентгеновском диапазоне провели в начале 1970-х американские ученые при помощи орбитального аппарата Uhuru. Ими было обнаружено 339 рентгеновских источников. В 1990-х годах немецкая космическая обсерватория ROSAT с чувствительностью на 3 порядка выше зарегистрировала более 150000 объектов. Тогда же было обнаружено рентгеновское фоновое излучение, распространенное по всему небосводу. Считается, что большая часть этого фона создается множеством отдельных источников. Разглядеть эти объекты в пелене рентгеновского фона поможет аппарат «Спектр-РГ».

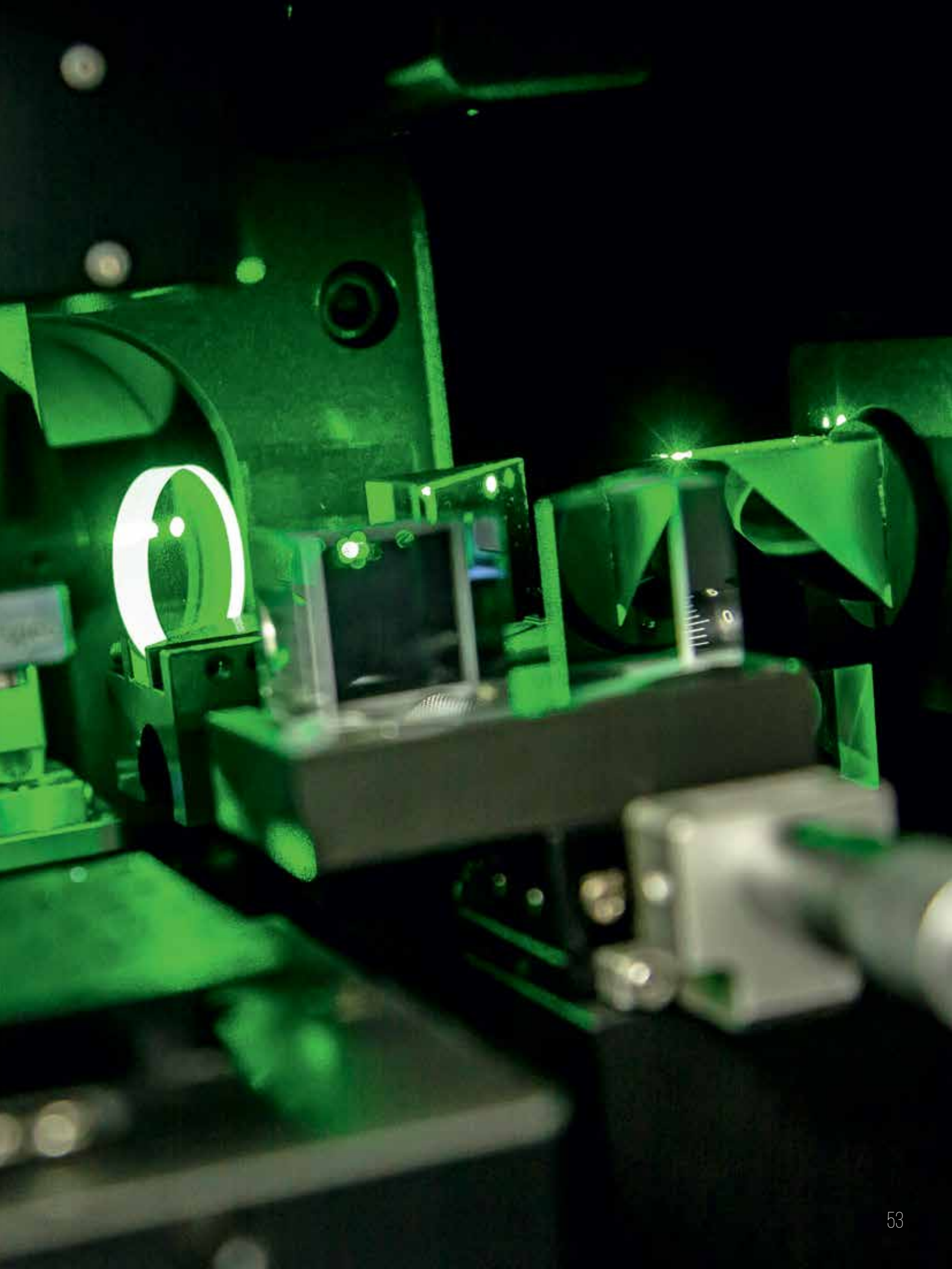
«За время своей работы аппарат достаточно глубоко просмотрит всю Вселенную, и мы должны увидеть около 100 тысяч массивных скоплений галактик, то есть самых массивных объектов во Вселенной. И мы увидим около 3-5 миллионов сверхмассивных черных дыр в центрах других галактик, которые весят миллиарды масс Солнца и светят в десятки миллиардов раз сильнее Солнца. Это что касается далекого космоса. И, конечно, найдем сотни тысяч звезд. Наши объекты будут находиться на разных космологических расстояниях. И одной из задач может стать наблюдение изменения роста сверхмассивных черных дыр по мере увеличения красного смещения, то есть на разных этапах эволюции Вселенной», — рассказывает заместитель директора ИКИ РАН, профессор РАН Александр Лутовинов.

Создатели проекта надеются также увидеть свечения от планет и кометы. Однако в вопросе отождествления обнаруженных объектов будет крайне важна поддержка всего астрономического сообщества. Параллельно с наблюдениями «Спектр-Рентген-Гаммы» должны будут проводиться многочисленные радио- и оптические наблюдения, чтобы устанавливать природу вновь открытых источников. И уже позже из полученных результатов появятся подтверждения тех или иных гипотез о том, как развивалась Вселенная, оценки на темную энергию и другие выводы. ■

 Ксения Цветкова

ЗАХВАТИТЬ ДВУМЕРНЫЙ МИР

Чем известна лаборатория нанооптики и плазмоники? Если попробовать описать ее деятельность одним предложением, то за нанооптикой и плазмоникой скрываются биосенсоры, нанолазеры, однофотонные источники, метаповерхности и даже двумерные материалы. Лаборатория сотрудничает с университетами и исследовательскими центрами многих стран и континентов. Среди российских партнеров можно выделить группы из МГУ, Сколтеха и Университета ИТМО. В планах лаборатории не только научные исследования и разработки, но и их коммерциализация, а также организация первой в России масштабной конференции по двумерным материалам.





Руководитель лаборатории — Валентин Волков, приглашенный профессор из Университета Южной Дании в г. Ольборг. Лаборатория организована в 2008 году по инициативе профессоров кафедры общей физики МФТИ Анатолия Гладуна и Владимира Леймана, при этом большое влияние на ее становление оказали выпускники Физтеха Сергей Божевольный и Александр Тищенко. Сейчас она входит в состав Центра фотоники и двумерных материалов в Физтех-школе фундаментальной и прикладной физики.

«Мы используем подходы, которые хорошо себя зарекомендовали на практике в одних областях исследований, и переносим их в новые области исследований. Например, мы взяли медь, которая хорошо себя зарекомендовала в электронике, объединили ее с двумерными материалами и диэлектриками, и оказалось, что с ее помощью в нанооптике можно делать все, что делали раньше, но гораздо лучше и дешевле», — рассуждает Валентин Волков.

В лаборатории занимаются и теорией, и экспериментом. Здесь есть самое современное оборудование для исследований в ближнем поле — апертурные и безапертурные ближнепольные оптические микроскопы. Они позволяют исследовать распределение электромагнитных полей вдоль поверхностей микро- и наноразмерных образцов на расстояниях много меньше, чем длина волны света, с пространственным разрешением в сотни раз ниже дифракционного предела. Для анализа материалов и образцов используется комплекс инструментов от спектральной эллипсометрии до рамановской спектроскопии. Экспериментальные исследования сопровождаются теоретическими исследованиями и численным моделированием. Объекты для исследований также изготавливаются непосредственно в лаборатории и Центре коллективного пользования МФТИ.

Большое внимание в лаборатории уделяется применению наноматериалов в оптике. Началось все с графена и углеродных нанотрубок (совместно с коллегами из Японии и США), а сейчас здесь работают с диалкогогенными переходными металлами, теллуридом и соединениями на основе германия. Буквально в этом году учеными была запущена установка CVD-синтеза двумерных материалов. В лаборатории категорически несогласны с расхожим для России утверждением, что двумерные материалы — это всего лишь мода, и рассматривают их как ключевой строительный материал для нанофотоники, а также солидарны со словами Андрея Гейма, что и ближайших 50 лет для их изучения будет мало. По словам Фабио Пулицци, главного редактора Nature Nanotechnology, недавно посетившего лабораторию, 30% публикаций в его журнале — это работы, в той или иной степени связанные с двумерными материалами. Конкуренция здесь очень высокая, но это то, что и нужно на Физтехе.

БИОСЕНСОРЫ И ГРАФЕН

Одно из важных направлений лаборатории — высокочувствительные биосенсоры для фармакологии и медицинской диагностики. Напрямую оно связано с плазмоникой — речь идет о плазмонных биосенсорах, — но здесь вступает в игру биология. Для такой работы требуется другая квалификация.

«Мои коллеги специально изучали биологию и химию, чтобы с новым бэкграундом приступить к этой непростой задаче. Биология и химия отлично интегрируются с нашим интересом к практическому использованию двумерных материалов», — рассказывает Валентин Волков.

Недавнее достижение лаборатории — создание графеновых биосенсорных чипов для коммерческих биосенсоров на основе поверхностного плазмонного резонанса. Разработанные чипы демонстрируют значительно более высокую чувствительность, по сравнению с представленными на данный момент на рынке сенсорными чипами. Повышение чувствительности обеспечивается заменой стандартных связующих слоев на графен (или оксид графена), характеризующийся рекордной площадью поверхности. Дополнительным преимуществом разработки является использование в качестве плазмонного металла меди вместо стандартного для таких чипов золота, что позволяет значительно снизить их стоимость, в первую очередь, благодаря совместимости меди со стандартными технологическими процессами (подробнее про биосенсоры читайте на стр. 14).





ОДНОФОТОННЫЕ ИСТОЧНИКИ И НАНОЛАЗЕРЫ

Также в лаборатории проводятся исследования по созданию истинно однофотонных источников света с электрической накачкой — устройств, излучающих одиночные фотоны при пропускании электрического тока. Переход на такие однофотонные технологии не только позволит более чем в тысячу раз повысить энергоэффективность существующих устройств обработки и передачи информации, но и откроет путь к созданию различных квантовых устройств. Другая близкая задача в этой области — создание когерентных источников оптического излучения, работающих при комнатной температуре от миниатюрных источников питания, размеры которых составляют всего лишь сотни нанометров. Такие компактные устройства востребованы в оптогенетике, медицине и электронике.



КОНФЕРЕНЦИЯ В СОЧИ, РОБОТЫ В ДАНИИ

В этом году Валентин Волков организует сессию по двумерным материалам на Третьей международной конференции «Метаматериалы и нанофотоника» (МЕТАНАНО-2018). В конференции примут участие ученые — лидеры в своих областях, а откроет ее выпускник ФОПФ (1982) и нобелевский лауреат Андрей Гейм. У сотрудников лаборатории есть и более амбициозная цель — проведение в России ежегодной масштабной конференции по двумерным материалам.

Этим летом студенты лаборатории отправятся на стажировку в датскую компанию Newtec, с которой лаборатория сотрудничает вот уже несколько лет. Компания не имеет прямого отношения к науке — она занимается разработкой и производством высокотехнологичных роботизированных комплексов для сортировки овощей и фруктов, — однако имеет очень мощный отдел исследований, включающий комплекс лабораторий по изучению двумерных материалов. Эта компания использует графен в создании гиперспектральных камер для высокоскоростной диагностики сортируемых овощей и фруктов. Совместные исследования с датчанами не только помогают лаборатории осваивать новые технологии и подходы в работе с двумерными материалами, но и позволяют посмотреть на мир исследований и разработок совершенно под другим углом зрения. Этому нельзя научиться в университете.

БЕЛЫЕ ПЯТНА НА ЧЕРНЫХ ДЫРАХ

✍️ Ильяна Золотарева

□ «В старших классах школы я достаточно быстро осознал, что мне рано или поздно надоест заниматься вопросами, которые предполагают фактически сервис: работу человека на человека, от кассира в магазине до работы в банке. И я решил, что наука точно не должна наскучить в течение долгого времени. С химией и биологией у меня дела были довольно плохи, чистая математика казалась скучноватой — осталась физика. Но что выбрать в физике? В школьные годы я бывал в разных обсерваториях, и они мне казались такими большими и красивыми, интересными. Именно поэтому я принял решение заниматься астрофизикой», — рассказывает Юрий Ковалев, заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии Астрокосмического центра ФИАН и лабораторией фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ.

Задуманное Юрий Ковалев исполнил, поступив на астрономическое

отделение физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. В 2000 году он защитил кандидатскую под руководством академика Николая Семёновича Кардашёва, через 12 лет — докторскую в Астрокосмическом центре Физического института им. П. Н. Лебедева РАН. Летом 2017 года решил основать астрофизическую лабораторию в МФТИ и подать на конкурс Программы 5-100. Так на Физтехе появилась лаборатория фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной.

ЗАГЛЯНУТЬ В ЦЕНТРЫ ДАЛЕКИХ ГАЛАКТИК

Одна из больших задач, которая стоит перед Юрием Ковалевым и его коллегами, — обнаружить черные дыры. Существует большое количество теоретических предсказаний, которые описывают свойства и поведение черных дыр, и моделей, которые опираются на предположение № 0: «Черные дыры существуют».

Вот, например, в 2017 году Нобелевская премия по физике была вручена за открытие гравитационных волн. С астрофизической точки зрения, гравитационные волны возникают в результате слияния черных дыр. Но как это доказать, если само существование черных дыр еще не подтверждено? Если лаборатории удастся совершить «открытие» черных дыр, это подтвердит правильность предположений о них в большом количестве современных моделей, описывающих многие явления во Вселенной, ее прошлое и будущее.

Как это сделать? Увидеть их невозможно: на то они и черные, что поглощают весь свет. Самый прямой из возможных косвенных способов обнаружить черную дыру — увидеть ее тень. Более того, ученые ожидают увидеть резкий край тени из-за наличия у дыры так называемого горизонта событий. Как известно из школьного курса физики, для того, чтобы какой-то объект покинул орбиту нашей планеты, он должен

набрать вторую космическую скорость величиной 11,2 км/с. У черной дыры вторая космическая скорость равна скорости света на расстоянии гравитационного радиуса от центра. Если вспомнить постулат теории относительности, который гласит, что скорость света — максимальная скорость перемещения, то получается, что свет не может выйти за горизонт событий, и мы должны увидеть резкую границу тени.

«На данный момент радиоинтерферометрия — наиболее вероятный помощник в том, чтобы разглядеть ореол вокруг тени черных дыр, поскольку она позволяет получить высокое угловое разрешение, то есть самую качественную картинку. И мне выпала потрясающая возможность поработать в коллективе, который довел до запуска космический проект „РадиоАстрон“, — говорит Юрий Ковалев.

«РадиоАстрон» помогает исследовать космические объекты с наилучшим уровнем детализации и представлять изображение космических объектов наиболее четко. Для сравнения, его разрешение примерно в тысячу раз лучше, чем у «Хаббла».

Международные научные группы, включая лабораторию в МФТИ, проводят на «РадиоАстроне» свои исследования (подробнее читайте на стр. 46 — прим. ред.). Ученые изучают далекие активные галактики, исследуют облака водяного пара в Млечном Пути и других галактиках. Исследуют свойства межзвездной среды в нашей галактике, проводят даже гравитационные эксперименты, проверяя общую теорию относительности Эйнштейна. Стараются заглянуть в центры как далеких галактик, так и нашей, чтобы увидеть там сверхмассивные черные дыры массой в миллионы и миллиарды масс Солнца.

НОВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

«РадиоАстрону» нужны не только экспериментаторы, которые занимаются наблюдательной астрофизикой, обрабатывают и анализируют научные данные, но и теоретики,



Юрий Ковалев, д.ф.-м.н. Член-корреспондент РАН, профессор РАН, заведующий лабораторией фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ, заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии ФИАН

которые стараются вместе с наблюдателями понять физику природы наблюдаемых явлений.

«Группа в МФТИ как раз сильна связкой между наблюдательным и теоретическим направлением исследований. Наша лаборатория состоит из штатных сотрудников, студентов и аспирантов МФТИ, совместителей из институтов РАН, а также регулярных визитеров из зарубежных научных центров и университетов. Меня интересовало увеличение направлений в рамках проекта „РадиоАстрон“. Увеличить количество научных направлений и научных задач можно только увеличив количество людей, которые этим занимаются», — подчеркивает Юрий Ковалев.

Например, чтобы развить новое направление, связанное с оптической интерферометрией, в лабораторию пригласили Пола Боли из США. Он защитил PhD в Германии, а теперь находится на постдоке в МФТИ. Пол занимается инфракрасной интерферометрией на самом лучшем и единственном в своем роде наземном телескопе VLTI (Very Large Telescope Interferometer).

Сам Юрий занимается экспериментальной наукой на наземных и космических телескопах, но не в оптическом или инфракрасном диапазоне, а в радиодиапазоне. При этом заместитель заведующего лабораторией Елена Нохрина и профессор МФТИ Василий Бескин — сильные теоретики в области активных галактик и пульсаров.

«МФТИ является одним из лучших вузов страны, который выпускает великолепно подготовленных в области физики ребят, — делится Юрий, — и можно сидеть на всем готовеньком. Но если вам нужны специалисты, заточенные под то, чем вы планируете заниматься, а в нашем случае это наблюдательная и теоретическая астрофизика, было бы очень неплохо отбирать студентов и готовить их».

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ КУРСЫ

У лаборатории есть планы активизировать преподавательскую деятельность в МФТИ в области астрофизики вместе как с отечественными, так и с зарубежными специалистами. В апреле этого года МФТИ посетил Станислав Бабак, специалист по гравитационной астрономии, соавтор открытия гравитационных волн, и прочитал 8 лекций вводного курса в гравитационную астрономию (интервью со Станиславом читайте на стр. 68 — прим. ред.).

«Через нашу лабораторию мы хотим активнее приводить в МФТИ ведущих мировых специалистов. Они могли бы читать лекции, работать со студентами. Потенциал и возможности лаборатории на Физтехе очень высоки. Мы приглашаем в лабораторию заинтересованных студентов и аспирантов, для сильных и мотивированных всегда найдется интересная задача», — резюмирует Юрий Ковалев. ■

ЗА НОВОСТЯМИ И СОБЫТИЯМИ
ЛАБОРАТОРИИ СЛЕДИТЕ
НА САЙТЕ RELLAB.MIPT.RU

МЫ ТАКИЕ ОДНИ В РОССИИ

✍ Изабелла Затикиан

Сегодня стартап BestDoctor обслуживает 3200 сотрудников 40 компаний, имеет штаб в 50 человек, и это всего за два года. Как считают сами основатели, успех заключается в том, чтобы находиться на своем месте. О том, как все устроено в компании, мы поговорили с ее сооснователем Филиппом Кузнецовым, аспирантом факультета биологической и медицинской физики МФТИ.

□ КОЛЛЕКТИВНАЯ ЗАБОТА О ЗДОРОВЬЕ КОЛЛЕКТИВА

В России в основном используются следующие модели обслуживания корпоративных клиентов в медицинских учреждениях: через страховые компании и заключение договоров с медучреждениями напрямую.

Здесь есть несколько «подводных камней». Если договор заключен через страховую компанию, она заинтересована, чтобы ее клиент потратил как можно меньше денег и страховая компания получила как можно большую маржу, а медучреждение заинтересовано, чтобы пациенты получали как можно больше медицинских услуг, особенно дорогостоящих. Для контроля обоснованности врач на приеме вынужден постоянно созваниваться со страховой компанией и обосновывать назначение пациенту тех или иных анализов, исследований, консультаций смежных специалистов.

Если договор заключен с лечебным учреждением напрямую, то, напротив, прикрепленные по договору пациенты становятся неинтересны лечебному учреждению. Оно стремится на них сэкономить.

На Западе популярна модель корпоративного самофинансирования self-funding. Это когда компании оплачивают медицинские услуги сотрудникам по факту, а связь с клиниками и обработку счетов обеспечивают технологические провайдеры. Они же делают индивидуальные прогнозы: сколько денег нужно потратить компании на медицинские услуги для коллектива.

БАЗИС И НАДСТРОЙКА

Взяв за основу модель корпоративного самофинансирования, стартаперы разработали систему расчета стоимости полиса, учитывающую большое количество вводных (количество и половозрастной состав сотрудников в компании, географию клиник, риски и ряд других).

Были разработаны специальные формы агентских договоров с клиентами об управлении их бюджетами на медобслуживание, согласно которым клиент переводит на депозит BestDoctor фиксированную сумму денег за каждого сотрудника, а потом каждый месяц контролирует, сколько денег потрачено за прошедший период.

С клиниками тоже была организована упрощенная система работы. Сотрудники клиентов могут записаться на прием в любую клинику из представленного списка, что гораздо удобнее, чем привязка к одному медучреждению. Также базы клиентов BestDoctor интегрированы с базами пациентов клиник.

РАЗВИТИЕ

Начинался проект в 2015 году «на коленке» как букинг-сервис по записи к врачу, а в текущей реализации он существует с лета 2016. Сегодня офис BestDoctor находится в просторном помещении на 9 этаже бизнес-центра «Парк Победы».

В 2016 году BestDoctor по приглашению AddVenture принял участие в конкурсе стартапов Karrov Venture Awards. В октябре 2017 года состоялся второй раунд инвестиро-

ОСНОВАТЕЛИ:



МАРК САНЕВИЧ —
выпускник 2017 года
Факультета
фундаментальной
медицины МГУ



МИХАИЛ БЕЛЯНДИНОВ —
выпускник 2017 года
Факультета
фундаментальной
медицины МГУ



ФИЛИПП КУЗНЕЦОВ —
выпускник 2017 года
Факультета биологической
и медицинской
физики МФТИ

ПРОЕКТ:

СЕРВИС BESTDOCTOR — посредничество между работодателями, оплачивающими медицинское обслуживание сотрудников, и клиниками. Стартовал проект весной 2015 г.

ОСНОВНЫЕ КЛИЕНТЫ — предприятия малого и среднего бизнеса.

СЕЙЧАС У BESTDOCTOR 40 клиентов-работодателей, на обслуживании 3200 сотрудников. Договоры заключены с 783 клиниками, со 100 из них есть интеграция информационных систем.

В 2017 году оборот составил 30 млн руб., а чистых комиссионных BestDoctor заработал 10 млн руб.

вания, в котором приняли участие AddVenture и восемь бизнес-ангелов. Инвесторы вложили в проект 32 млн рублей. На эти деньги был создан call-центр из четырех человек, нанято шесть врачей-консультантов, разработчики и специалисты в клиентский отдел. Всего 40 человек. Сейчас компания планово убыточна. Достичь безубыточности планируется в 2018 году, потом за 3–4 года BestDoctor планирует вырасти в 50–100 раз и к 2022 управлять бюджетами на медобслуживание 180 000 сотрудников, имея собственный коллектив в 200 человек.

ЧТО BESTDOCTOR ПРОДАЕТ?

Во-первых, экономию. Благодаря разработанному в BestDoctor алгоритму расчета стоимости полиса, учитывающему количество сотрудников компании-клиента, их половозрастной состав, то, в какие клиники они ходят, какие услуги хотят получать, географию клиник и так далее, удается более точно спрогнозировать бюджет, который потребуется на медицинское обслуживание. В случае со страховой компанией или медицинским учреждением, если компания заключает договоры с ними напрямую, она должна была бы перевести эти деньги в полном объеме, и если бы ее сотрудники не потратили эту сумму полностью, то остатки ушли бы страховой или медучреждению. В случае с BestDoctor работает другая схема: например, четверть суммы от рас-



Основатели Best Doctor Михаил Беляндин (слева) и Филипп Кузнецов (справа)

считанного бюджета компания перечисляет в качестве первого депозита в BestDoctor. По мере необходимости деньги с этого депозита снимаются. Когда они заканчиваются — компания пополняет счет. Если сумма на депозите не исчерпана — она переходит на следующий период или может быть возвращена. Более того, компания экономит и на количестве полисов: например, если сотрудник уволился, то на его место можно включить другого. BestDoctor же зарабатывает на фиксированной комиссии.

Во-вторых, сервис. У клиентов на сайте есть личный кабинет и операторы, которые могут пациента проконсультировать в выборе кли-

ники, найти там врача и записать на прием. Пациент также может пообщаться в чате или позвонить в call-центр BestDoctor, получить рекомендацию, к какому специалисту обратиться с той или иной проблемой со здоровьем. Также сервис хранит данные о финансовой составляющей оказанных клиниками услуг в личном кабинете компаний. Отсюда и полная прозрачность.

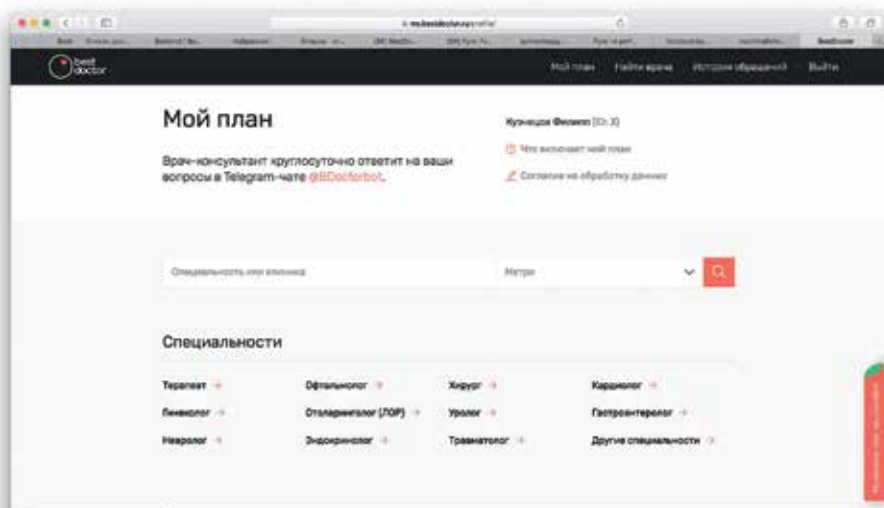
BestDoctor отвечает за расчет прогноза бюджета, поэтому тоже мониторит ситуацию с расходами клиентов. Но пока не было случаев, чтобы лимит был превышен.

КТО КЛИЕНТ?

Основная целевая аудитория сервиса BestDoctor — компании численностью 100–200 человек из сферы IT, потому что их сотрудники не болеют в силу молодого возраста. Также это компании, которые уделяют большое внимание своему HR-бренду. Это те, кому нужна экономия, и те, кому нужен сервис.

В настоящее время BestDoctor разрабатывает ряд новых продуктов, в том числе для крупных компаний и физических лиц. В июле 2018 будет запущено мобильное приложение.

Пока у BestDoctor конкурентов на российском рынке нет, так как этот продукт уникален. ■





«ЖИЗНЬ СОСТОИТ ИЗ СЛУЧАЙНОСТЕЙ»

Андрей Сыкулев — один из тех редко встречающихся счастливых людей, для которых работа — это хобби, а хобби — это работа. Он также уверен, что череда обстоятельств и везение — определяющие компоненты успеха. Мы либо видим возможности вокруг нас, либо нет. Выпускник ФУПМ 1987 года честно признается, что занимался в НИИ ерундой, но подвернувшись в середине 90-х возможность заметил. Так началась история компании «Синимекс» и ее генерального директора.

□ **ОЩУЩЕНИЕ ЧЕГО-ТО НОВОГО, ЧТО ЭТО НОВОЕ КАКИМ-ТО ОБРАЗОМ ПОПАДАЕТ В ТВОЮ ГОЛОВУ И ОТ ЭТОГО ПОЛУЧАЕШЬ КАЙФ** — основное воспоминание со студенческих лет. Я помню это ощущение, особенно на первых курсах, когда тебе раскрываются понятия, о которых ты уже где-то когда-то слышал, но тут начинаешь узнавать, что это на самом деле значит.

СТУДЕНТЫ — НАРОД ИЗОБРЕТАТЕЛЬНЫЙ. В четвертом общежитии как-то раз на 1 апреля повесили чучело. Говорят, коменданта потом еле откачали. А когда я был на старших курсах, какие-то шутники покрасили рельсы черной краской, чем остановили движение электропоездов на несколько часов, потому что машинисту казалось, что рельсы кончились. Было расследование, но никого не нашли, что само по себе фантастически. Никто никого не сдал.

ФИЗТЕХОВСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ СОСТОИТ ИЗ ТРЕХ ВЕЩЕЙ: это фундаментальная базовая подготовка, навыки самостоятельного изучения и полное отсутствие страха перед новым. Если надо что-то прорубить — не проблема, несколько не страшно, что бы это ни было: сел и прорубил.

ОТСУТВИЕ БОЯЗНИ ЧЕГО-ТО НОВОГО ИМЕЕТ БОЛЬШОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ БИЗНЕСА, которым мы занимаемся, потому что живем в такой среде, где новое возникает непрерывно. В информационных технологиях сейчас скорость развития фантастическая.

В НИИ ПРИ ГОСПЛАНЕ Я ЗАНИМАЛСЯ КАКОЙ-ТО ЕРУНДОЙ — так я бы охарактеризовал с нынешних позиций. Мы строили математические экономические модели, анализировали всякие ряды, пытались из этих рядов вывести какие-то закономерности. Наверное, это можно было называть наукой, но у меня сложное отношение к тому периоду и к тому научному заведению, в которое я распределился.

ЖИЗНЬ СОСТОИТ ИЗ СЛУЧАЙНОСТЕЙ. Что называть везением? Как в поговорке: везет тем, кто везет. Я не говорю, что надо сидеть сложа руки и ждать, когда на вас счастье свалится. Вы ищете и находите. Как, опять же, в поговорке, кто ищет — тот всегда найдет. Но все равно это стечение обстоятельств, случайность, которая возникает. Вы ее видите и начинаете использовать. Но я далек от мысли, что стечение обстоятельств возникло в результате моей деятельности.

РОССИЙСКИЙ РЫНОК МЫ ПРОХЛОПАЛИ, ВКЛАДЫВАЛИ УСИЛИЯ В ЕВРОПУ. Когда в начале 2000-х спохватились, здесь было уже много отечественных компаний. Они ушли вперед, и нам пришлось догонять.

ВСЕГДА ЕСТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ КОГО-ТО ПОДВИНУТЬ. Конкуренция на то и конкуренция, чтобы вы, используя преимущества, подвигали или изобретали новые рынки. В 2005 году для нас открылся рынок, на котором мы сейчас работаем, — рынок интеграции программного обеспечения.

У НАС ПЕРИОДИЧЕСКИ ВОЗНИКАЮТ ИДЕИ СОЗДАТЬ СВОЙ РЫНОК, НО ЭТО ГОРАЗДО СЛОЖНЕЕ, ЧЕМ КАЖЕТСЯ НА ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД. Есть такое слово — визионер. Так называют человека, который может предвидеть, что случится в будущем на том или ином рынке. Я себя к ним не отношу. Когда-то у нас в компании был слоган «Вместе быть первыми». Мы потом его переосмыслили и сказали: «Вместе быть лучшими». Мы говорим, что не всегда стремимся быть первыми, но стремимся быть лучшими.

В БЛИЖАЙШИЕ 10 ЛЕТ В БАНКОВСКОМ БЭКЕ НИЧЕГО НЕ ИЗМЕНИТСЯ. Банк как был оптовым торговцем деньгами, так им и останется, сущность не поменяется. Интерфейсы изменятся. Через 10 лет у устройств, которые мы носим в кармане, будет гораздо более богатая биометрия, гораздо больше возможностей сказать своему гаджету, что я это я. Дальше — безопасные соединения, которые позволят практически все банковские операции совершать удаленно.

Я ЖДУ ТЕЛЕПОРТАЦИЮ, ЧТОБЫ НЕ ТРАТИТЬ ВРЕМЯ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ. Наверное, когда-нибудь откроют короткие ходы в кривом пространстве. А может, не откроют.

МЫ ПРИВЫКЛИ, ЧТО ЛЮДЕЙ СО ЗНАНИЯМИ, КОТОРЫЕ НАМ НУЖНЫ, НА РЫНКЕ НЕТ, поэтому смотрим на блеск в глазах, на интеллект, соображалку. Физтехам всегда добро пожаловать, потому что понятно, что у человека, который прошел шестилетнее сито, с мозгами все в порядке.

В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ ИДЕАЛЬНОЕ СОЧЕТАНИЕ — технарь с гуманитарной подложкой или наоборот. Ценится умение общаться, излагать свои мысли, правильно себя вести, умение строить встречи, обсуждать, вырабатывать и принимать решения.

НУЖНО ВЛАДЕТЬ СОБОЙ В ЛЮБОЙ СИТУАЦИИ. Не раскачивать маятники. Это то, что сейчас принято называть «эмоциональный интеллект». Так вот, жизнь доказывает, что эмоциональный интеллект не менее важен для достижения успеха, чем интеллект рациональный. Наполеон когда-то сказал о себе: «Мой гнев никогда не поднимается выше шеи». Это очень непросто, но абсолютно необходимо.

УМЕНИЕ СЛЕДИТЬ ЗА ТРЕНДАМИ — САМОЕ ГЛАВНОЕ В БИЗНЕСЕ. Вы будете всегда понимать, куда надо расти и развиваться. Второе по важности — сохранять способность изменяться, потому что надо меняться, особенно в нашей отрасли. Третье — это люди. Вы должны следить, чтобы в компании была атмосфера, которая способствует развитию талантов, чтобы навыки, которые необходимы сегодня и будут необходимы завтра, были в компании в достаточном количестве.

ЛЮБИМАЯ СТРАНА — ИТАЛИЯ. Как-то раз я натолкнулся на фразу американской, по-моему, писательницы Майи Энджелу: «Я хочу не просто жить, а процветать, и делать это со страстью, с удовольствием, со вкусом». Это про итальянцев.

НАДО НАУЧИТЬСЯ ЦЕНИТЬ КАЖДОЕ МГНОВЕНИЕ. Надо не упустить ту самую возможность, которая приведет вас к успеху и процветанию: со страстью, с удовольствием, со вкусом. ■



ПОСЛЕДНИЙ ГОСТЬ «МИРА»

✍ Анна Дзарахова

Каждое новое интервью — это волнение. Интервью с человеком, у которого за плечами пять полетов продолжительностью 769 суток (а это пятый результат в мире!) — волнение в квадрате. С Александром Калери мы встретились между майскими праздниками в московском звездном городке. Именно здесь, недалеко от Останкинского парка, живет 40 именитых «космических» семей. Планировали поговорить час, а оказалось, что и трех часов недостаточно, чтобы обсудить Физтех, космонавтику, полеты на Луну и на Марс, фильмы про космос и многое другое.

— *Когда вы поступали на Физтех, думали, что станете космонавтом?*

— Думал.

— *Если ребенок хочет стать космонавтом, куда он должен пойти?*

— Сейчас сложно сказать. Я застал полеты всех космонавтов. Плохо помню Гагарина, Титова уже хорошо помню. В 1961 году мне исполнилось пять лет. С начальной школы интерес проявился, но тогда летали только военные летчики, поэтому казалось, что надо идти в летчики. Я был уже в 6–7 классе, когда «Союзы» пошли и начали летать гражданские космонавты. Алексей Елисеев окончил МВТУ с дипломом инженера-механика, а затем аспирантуру в МФТИ. Валерий Кубасов был выпускником МАИ. Стало понятно, что из инженеров тоже попадают в космонавты. В «Справочнике для поступающих в вузы», заботливо открытом на нужной странице, я увидел сначала факультет аэрофизики и космических исследований, а потом уже МФТИ. Так все и решилось.

— *Какие впечатления от учебы на Физтехе остались?*

— Впечатления и воспоминания хорошие, хотя было трудно, особенно первые годы. Первые пять семестров самые тяжелые, поэтому чувствовался подвох, когда в шестом семестре вдруг резко спала нагрузка и казалось, что чего-то мы не понимаем. Оказалось, нет. Просто нагрузка перераспределилась: в институте — меньше, на базе — больше.

Я не знаю всех преподавателей сейчас, но у нас, кого ни возьми, все личности. Одно удовольствие было их слушать. Сергей Михайлович Никольский на матанализе — это отдельный случай. Мало того, как он курс читал, но как он отвлекался и житейские всякие истории рассказывал! А Георгий Васильевич Коренев, профессор на кафедре теормеханики? Это человек-эпоха. Он читал нам курс теоретической механики на втором курсе и всегда говорил: «Вы, аэромехи, механики. Механику должны знать лучше всех».

— *Сложнее было на Физтехе учиться первые три года или в космонавты готовиться?*

— На Физтехе было сложнее. Именно Физтех научил не бояться трудностей и с понимаем и системно подходить к самообучению, к овладению новой информацией и знаниями. Появилась наглость в хорошем смысле — взяться за новую задачу, совершенно новую область, далекую от твоей специальности, и копаться в ней, разбираться.

— *Вы отвечали за отбор космонавтов. Каковы главные критерии? Каким человеком должен быть космонавт?*

— Вопрос очень интересный. Сейчас все больше и больше убеждаюсь, что требования к космонавтам должны немного изменяться в зависимости от программы. История это показала. Полеты первых космонавтов были сложны неизвестностью исхода, риском, малым опытом, а сами по себе полеты были достаточно простыми. Требования там были очень невысокие. Да простят меня ветераны, но я повторяю слова их руководителей тех лет, в частности, Евгения Анатольевича Карпова, который был первым начальником Центра подготовки космонавтов. Первые космонавты, по его мнению, были начинающими летчиками. Все, за исключением двух из двадцати человек, без высшего образования.

Потом задачи усложнялись, и потребовались совершенно другие космонавты. Не случайно во второй набор среди военных летчиков (и уже начали задумываться

→ об инженерах) отбирали людей только с высшим образованием.

Сейчас освоена работа на низкой околоземной орбите, люди там живут постоянно. Но доступ туда затруднен: много народу не пошлешь, часто тоже. Задач много, поэтому космонавту приходится быть универсалом: и швец, и жнец, и на дуде игрец, и еще много чего другого. Естественно, эффективность его работы оставляет желать много лучшего. О выполнении научных исследований можно сказать, что это лаборант со средним техническим образованием. Все делается, в основном, на Земле, все мозги вкладываются в научную аппаратуру и методики выполнения, космонавт там исполнитель. Редко кому удается творчески подойти к этому, и то в отдельных направлениях работы или отдельных экспериментах.

— *Какими должны быть космонавты будущего?*

— При уходе с низкой околоземной орбиты широкого доступа на космическую станцию не будет. Вы не представляете себе, какая поддержка оказывается экипажу с Земли сейчас: постоянная связь, постоянный поток грузовых кораблей. Что нужно привезут, что надо посоветуют. У Луны связь будет, правда, не такая обильная и с секундными задержками, но главное, что столько мегабит в секунду не передашь, как сейчас.

Неизбежное повышение автономности от Земли означает появление новых требований к космонавту, который работает в этих условиях. Он должен быть универсалом, но эрудированным, хорошо образованным, умеющим творчески решать возникающие задачи, причем совершенно неизвестные, потому что он пойдет в новую среду обитания. Это очень серьезный вызов, потому что беда нашей цивилизации в том, что молодое поколение фактически отучается от такого вида деятельности. Все можно в Google найти, везде подсказки, а там их не будет. Готово нынешнее поколение к этому? Не уверен пока. Но это требование для работы, это придется делать. Нужны будут такие люди, которых откуда-то надо брать.

Если к Марсу лететь, все будет еще сложнее. Помимо творческого подхода и анализа, автономность будет еще жестче, потому что там задержка уже десятки минут, а иногда и блокирование прохождения сигнала Солнцем до месяца. Аварийная или экстренная ситуация может случиться в любой момент. Если нет связи с Землей, нам развешивать по всей Солнечной системе ретрансляторы?

Сейчас экипаж вместе с наземными специалистами — это несколько десятков человек, а в марсианской экспедиции их будет от четырех до шести. Все остальное — бортовые вычислительные системы. Они могут серьезно помогать человеку, но эти 4–6 человек должны будут взять на себя фактически все функции Центра управления полетами. Это серьезный вызов, к которому нужно готовиться. Необходимы будут другие космонавты, другие способности и возможности.

— *Поговорим о романтическом. Вы выходили в открытый космос. Можете описать Землю в двух предложениях?*

— Циолковский говорил: «Земля — колыбель человечества». Я бы сказал, что Земля — мать. Не только от открытого космоса впечатление, а вообще из космических полетов образ пришел. Мы находимся в детском периоде, а Земля — наша мать. Как ребенок ведет себя? Что-то случается, что-то угрожает — он прячется за мамкину юбку. Мама защитит, спрячет, поможет. Так и здесь: солнышко вспыхнуло, за Землю в тень зашли — уже легче. Космонавтам рекомендуют на свету держаться в отсеках, где побольше аппаратуры, толщина больше.

— *Какие страхи есть у тех, кто готовится стать космонавтом?*

— У нас был замечательный наставник Сергей Николаевич Анохин. Исключительный летчик-испытатель, Герой Советского Союза, знак «Заслуженный летчик-испытатель СССР» под номером один. Его как-то спросили: «Вы боялись чего-нибудь?» — «Конечно, боялся». — «О чем думали перед особо сложными полетами? Страх был?» — «Страх не было — боязнь была. Думал: „Не осрамиться бы“». По-другому и я не могу ответить: не осрамиться бы.

Мой пятый полет был испытательным. Мы должны были лететь на первом корабле новой серии. Там была глубокая модернизация систем, в первую очередь вычислительной. Совершенно другая архитектура, другие возможности. Могли быть и косяки. Как всегда, сложно шла подготовка. Когда закончили, нам сказали: «Имейте в виду, что мы вам доверяем самое ценное, что у нас есть». Поэтому не осрамиться — это главное опасение, потому что тебе доверили, все ждут результата. Ты просто не имеешь права спасовать и не привезти его или что-то сделать не так. Эта ответственность давит, конечно.

— *Вы летали и на «Мир», и на МКС. Вы последний закрыли люк станции «Мир». Какая станция была ближе, какая нравится больше?*

— «Мир» мне ближе.

— *Вы знали, что будете последним экипажем на «Мире»?*

— Нет. Уходя, мы были уверены, что после нас будет один, а то и два экипажа. Нам говорили это уверенно. Мы полностью выполнили поставленную задачу, привели станцию в хорошее состояние. Там была серьезная неполадка, которую обнаружил предыдущий экипаж: разгерметизация станции. Нам повезло найти проблему, а ликвидация оказалась очень простой. После этого была достаточно кропотливая работа по подтверждению герметичности всех модулей и отсеков, испытания.

После нас на месяц продлили экспедицию. Я вдруг понял, что наконец начался ординарный полет, сумасшедший дом кончился, все вошло в нормальную колею. Несколько хороших экспериментов успели сделать.



Когда уходили, мы оставили хлеб-соль на столе следующему экипажу и письмо, традиция такая с «Салютов» еще. Все это уже оказалось невостребованным. Грустно тогда было, но такова жизнь. «Мир» мне ближе еще и потому, что для меня это первая станция и в ней прошла почти вся моя жизнь. Молодым специалистом я участвовал в некоторых работах по проектированию «Мира», в основном научной аппаратуры. Потом почти всю календарную карьеру космонавта отлетал на «Мире», на МКС был уже следующий этап.

— *Были интересные ситуации, когда вы выходили в космос, были на станции?*

— Смотря что вызывает интерес. Нештатные ситуации разве интересны?

— *Потом о них снимают фильмы. Например, «Салют-7».*

— Мне не очень нравится это, потому что что-то есть нездоровое, на мой взгляд, в том, чтобы не замечать обыденной, но тем не менее героической работы. Я имею в виду не именно космонавтику, а, скажем, шахтеров, кто у станка стоит.

Про «Салют-7» не хочу говорить. Я маленький участник этих событий, в то время был уже кандидатом в космонавты у нас на фирме. Работал, в том числе, в Центре управления во время этого полета. В фильме унизительно то, что совершенно не показаны роль и место Земли в этой работе, а она была определяющей, можно сказать. На борту были золотые руки, инициативные и светлые головы, но основной мозг был на Земле. В кино это группа истериков, которые ничего толкового сказать не могут, а просто переживают и ничем полезным экипажу не помогают. Только стульями кидаются в стеклянные стенки и кричат друг на друга. Это абсолютно не соответствует действительности.

Знали бы вы, какая фантастическая работа была на Земле! Мы лет 15–20 так не работали, и я не помню, чтобы после так работали. В фильме этого совершенно нет.

— *Какой фильм про космос вам понравился, какой посоветуете?*

— Я считаю лучшим фильмом на эту тему «Укрощение огня». Начало 70-х годов, собирательный образ ракетчиков. Страсти, которые кипели, когда все это создавалось. Это не исторический фильм, это видение того времени авторами и консультантами фильма. Есть элементы выдумки, фантазии, но при этом дух передан изумительно.

— *Какая книга повлияла на ваше становление?*

— Книг очень много было, но я до сих пор периодически перечитываю «За миллиард лет до конца света» Стругацких. Она мне очень понравилась, многие моменты помню близко к тексту. Иногда я бросаю все и читаю ее.

— *Что вы пожелаете нынешнему поколению физтехов?*

— Найти себя. Для этого нужно понять, кто ты, зачем ты, свое предназначение. Найти себя и реализовать. Главное — не изменить себе. Хотелось бы, чтобы помнили, что большие дела в одиночку, как правило, не делаются. Сейчас не время одиночек, поэтому важно уметь жить и работать в больших коллективах и ценить дружбу, добрые отношения, команду. Самое главное — решить какую-то задачу, добиться чего-то. Лично для меня неважно, сделаю это я или кто-то другой с моей помощью, моим участием. Главное что это будет сделано. Эта мысль помогает жить. Станиславский говорил: «Умейте любить искусство в себе, а не себя в искусстве». То же можно сказать и про другие отрасли. ■

Полную версию интервью с Александром Калери читайте на сайте mipt.ru/newsblog/.

НОВАЯ ЭРА В АСТРОНОМИИ: ЧТО РАССКАЖЕТ ДЕТЕКТОР LISA О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ

Редакция журнала «За науку» поговорила о перспективах первой космической гравитационно-волновой обсерватории LISA с участником консорциума, соавтором открытия гравитационных волн, приглашенным профессором МФТИ Станиславом Бабаком.

□ Гравитационные волны были предсказаны Эйнштейном еще в 1916 году. Почти через 100 лет, в 2015, два наземных детектора-близнеца LIGO подтвердили их существование экспериментально. Полученные результаты стали подтверждением общей теории относительности и открыли новую эру в астрономии. Теперь ученые смогут изучить сверхмассивные черные дыры, двойные звездные системы в нашей галактике и, возможно, даже разобраться в происхождении Вселенной.

Однако такие амбициозные цели требуют нового подхода. Нам уже не обойтись наземными лазерными интерферометрами по типу LIGO и строящейся в Японии обсерватории KAGRA: необходимо вывести исследовательскую систему в космос. Разработка совместного проекта Европейского космического агентства (ESA) и NASA под названием LISA ведется с 90-х годов и сейчас вошла в новую стадию.

Над LISA начали работать задолго до открытия гравитационных волн. Получается, ученые были уверены, что их детектируют. Почему раньше появилась LIGO, а не LISA?

С самого начала было известно, что у проекта, в отличие от LIGO, есть гарантированные гравитационно-волновые источники. Это двойные белые карлики, которые мы наблюдаем в электромагнитном излучении. Мы знаем период системы, приблизительную массу и другие параметры, поэтому можем оценить гравитационно-волновой сигнал. В этой уверенности заключалась сила LISA, но была и слабость: проект такого рода никогда не реализовывался ранее, поэтому космические агентства боялись над ним работать. LISA представляет собой три взаимосвязанных спутника, которые движутся по большой орбите вокруг Солнца и обмени-

ваются лазерным излучением. Это масштабная миссия класса L стоимостью порядка 1,5 млрд евро. Задержки в реализации LISA связаны с тем, что ЕКА потребовало демонстрацию готовности технологий. Пару лет назад был запущен спутник LISA Pathfinder, который с блеском смог продемонстрировать такую готовность.

LIGO дешевле и проще в реализации, поэтому он был запущен в работу раньше и стал успешным. Но у наземных гравитационно-волновых обсерваторий есть свои ограничения. Они появляются из-за фундаментального ограничения на низких частотах — сейсмических шумов.

Станислав Бабак. Фото Бориса Матвеева





Представление LISA Pathfinder в воображении художника. Иллюстрация: ESA — С. Carreau

LISA свободна от этих ограничений?

Да, за счет конструкции и работы в космосе у нее появляются преимущества. По сравнению с LIGO, которая «ловит» частоты от 10 до 1000 Герц, LISA работает в низкочастотном диапазоне от 0,1 миллигерц до 0,1 герц. За счет этого она может зарегистрировать волны от очень тяжелых долгоживущих объектов, находящихся на широких орбитах. При этом в LIGO сигналы живут очень короткое время, от минут до миллисекунд, и их мало. В прошлый раз в среднем удавалось поймать один сигнал за несколько месяцев. Подключившись же в любое время к LISA, мы будем видеть большое количество сигналов. Это позволит нам детектировать многие источники гравитационных волн, например, сверхмассивные черные дыры.

Наверняка в реализации LISA есть и сложности?

Разница между космическим и земным проектом в том, что все должно быть готово еще до запуска. Я имею в виду не только технологии, но и данные: мы должны заранее знать, как обрабатывать полученную информацию. Группа LISA Data Challenge, которой я руковожу, как раз занимается этой задачей. Мы знаем, что будет представлять собой прибор и как в нем будут соединены составные части, поэтому можем предположить, какие данные придут со спутников. Дальше берем у астрофизиков информацию об источниках и моделируем упрощенные данные, которые увидит LISA: шумы, проблемы и гравитационно-волновые сигналы.

В этом направлении себя может попробовать каждый желающий: данные находятся в свободном доступе, необходимо только зарегистрироваться. Их можно скачать и попытаться самостоятельно «вытащить» гравитационно-

волновой сигнал. Из этого можно сделать интересный дипломный проект, а мы будем рады внедрить придуманные участниками способы обработки.

Какие источники гравитационных волн ожидают увидеть ученые? Что сможет «разглядеть» LISA?

В первую очередь LISA позволит изучать сверхмассивные черные дыры, обнаруживая десятки слияний таких объектов в год. Мы также ожидаем, что она сможет увидеть падение маленького объекта типа маленькой черной дыры или нейтронной звезды в большую, двойные белые карлики в нашей галактике и даже шум от ранней Вселенной. Из более экзотического — космические струны.

При этом LISA сможет увидеть прошлое черных дыр, которые увидит приемник LIGO. Если посмотреть на эти же черные дыры на 10–15 лет назад, то получится гравитационно-волновой сигнал, попадающий в частоту LISA.

Как отличить, что сигнал исходит именно от черных дыр, а не от двойных белых карликов, например?

Мы знаем тип сигнала для каждого объекта и можем найти его в полученных данных. Сложнее определить параметры: например, какие массы были у черных дыр и белых карликов, как именно они вращаются и так далее. Сложность в определении параметров еще состоит в так называемой «cocktail party problem», когда множество сигналов сливается вместе и из «каши» необходимо выделить как можно больше. Правда громкий сигнал, как и громкий голос, легко определить. Например, самый громкий «голос» у массивных черных дыр.



Команда LISA Pathfinder на тренировочной сессии в главном диспетчерском пункте ESA в октябре 2015 года.
Фотография: ESA — CC BY-SA IGO 3.0

А можем ли мы встретить какой-то неожиданный сигнал?

Пожалуй, всегда есть место неожиданности, даже если ты пытаешься моделировать сигнал и вытацишь именно такой сигнал из данных наблюдений. Кто знает? Все-таки мы делаем это в первый раз, так что вполне можем найти то, чего не ожидали. Мы будем проводить поиск, который не опирается на модель определенного сигнала, и искать сигналы, тяжело отделяемые от инструментальных проблем.

В массиве данных, полученных миссией LISA Pathfinder, были так называемые глитчи — импульсные шумовые помехи. Они представляют собой сильные короткоживущие сигналы, которые случились в инструменте. Поскольку мы не знаем, где именно, то не можем их убрать или как-то оценить. Зачастую причина короткоживущих всплесков в LIGO и в LISA неизвестна. Нам предстоит научиться отделять гравитационные волны похожего типа от помех. LIGO работает над этой проблемой, и я подробно слежу за разработкой решения, чтобы попытаться применить его к LISA.

Чем еще могут быть полезны гравитационные волны?

Гравитационные волны станут инструментом в изучении космоса. В этом смысле ученые часто проводят аналогию с кино. Например, можно смотреть фильм и по картинкам догадываться, что там происходит, но если нет звука, это довольно тяжело. Электромагнитная астрономия дает нам то, что мы видим, а гравитационные волны дадут нам «звук».

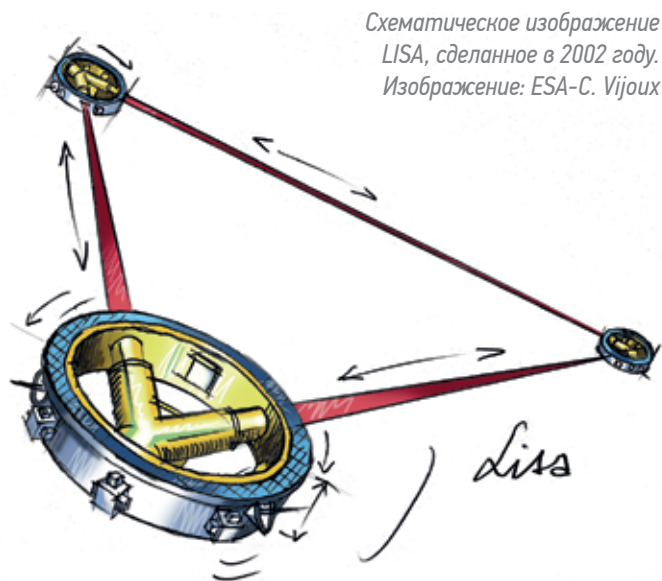
Эта аналогия отчасти возникла потому, что гравитационные волны очень часто возникают там, где мало света. Свету тяжело: он рассеивается и поглощается. С гравитационными волнами этого почти не происходит, поэтому мы видим источник таким, каким он был очень давно. Например, LIGO видит слияние черных дыр, астрономы направляют телескоп в ту область неба, но там ничего нет. Так и должно быть: черные дыры — это вакуум. Чтобы получить электромагнитный сигнал, нужен газ, причем в немалых количествах. Дополнительную информацию из центральных областей галактик дадут только гравитационные волны, электромагнитной астрономии не хватает разрешения и чувствительности. Мы считаем, что в ядрах галактик есть большие плотности, «кладбища» звезд, о которых нам сможет рассказать гравитационно-волновой подход.

К тому же гравитационные волны можно видеть во времени и пространстве чуть ли не с начала образования галактик, поэтому мы сможем проверить предсказания различных теорий гравитации и космологии.

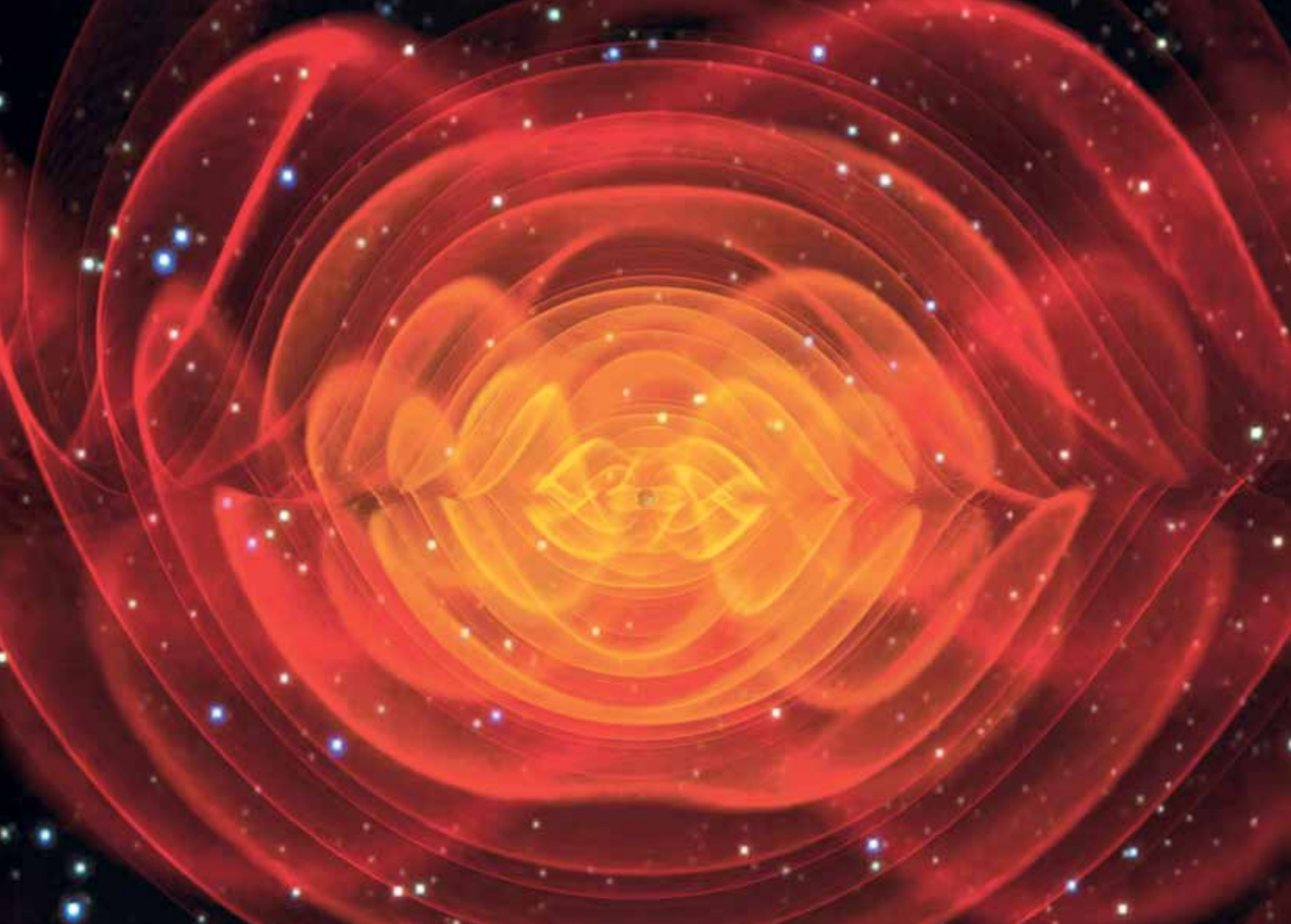
Как ученый может попасть в такой крупный и значимый проект? Расскажите про ваш путь.

В консорциум LISA может войти кто угодно. У проекта есть рабочие пакеты — вопросы, на которые нужно ответить. Если у исследователя на один из них возникнет реакция «о, это интересно, я могу здесь сделать вклад», то можно написать заявление, идентифицировать свою деятельность и войти в проект. Никаких ограничений нет, российские ученые тоже могут это сделать.

Я занимаюсь LISA с 2005 года. Тогда она представляла собой действительно большой проект Европейского космического агентства и NASA и была намного амбициознее. Мне очень понравилась проблема вращения маленькой черной дыры вокруг большой, и я начал



Схематическое изображение LISA, сделанное в 2002 году.
Изображение: ESA-C. Vieux



Гравитационные волны от слияния черных дыр. Изображение: NASA

ей заниматься из интереса, хотя моя основная задача была связана с LIGO. Потом меня вызвал шеф, директор Albert Einstein Institute, профессор Бернард Шутц и спросил: «Хочешь LISA заниматься?» На тот момент мне LIGO очень надоела, и я с удовольствием согласился. То есть я начал заниматься LISA самостоятельно, а потом мой шеф меня официально воткнул в этот проект. Я ему за это благодарен, потому что проект действительно очень интересен с точки зрения физики и астрофизики. Даже обработка данных там мне нравится. Сейчас я пытаюсь находить общие задачи по LIGO и LISA. Это помогает сохранить время, иначе очень тяжело.

Какие есть направления и рабочие группы в проекте LISA?

У LISA есть три основных группы. Инструментальная занимается оборудованием проекта. Вторая группа занимается обработкой данных, которые приходят со спутников на большой телескоп в ESA, и создает каталог источников. Третья — в большей степени научная группа — занимается моделированием гравитационно-волновых источников и разработкой методов


обработки данных. В ней преобладает исследовательская работа: что лучше, что хуже, что мы можем вытащить из сигналов, какие сигналы можем извлечь, какие сигналы ожидаем. Она разделена на три рабочие подгруппы. Астрофизическая команда пытается понять, какие источники могут быть, насколько часто, какие у них могут быть параметры, что из этих данных можно вытащить и сказать про астрофизические модели. Подгруппа фундаментальной физики занимается проверкой общей теории относительности и всей экзотикой, которая возможна. Третья подгруппа — это LISA data challenge, о которой я уже упоминал. Так что спектр вопросов действительно большой, и каждый сможет найти для себя интересную задачу.

Официальный запуск LISA запланирован на 2034 год, но ученые надеются, что это произойдет немного раньше. Изучение гравитационных волн с ее помощью даст огромный потенциал для обнаружения объектов, не видимых другими средствами, а также дополнит наши знания о рождении, эволюции и структуре Вселенной. Нам же остается только терпеливо ждать новых открытий. ■

О рубрике:

В научном сообществе России говорить о построении карьеры пока не принято. Когда о стремлении к должностному и финансовому росту спрашивают студенты или молодые ученые, они часто получают в ответ недоумение со стороны старших коллег, выросших в другой среде и системе ценностей. Напротив, в западном научном сообществе, с которым российская наука пытается конкурировать, о построении карьеры принято говорить открыто.

Мы запускаем рубрику «Карьера ученого», в которой будем публиковать полезные прикладные статьи для тех, кто начинает работать в науке. Надеемся, что сможем помочь новому поколению исследователей избежать ошибок новичка и почувствовать себя востребованными.

 Елена Хавина

КАК ОПУБЛИКОВАТЬ НАУЧНУЮ СТАТЬЮ

Мы живем в эпоху Publish or perish — время, когда успешность исследователя, качество его работы и результаты исследований оцениваются через количество и цитируемость научных статей. На Физтехе учат делать науку, дают теоретический и практический базис. Вопрос того, как результаты работы опубликовать, напротив, отдают «на откуп» научным руководителям. Но кому-то везет с научруком, и ему помогают с первыми публикациями словом и делом, кому-то — нет, и приходится справляться самому.

Корреспондент журнала «За науку» пообщалась с молодыми учеными и составила инструкцию по написанию научной статьи, исходя из предположения, что исследовательская работа уже проведена.

□ **НУЛЕВОЙ КИЛОМЕТР**

До начала непосредственной работы над статьей необходимо разобраться, о чем она будет. Продумайте канву повествования, примите решение, с какой стороны вы будете «подавать» ваше исследование, на что делать упор. Любые результаты можно описать по-разному, и именно то, как вы расставите акценты, вокруг чего «построите историю», определит, насколько широкое распространение получит в итоге ваша работа.

На этом этапе очень полезно пообщаться с коллегами из вашей и особенно смежных областей. Такие разговоры позволят взглянуть по-новому на достигнутые результаты. Когда сможете ответить на вопрос, в чем заключается новизна вашего исследования, в чем его ценность для научного сообщества, приступайте к работе.

ПЕРВЫЙ ШАГ: ВЫБОР ЖУРНАЛА

Вопреки «общим соображениям», начинать работу над научной статьей надо не с написания чернового текста, а с выбора журнала. Дело в том, что у каждого издания свои требования к оформлению публикаций и стилю речи. Одни и те же тезисы в разных журналах принято формулировать по-разному, поэтому, чтобы лишний раз не переписывать текст от и до, сперва выберите журнал, найдите на его сайте рекомендации по оформлению текста и разберитесь в них. Полезно составить список основных требований, выписать принятые в журнале сокращения и обозначения, которые могут понадобиться.

Если вы собираетесь опубликоваться в зарубежном научном журнале, обратите внимание на принятую в выбранном издании стилистику языка. Чтобы попасть в нужное русло, найдите несколько статей по близкой вам теме, прочитайте их. Сделайте пометки около полезных выражений, вводных слов или удачных предложений, которые на ваш взгляд написаны хорошо. Обратите внимание на общую структуру статей, принятую в журнале. Вы вернетесь к этим заметкам, когда будете писать текст.

КАК ВЫБРАТЬ ЖУРНАЛ?

В идеальном случае вам поможет научный руководитель или «старший товарищ». Если с научруком или коллегами не повезло, первое, на что стоит смотреть, — это индекс цитируемости. Чем он выше, тем больше вероятность того, что ваша статья будет популярна среди исследователей, ее будут цитировать. Именно поэтому ученые мечтают попасть в *Science* и *Nature*. Это высокочитируемые журналы, о публикации в них узнают все, и все будут на нее ссылаться. По этой же причине — из-за индекса цитируемости — ученые не стремятся попасть в неизвестный российский журнал при каком-то НИИ. Даже очень добротная статья, опубликованная в таком издании, получит слабое распространение.

Не стоит публиковать статью по кристаллографии в журнале *Atmosphere*, а работа по астрофизике будет

неуместна в журнале, специализирующемся на биохимии. Даже если редактор и рецензенты по какой-то причине пропустят ее в печать, в глазах коллег это все равно будет выглядеть странно.

Здорово оценивайте свои силы и не пытайтесь прыгнуть выше головы: рядовую студенческую работу вряд ли возьмут с порога в топовый научный журнал. Однако если нужно выбрать между изданием послабее, на фоне которого ваша статья будет смотреться сильной, или журналом попрестижнее, в котором работа будет выглядеть не самой крутой, рекомендуем выбрать второе. В таком случае издание будет «тянуть вверх» вас, а не вы будете вытягивать журнал.

ПИШЕМ ТЕКСТ? НЕТ, ПИШЕМ ПЛАН!

После того как журнал выбран, можно начинать работать над текстом. Начните с маленького, но важного шага: напишите на бумаге, о чем будет ваша статья, на что вы обратите внимание, как построите изложение. Иными словами, составьте план статьи и зафиксируйте в нем основные моменты. Кстати, уже на этом этапе вам пригодятся заметки, которые вы сделали на стадии выбора журнала, — план вашей статьи должен соответствовать принятому в выбранном журнале.

В общем случае любая научная статья состоит из Аннотации (Abstract), Введения (Introduction), Методов (Methods), Результатов (Results) и Обсуждения (Discussion). Каждая часть имеет свою внутреннюю структуру. Тут на первых порах вам поможет подражание уже опубликованным в журнале статьям, а также целый ряд методичек и книг по научным публикациям.

Если вы пишете статью на английском, то, например, хорошим учебником по теме можно считать *Cambridge English for Scientists* (Tamzen Armer, Cambridge University Press). Также полезной может оказаться книга *Science Research Writing for Non-native Speakers of English* (Hilary Glasman-Deal, Imperial College London, UK).

На этапе работы над планом также полезно собрать картинки, которые хотелось бы опубликовать в статье. Обычно из картинок получается история, а по ней уже пишется статья.

ТЕПЕРЬ ТЕКСТ

Когда план готов, основные моменты прописаны, приступайте к работе над черновым текстом. Вероятнее всего, сперва все будет идти медленно, вам будет казаться, что ничего не получается, что вы пишете коряво, все знаете, а сказать ничего не можете. Не переживайте: это нормально, через это проходят все. Продолжайте писать черновик, параллельно собирая картинки, если они требуются.

Обратите внимание на структуру изложения внутри абзаца. Если пишете на английском, помните про принцип: один абзац — одна мысль. Причем в первом



БУДЕТ ПОЛЕЗНО

ССЫЛКИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРЕВОДА

Phrasebank.manchester.ac.uk
Victoria.ac.nz -> academic word list
Google Translate
Context.reverso.net
Dictionary.cambridge.org

ССЫЛКИ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ СТАТЬИ

Scopus.com
Researchgate.net
Scholar.google.com
Eurekalert.org
Arxiv.org
Openscience.news

ИНДЕКС ЦИТИРУЕМОСТИ ЖУРНАЛА (ИМПАКТ-ФАКТОР)

Один из двух наукометрических показателей, число, отображающее значимость научного журнала, степень его влияния на научное сообщество. Для различных областей науки различное значение импакт-фактора журнала считается хорошим. Все зависит от популярности направления исследований.

ИНДЕКС ХИРША (H-INDEX)

Второй наукометрический показатель, KPI для ученого. Число h равно количеству статей с количеством цитирования h раз. Например, если у ученого 5 статей, каждую из которых процитировали 5 раз, его индекс Хирша — 5.

ПРО ВРЕМЯ

Публикация научной статьи от момента принятия решения о том, что пора готовить статью, до того момента, когда она выйдет в печать, может занять от нескольких недель до нескольких лет. Если вы работаете над первой статьей полгода и вам кажется, что это очень долго, вспомните, что само ожидание «в очереди» на печать готовой статьи в престижном журнале может занимать год-два.

→ предложении излагается главное, а в остальных — расписываются детали.

Готовый от и до черновой текст полезно после небольшого перерыва прочитать «на свежую голову». Во время прочтения исправьте все, что не нравится. Если не уверены в языке и стройности изложения, повторите эту процедуру еще несколько раз.

Если кажется, что сделать лучше вы уже не можете, покажите текст научному руководителю, коллегам или однокурсникам. По их комментариям и замечаниям поправьте текст, в первую очередь, его смысловую часть. Отметим, что вы не обязаны соглашаться со всеми правками, которые они озвучат. Помните: если вы планируете быть первым автором статьи, ответственность за ее содержание на ваших плечах. Это дает право действовать по своему усмотрению.

КОРРЕКТУРА

Когда смысловая часть готова, можно приступать к борьбе за качество языка. Здесь в первую очередь пригодятся заметки по оформлению статей в выбранном журнале.

Если вы не уверены в своем английском, можете обратиться к профессиональным переводчикам и редакторам. Они за некоторую плату проверят язык. Это нормальная практика.

При работе с переводчиком помните, что вы общаетесь не с ученым, а с человеком, хорошо владеющим иностранным языком. Он не знает физику достаточно, чтобы выступать экспертом в узкой ее области. Это значит, что на мнение переводчика можно полагаться именно в вопросах языка. Результаты его работы надо проверять (в том числе термины), особенно если текст подвергся сильной переработке, поскольку в погоне за чистой речью может быть искажена или потеряна смысловая нагрузка.

РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Готовый, вычитанный текст стоит показать научному руководителю и всем людям, указанным в списке авторов. Вам надо получить подтверждение, что они не против соавторства и согласны на публикацию результатов исследования. Это «обряд» из области профессиональной этики.

Критически необходимо получить разрешение руководителя исследований на публикацию. Это уже не обряд, а обязательная к выполнению формальность. Вы можете не знать всех подробностей, связанных с результатами вашей работы: от заказчика исследований до источника финансирования.

Заручившись согласием всех причастных, отправляйте текст статьи и надлежащим образом оформленные картинки в журнал. В каждом издании это происходит по-разному: где-то через форму на сайте, где-то — прямым e-mail'ом редактору.

Статью лучше снабдить сопроводительным письмом. В нем нужно в нескольких предложениях изло-

жить содержание работы, доказать ее актуальность и объяснить, почему журналу стоит опубликовать работу. Здесь же, в сопроводительном письме, можно указать ученых, к которым вы не хотите попадать на рецензирование. Это ваш шанс избежать необъективной оценки по личным обстоятельствам.

В течение некоторого, как правило, объявленного на сайте издания срока вашу статью рассмотрит редактор. Он примет решение: подходит ли тема исследования журналу, адекватно ли написана статья. Если редактор решит, что статья достойна рецензирования, то вам придет письмо с подтверждением, а сам текст статьи отправится к экспертам.

Рассмотрение статьи может занять от нескольких дней до бесконечности. Дело в том, что рецензенты серьезных журналов — прежде всего практикующие ученые. У них есть свои исследования, а проверка чужих статей не является основной деятельностью.

Так или иначе, в какой-то момент вы получите отзывы как минимум двух рецензентов. Если один из них статью одобрит, а второй нет, то статью покажут еще одному эксперту. В любом случае, если кто-то из рецензентов будет недоволен, текст придется дорабатывать. Ваша работа не будет принята к публикации, пока все рецензенты не дадут на это своего согласия.

КАКИЕ МОГУТ БЫТЬ ЗАМЕЧАНИЯ?

Отзывы могут содержать комментарии любого рода. Кто-то может посчитать вашу работу незаконченной и порекомендовать сделать еще какие-то эксперименты или потребовать дополнительных вычислений. В этом случае, если вы не согласны с мнением рецензента, можно оппонировать. Если получится убедить редактора, что со статьей все в порядке, вы получите одобрение на публикацию.

Бывает, что рецензент недоволен не смысловой частью, но языковой составляющей. В таком случае придется исправлять текст и что-то придумывать.

Кто-то в качестве обратной связи может дать краткое резюме об уровне готовности вашей статьи и полноте исследования, а кто-то, напротив, выдаст десять страниц подробных рекомендаций. В последнем случае не стоит злиться. Прислушайтесь к мнению человека на той стороне. Как правило, советы равнодушного рецензента идут во благо — помогают в отсутствие помощи научного руководителя или коллег довести невзрачную статью «до состояния конфеты».

В любом случае ваша задача — не поспорить с экспертами и победить их, а получить разрешение на публикацию. Если процесс затянется или правок будет слишком много, вашу заявку могут отклонить и отправить на доработку. Тогда всю процедуру надо будет проходить с нуля. Вы попадете к новому редактору и новым рецензентам.

Как только вы получили подтверждение от редактора, что статья принята к публикации, можно считать,

что процесс вышел на финишную прямую. В вопросе взаимодействия с журналом вам остается только ждать выхода статьи. Саму публикацию можно добавить в список ваших статей как принятую в печать.

КАК ДОБИТЬСЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ЦИТИРУЕМОСТИ

Если хочется добиться максимальной цитируемости написанной статьи, советуем приложить еще немного усилий. После того, как статью приняли в печать, в вашей зоне ответственности остается работа над распространением информации о существовании публикации. В первую очередь, зарегистрируйтесь в системе Google Scholar и базе Scopus и добавьте информацию о статье в свой профиль. Так ваши коллеги-ученые быстрее узнают о выходе статьи. Полезно также после выхода журнала опубликовать информацию о статье на сайте Arxiv.org и на Researchgate.

Если хотите получить максимальное освещение вашей публикации, сразу после того, как статью одобрили к печати, обратитесь в пресс-службу или к научным коммуникаторам, чтобы вместе с опытными редакторами подготовить пресс-релиз и добиться попадания достигнутых вами научных результатов в СМИ. Если ваша статья принята в зарубежный научный журнал, пресс-служба поможет написать пресс-релиз на английском языке, который будет размещен в Eurekalert — самой популярной среди научных журналистов базе релизов научных публикаций. Из этой базы информацию для новостей берут редакторы изданий по всему миру. А из новостей в СМИ о достижениях коллег узнают ученые.

Кроме прямой работы со СМИ, распространить информацию о выходе статьи можно через соцсети. Многие издательства следят за постами в twitter и охотно репостят записи ученых о выходе публикаций. За аккаунтами издательств следят другие ученые и журналисты. Таким образом, добившись реакции издательства, вы запускаете «сарафанное радио», и о публикации узнают ваши коллеги.

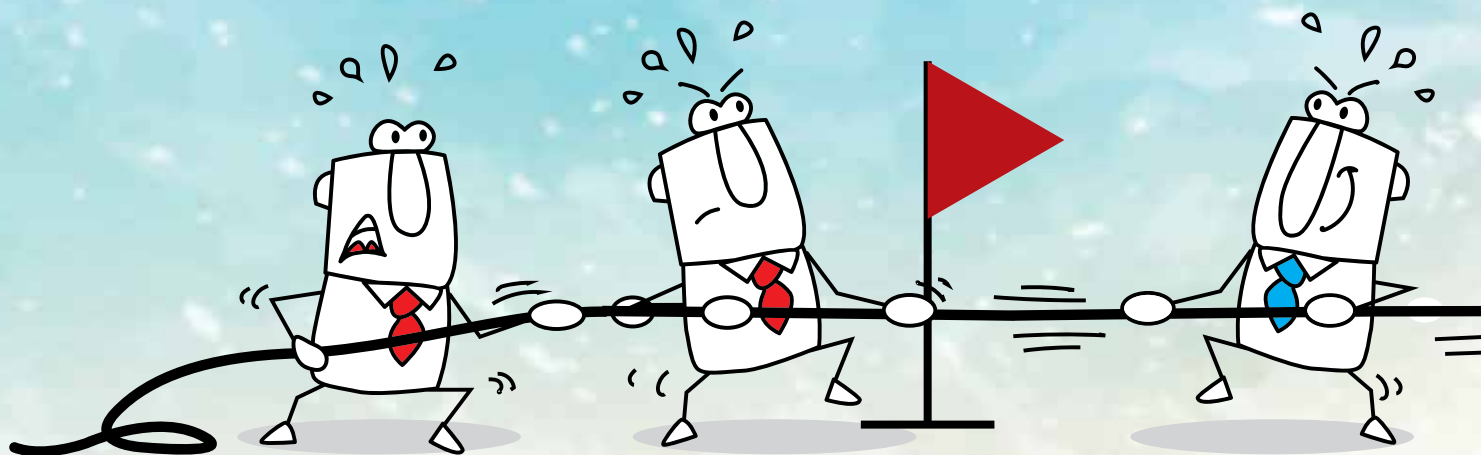
Работа со средствами массовой информации и освещение результатов своей работы на широкую аудиторию, вопреки расхожему мнению, входят в обязанности ученого. Упоминания в СМИ формируют вашу репутацию в глазах коллег и общества, способствуют карьерному росту. Ведь в конечном итоге ученому с высоким индексом Хирша и известным именем куда проще получить гранты и предложения о работе, чем безвестному профессионалу со множеством даже очень добротных, но не нашедших распространения статей. ■

Автор благодарит за помощь в подготовке материала коллег: Валерия Ройзена (МФТИ), Михаила Варенцова (МГУ), Романа Фролова (University of Alberta, Canada), Филиппу Немой (Philip Namoj, Haifa University, Israel).

ВСЕЛЕННАЯ НЕ ДОЛЖНА СУЩЕСТВОВАТЬ!

□ Если бы в начале развития Вселенной не произошел загадочный процесс, приведший к барионной асимметрии, преобладанию вещества над антивеществом, то мир был бы куда скучнее. Есть ряд гипотез, почему так вышло. Одна из них — нарушение CP-симметрии, что могло привести к значительным отличиям между античастицами и частицами, и последних оказалось чуть-чуть больше. Эксперименты по измерению свойств антиматерии крайне сложны ввиду трудностей в ее получении и удержании. Результат одного из них был опубликован в октябре прошлого года в *Nature*: ученые измерили магнитный момент антипротона, который совпал с моментом протона с хорошей точностью. «Вселенная не должна существовать», — под такими заголовками пошел эксперимент в СМИ.

Оригинальная статья: [doi: 10.1038/nature24048](https://doi.org/10.1038/nature24048)

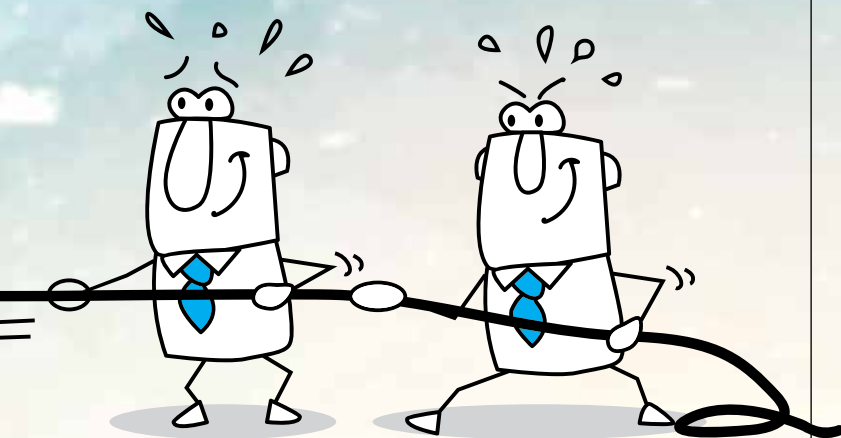
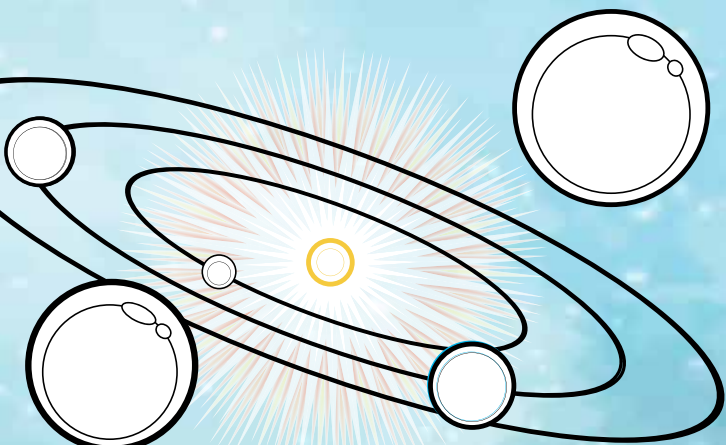


ТИМОФЕЙ УГЛОВ, К.Ф.-М.Н, С.Н.С. ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ МФТИ, ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «ФИЗИКА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»:

Оригинальная статья, вышедшая в *Nature*, посвящена описанию эксперимента по прецизионному измерению магнитного момента антипротона. Точность измерений улучшилась приблизительно в 350 раз. Результаты измерений оказались совпадающими с предсказаниями основной теории физики элементарных частиц — Стандартной модели, господствующей на протяжении последних 50 лет. Таким образом, проведенное исследование лишь подтверждает Стандартную модель. Фразы «All of our observations find a complete symmetry between matter and antimatter, which is why the universe should not actually exist» («Все наши наблюдения показывают полную симметрию между материей и антиматерией, что озна-

чает, что на самом деле наша Вселенная не должна существовать»), распространяемой со ссылкой на одного из авторов исследования, Кристиана Сморру, в статье в *Nature* нет.

Измерения, сделанные группой Сморры, позволяют проверить сохранение одной из фундаментальных симметрий, так называемой CPT-симметрии, т. е. симметрии нашего мира относительно одновременного изменения знака всех зарядов (C), отражения пространственных координат (P) и обращения времени (T). CPT-симметрия лежит в основе Стандартной модели, и обнаружение любых отклонений от нее привело бы к радикальному пересмотру современной картины мира. Что касается возможности создания Вселенной с доминированием материи над антиматерией из изначально симметричного состояния, академик Андрей Сахаров в своей знаменитой статье 1967 года показал, что для этого достаточно соблюдения трех условий: несохранения барионного числа, отсутствия термодинамического равновесия на опре-



деленном этапе развития Вселенной и наличия CP-нарушений (не CPT!). Впервые CP-нарушения были открыты Джеймсом Крониным и Валом Фитчем в 1964 году при изучении распадов нейтральных каонов, а коллаборациями Belle и BaBar в 2001 году — в распадах прелестных мезонов. Оба открытия были удостоены Нобелевской премии (1980, 2008). Открытый механизм CP-нарушения не обеспечивает необходимой асимметрии между материей и антиматерией для существования нашего мира, и прямо сейчас новый эксперимент, Супер-В-фабрика Belle II, в котором принимают активное участие и ученые из МФТИ, приступает к поиску новых источников асимметрии.

Другими словами, следует читать официальный текст статьи, опубликованной в реферируемом журнале. Публикации в около- и ненаучной прессе часто основываются на вырванных из контекста фразах, а их авторы, к сожалению, падки на сенсации.

АЛЕКСЕЙ НЕФЕДЬЕВ, Д.Ф.М.Н., КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АСТРОФИЗИКИ И КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ МФТИ

В журналистике броский заголовок есть половина дела, хотя в данном случае процитированы слова одного из непосредственных участников эксперимента, сказанные для пресс-релиза Майнцкого университета, одной из ключевых структур в коллаборации BASE, которая и сделала обсуждаемое измерение. Что ж, иногда и физикам не вредит дополнительное внимание общественности, насчет чего и следует отнести данное высказывание о том, что Вселенная якобы не должна существовать.

Если говорить о сути проблемы более серьезно, то ничего драматического не произошло. Просто еще один довольно прецизионный тест Стандартной модели не обнаружил отклонения от нее. По крайней мере, на уровне той точности, на которую он мог претендовать. Хорошо это или плохо? С одной стороны, приятно сознавать, что теория, построенная несколькими поколениями физиков, прекрасно работает. С другой стороны, хочется какого-то продвижения вперед, чего-то нового. Очень хочется. Причем самим физикам в первую очередь. Именно поискам «Новой физики», то есть физики за рамками Стандартной модели, уделяется большое внимание при написании физической программы любого современного эксперимента в области физики частиц. И такая физика точно должна быть, потому что Теория Всего, если она существует, явно не ограничивается Стандартной моделью.

Барионная асимметрия является одним из примеров проблемы, решения которой в рамках Стандартной модели нет. Но важно помнить, что различие в свойствах частиц и античастиц, которое искали, но не нашли в данном эксперименте, представляет собой лишь одну из возможностей объяснения такой асимметрии. Результат эксперимента, а его трудно назвать отрицательным, поскольку было проведено очередное высокоточное измерение магнитного момента антипротона, вполне важен и интересен. И он вовсе не означает, что Вселенная не должна существовать. Просто или достигнутой точности эксперимента еще не достаточно, чтобы обнаружить искомый эффект, или искать причину такой асимметрии следует в другом месте — недостатка в моделях и предположениях нет.

Если немного пофантазировать и представить себе, что эксперимент установил бы различие в свойствах протона и антипротона с достаточным уровнем достоверности, то это, разумеется, придало бы мощный импульс развитию теории за рамками Стандартной модели. Но уж точно это не привело бы к «похоронам» ее самой. Она всего лишь официально перешла бы из разряда фундаментальной теории в разряд теории эффективной, то есть работающей в определенном ограниченном интервале энергий. ■

ПИЛОТ ИЗ ДАЛЕКОЙ- ДАЛЕКОЙ ГАЛАКТИКИ

В мае на экраны вышел второй спин-офф знаменитой фантастической франшизы Джорджа Лукаса. Фильм «Хан Соло: Звездные войны. Истории» снял режиссер Рон Ховард, известный по картинам «Игры разума» и «Гонка». Действие происходит во вселенной, где добраться в другие галактики можно за считанные минуты, а жители разных планет устраивают перестрелки на бластерах и гонки космических кораблей. Насколько же похожа эта вселенная на ту, в которой мы живем? Научный сотрудник лаборатории лазерных навигационных систем Эмиль Миликов и аспирант кафедры проблем квантовой физики МФТИ Михаил Ерохин разбирают фильм в нашем материале.

ИМИТАЦИЯ

В кино: Вода в душе на корабле падает вертикально вниз, и персонажи не находятся в невесомости. Подвешенные игральные кости на брелоке качаются с таким же периодом, как у подобных объектов на Земле. Эти сцены иллюстрируют наличие на корабле системы, имитирующей гравитацию в космическом пространстве.

В жизни:

Искусственная сила тяжести в действительности имеет место в науке. В СССР в 1963–1965 годах велся проект «Искусственная гравитация» по приданию космическому кораблю «Восход» вращения вокруг своей оси для имитации силы тяжести на борту. Однако в космос данная система так и не полетела, так как с выходом кораблей «Союз» адаптация системы стала слишком сложной. Дело в том, что создание на борту ускорения свободного падения требует либо очень большого радиуса вращающейся части, либо больших угловых скоростей вращения. Размеры космических кораблей, разумеется, ограничены, так как вывод на орбиту габаритных конструкций как технически, так и финансово затруднителен. А создание больших угловых скоростей вращения связано с возникновением большого момента импульса — корабль станет своего рода гироскопом, его будет сложно отклонить от заданного курса.



СИГНАЛ ИЗ ДРУГОЙ ГАЛАКТИКИ

В кино:

Когда команда отправляется за необработанным коаксиумом, банда мародеров успевает установить на корабль героев передающий маячок. В дальнейшем он позволяет их обнаружить «Тысячелетний сокол» в другой галактике. До этого момента корабль успел преодолеть огромные расстояния. Он прыгал в гиперпространство и оказывался у других планет.

В жизни:

Ослабление сигнала из-за рассеивания в пространстве и угасание скорости электромагнитного излучения не позволили бы обнаружить корабль после таких перемещений. Самой удаленной станцией, с которой поддерживается космическая связь, является «Вояджер-1». Он находится на расстоянии 17 млрд км от Земли.



ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛОДЕЦ

В кино:

После похищения коаксиума из рудников планеты Кессель Хан Соло вынужден пилотировать корабль по опасному маршруту. Одной из главных проблем становится гравитационный колодец вблизи планеты: кораблю не хватает мощности для противостояния притяжению. Однако герои вовремя используют гипертопливо по назначению, что позволяет «Тысячелетнему соколу» вырваться из ловушки и доставить ценный груз.

В жизни:

При движении корабля вблизи гравитационного колодца течение времени для пассажиров должно измениться относительно других персонажей. В нашей Вселенной Драйден Вос смог бы получить коаксиум только спустя десятки лет. Такое искажение времени явно показано в фильме «Интерстеллар».

ГИПЕРТОПЛИВО

В кино: По сюжету фильма герои вынуждены совершить опасную экспедицию и украсть чрезвычайно дорогое гипертопливо, которое называют коаксиумом. Оно даже в малых количествах способно питать целый флот кораблей. Будучи крайне нестабильным и взрывоопасным, коаксиум требует переработки и хранения в определенном температурном диапазоне.

В жизни: По разрушительности коаксиум можно сравнить со взрывом водородной бомбы. Это пример выделения энергии термоядерного синтеза в неуправляемом режиме. Для применения этой энергии ее выделение необходимо контролировать. Такая задача называется управляемым термоядерным синтезом. Считается, что это одно из перспективных направлений в современной энергетике. Как только ученые смогут подобрать материалы, способные выдержать необходимые температуры и давления для слияния легких ядер, человечество смело вступит в эпоху энергетического изобилия.

ПЕРЕВЕРНУТЫЙ ПОЕЗД

В кино:

Герои фильма пытаются выкрасть коаксиум из поезда, вагоны которого располагаются и сверху, и снизу рельс. Часть пути огибает скалу, и состав движется по ней на высокой скорости. Когда поезд преодолевает крутые повороты, то наклоняется под неестественно большим углом.

В жизни:

На вид такое инженерное творение кажется невероятным. Однако стоит вспомнить достижение современной техники — проект Tubular Rail, в котором поезд перемещается в пространстве вообще без использования рельсов. Состав проходит сквозь бетонные кольца на опорах. В них встроены колеса, которые раскручиваются электромоторами. При достаточной жесткости состава вес распределяется по множеству опор, а в фильме может быть распределен по значительной длине рельсов.





Фонд новых форм развития образования под руководством Марины Раковой и ректор МФТИ Николай Кудрявцев подписали соглашение о сотрудничестве в направлении развития совместных образовательных проектов в области геномной инженерии, computer science и образовательных программ по физике



Участники международного пресс-тура на II ежегодном форуме научных коммуникаторов России в МФТИ



12 и 13 мая в бассейне МФТИ прошло 24-часовое командное первенство по плаванию — «Заплыв века». Фото Владислава Пикиневича



Выступление группы Ундервуд в рамках Дней физика МФТИ



Демонстрация опытов. Фото Александра Пау

Математические бои. Фото Николая Магеры



Весенний День открытых дверей на Физтехе



Матч века между командами ФРТК и ФАЛТ, завершившийся со счетом 74:54 в пользу ФРТК



Public talk с Тиной Канде-лаки в МФТИ

Встреча выпускников ФРТК 1993 года. Фото Владислава Пикиневича



Представители 23 стран-участниц II Европейской олимпиады по физике среди школьников на церемонии награждения. Фото Валерии Литвак



biomembranes

@MIPT - OCTOBER 1st - 5th

'18

Международная конференция Биомембраны 2018 1–5 октября, Долгопрудный

Вот уже в четвертый раз на Физтехе пройдет международная конференция Биомембраны, традиционно собирающая ведущих мировых ученых из России, США, Германии, Франции, Нидерландов, Китая, Испании, Италии и Швейцарии.

В этом году событие проходит в рамках серии «Virtual Human – Imaging Across Scales», организованной учеными МФТИ совместно с Университетом Южной Калифорнии, Шанхайским институтом iHuman и немецким исследовательским центром Юлиха.

С 30 сентября по 5 октября также пройдет **Международная школа** «Механизмы старения и возрастных заболеваний».

Регистрация открыта до 14 сентября 2018.

Подробная программа доступна на сайте: biomembranes2018.ru.

**« — КТО У ТЕБЯ? —
СПРОСИЛ Я, ПОНИЗИВ ГОЛОС.
— НИКОГО, — ОТВЕТИЛ ОН.
— НАС ДВОЕ. МЫ И ВСЕЛЕННАЯ»
БРАТЬЯ СТРУГАЦКИЕ,
«ЗА МИЛЛИАРД ЛЕТ
ДО КОНЦА СВЕТА»**