



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN: 1683-9528

I ● Современная циклическая космология.
2023 Революция в науке?

● Озеро Байкал — эльдорадо для учёных, особенно для биологов

● С. А. Тихоцкий, член-корреспондент РАН: Создание отечественного геофизического оборудования и программного обеспечения — задача номер один ● Да будет свет! Тем или иным способом.



В Н О М Е Р Е :

Н. ГОРЬКАВЫЙ — Цикличность Большого взрыва	2
А. ПОНЯТОВ, канд. физ.-мат. наук — Революция или нет?	11
Рефераты (подготовил Л. Ашкинази)	14
Девять значимых событий 2022 года в биологии и медицине (материал подготовил К. Стасевич)	16
О чём пишут научно-популярные журналы мира	28
С. ТИХОЦКИЙ, чл.-корр. РАН — Геофизика: новые задачи и возможности (записала Н. Лескова)	34
Бюро иностранной научно-технической информации	46
М. ТИМОФЕЕВ, докт. биол. наук — Неизведанный Байкал (беседу ведёт Н. Лескова)	50

Специфика экосистемы озера заключается в том, что в этой огромной толще воды есть две неравные зоны. Первая — так называемая фотическая зона, туда проникает свет, благодаря чему происходит цветение мельчайших водорослей и высших водных растений, образуется первое органическое вещество — так называемая первичная продукция. В этой зоне обитает множество организмов, питание которых завязано на эту первичную продукцию. Глубина её максимум 40—50 метров.

Если же мы пойдём глубже, то попадаем в зону сумрака и далее в зону полной тьмы. Это вторая зона — афотическая, куда свет не проникает...

Вести из лабораторий

Плавник как оптическое окно (65). Позднее отцовство может влиять на здоровье детей (66).

В. ФЁДОРОВ, канд. геогр. наук — Солнце меняет климат	68
Л. АШКИНАЗИ, Н. СЪЯНОВА — Что видим? Нечто странное! Защита от... ..	80, 130

«УМА ПАЛАТА»

Познавательный-развивающий раздел
для школьников

А. СДОБИНА — Прогулка вокруг марсианских вулканов (81). М. АБАЕВ, канд. хим. наук — Стекло под ногами, или Как дневной свет попал в подвал (89).	
Наука и жизнь сто лет назад	95
В. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	96
Н. ЕСИПОВИЧ — В траве сидел кузнечик... певчий	100
И. СОКОЛЬСКИЙ, канд. фармацевт. наук — Битый, дутый, воздушный	107
Кунсткамера	110
А. ПЕРВУШИН — Наука о чужих. Жизнь и разум во Вселенной. I. Братья по разуму	112
Маленькие хитрости	126
Ответы на кроссворд с фрагментами	127
Кроссворд с фрагментами	128
А. СТОЛЯРОВ — Продам конец света (фантастическая повесть, начало)	132
Ю. ФРОЛОВ — Ходячие уличные фонари	142

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Эндемики Байкала — рачки амфиподы *Parapallasea borowskii* в процессе спаривания. Жизнь продолжается! Фото К с е н и и В е р е щ а г и н о й, НИИ биологии Иркутского государственного университета. (См. статью на стр. 50.)

Внизу: Для оценки сейсмических рисков важны данные о палеоземлетрясениях, происходивших в глубокой древности. Такие данные получают в ходе полевых исследований геологических структур и затем на их основе проводят реконструкцию напряжений в земной коре. На фото — исследования в долине реки Чуя на Алтае. Фото представлено ИФЗ РАН. (См. статью на стр. 34.)



НАУКА И ЖИЗНЬ®

№ 1

Я Н В А Р Ь

2023

Журнал основан в 1890 году.
Издание возобновлено в октябре 1934 года.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ

ЦИКЛИЧНОСТЬ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Николай ГОРЬКАВЫЙ.

Несомненно, дверь однажды распахнётся, и перед нами откроется сверкающий механизм движения мира во всём великолетии и простоте.

Ч. Мизнер, К. Торн и Дж. Уилер.

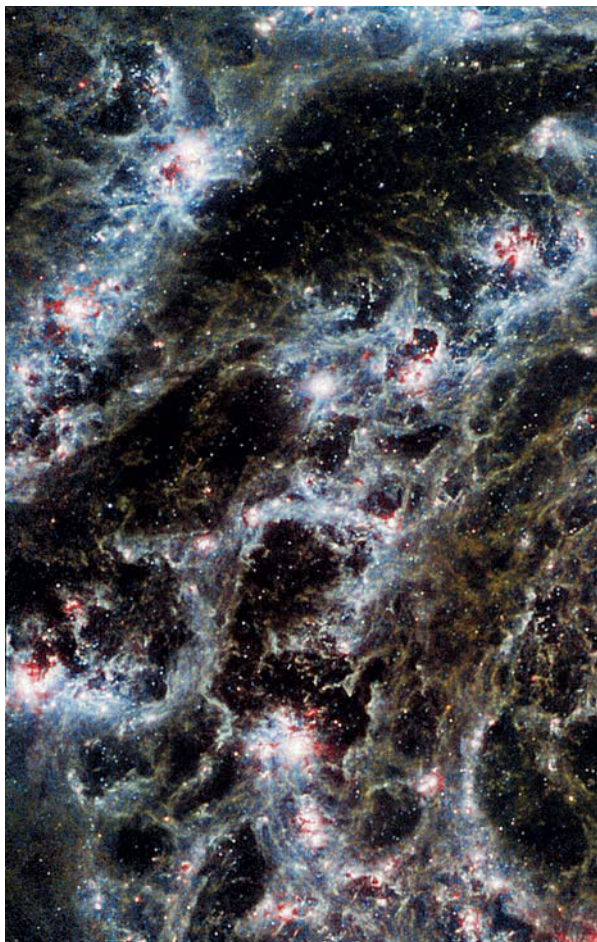
Гравитация

Космология должна отвечать на ключевые вопросы: каков физический механизм Большого взрыва? Как избежать сжатия в точку коллапсирующей Вселенной или любой гравитирующей системы (проблема сингулярности)? Чем вызывается современное ускорение расширяющейся Вселенной (проблема тёмной энергии)?

В космологии Фридмана, которой в декабре 2022 года исполнилось 100 лет, впервые в рамках теории Эйнштейна была рассмотрена периодическая Вселенная. Предположение о цикличности накладывает ограничение на космологические решения: условия, вызывающие Большой взрыв и современное ускорение Вселенной, должны надёжно повторяться в каждом цикле*.

Решение этих сложных вопросов можно найти в рамках классической теории Эйнштейна, не вводя новых полей или измерений пространства, — если правильно интерпретировать важную проблему гравитационной энергии.

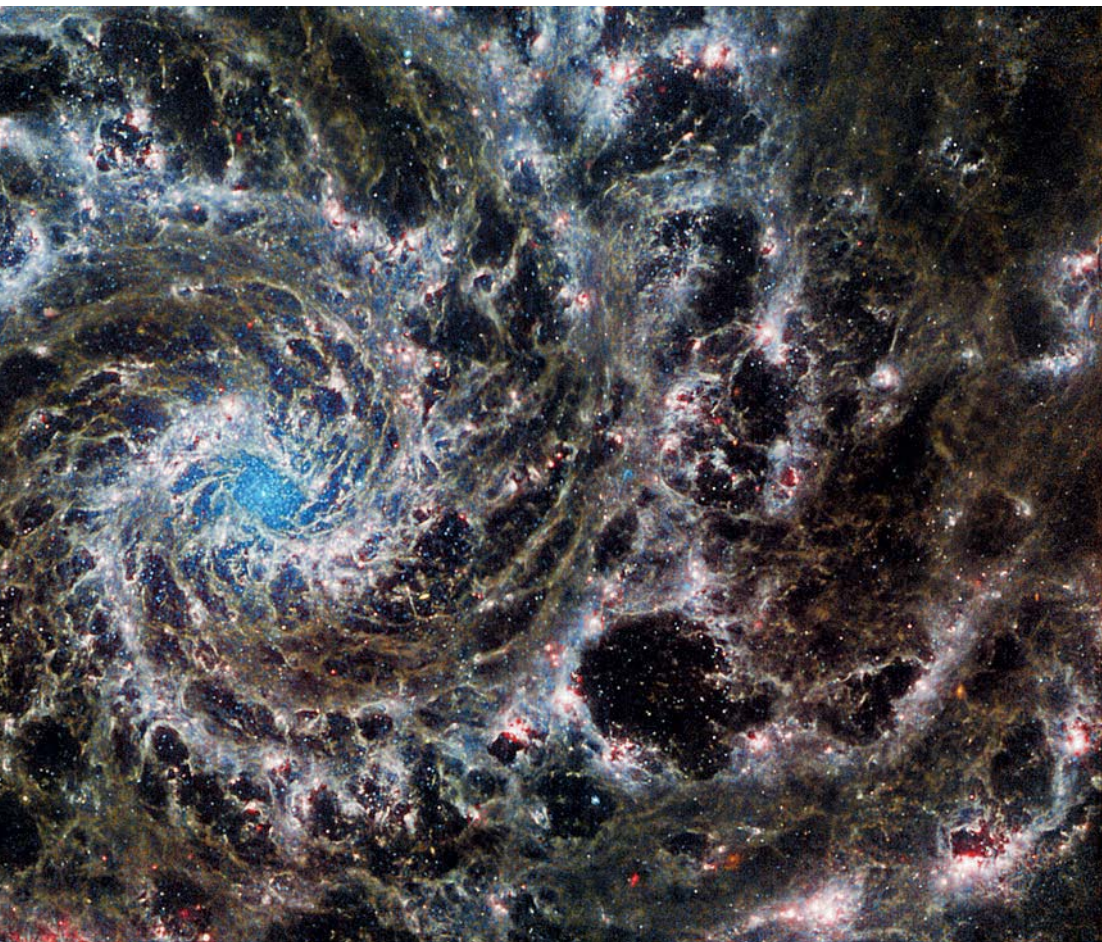
* См. статью: Н. Горькавый. Вселенная, пульсирующая в чёрной дыре. — «Наука и жизнь» № 12, 2022 г.



СТРАННОСТИ ГРАВИТАЦИОННОЙ ЭНЕРГИИ

Вся материя Вселенной имеет положительную энергию: тела, частицы и силовые поля, включая электромагнитное. Единственное исключение — гравитационное поле, которое, согласно теории Ньютона, обладает отрицательной энергией.

Столь странный на первый взгляд результат можно объяснить с помощью закона сохранения энергии. Падающий на Землю камень увеличивает свою положительную кинетическую энергию, тогда его потенциальная энергия должна убывать. А поскольку очевидно, что на бесконечности потенциальная энергия гравитационного взаимодействия должна быть равна нулю,



Источник: ESA/Weber, NASA & CSA, J. Lee and the PHANGS-JWST Team

то при приближении к Земле она должна стать отрицательной.

Но в чём её смысл? Что можно «зажарить» на отрицательной энергии? Великий Максвелл был так поражён фактом отрицательности энергии гравитационного поля, что оставил всякие попытки построения теории гравитации, написав в 1864 году: «Так как я не могу представить, как среда может обладать такими свойствами, я не могу двигаться дальше в этом направлении в поисках причины гравитации».

Странности гравитационной энергии на этом не закончились. В 1915 году Эйнштейн записал уравнения общей теории относительности, рассматривающей гравитационное поле как искривлённое пространство-время, описываемое мет-

Галактика Фантом.

рическим тензором. Причиной или источником искривления пространства-времени в теории относительности Эйнштейна стал тензор энергии-импульса вещества и электромагнитного поля. Но входит ли энергия самого гравитационного поля в число источников или генераторов гравитационного поля?

Изначально Эйнштейн считал, что входит. Неожиданно оказалось, что получить тензор энергии-импульса гравитационного поля, который должен быть инвариантен, то есть не зависеть от выбора системы отсчёта и систем координат, невозможно! Математический объект, который Эйнштейн предложил для описания энергии

Большой взрыв — причина и начало наблюдаемого расширения Вселенной. В настоящее время нет никаких достоверных наблюдательных данных о том, какого минимального размера Вселенная была в начале расширения и каков физический механизм Большого взрыва. Реликтовое излучение, которое является основным источником информации о ранней Вселенной, отражает её состояние в возрасте 380 тысяч лет от момента Большого взрыва.

Гравитационная волна — возмущение (рябь) искривлённого пространства-времени, которое со скоростью света распространяется от нестационарных гравитирующих систем. Двойная чёрная дыра, теряя свою энергию вращения, излучает гравитационные волны, которые инициируют периодические колебания в детекторах гравитационных волн. Если гравитационная масса системы в замкнутом объёме меняется, то рождается монополярная волна, вызывающая радиально направленную антигравитацию или гипергравитацию.

Гравитационная сингулярность — точка с бесконечной плотностью материи, куда должна уст-

ремляться любая коллапсирующая система, так как при сжатии гравитационная сила притяжения становится сильнее всех сил отталкивания, например, связанных с давлением. Считается, что только квантовая теория гравитации может найти выход из этого кризиса. На самом деле теория гравитации Эйнштейна, если её правильно интерпретировать и применять, легко справляется с проблемой гравитационной сингулярности.

Тензор — инвариантная, то есть остающаяся неизменной при преобразованиях систем отсчёта и координат, математическая величина, обобщающая понятие скаляра и вектора. Скалярная величина (например, температура) — это тензор нулевого ранга. Вектор (например, скорость) — это тензор первого ранга, а тензор (или бивектор) энергии-импульса имеет второй ранг и представляет собой совокупность величин, описывающих энергию и импульс материи. Искривлённое пространство-время удобно описывать с помощью метрического тензора второго ранга, который задаёт геометрические свойства пространства (углы в треугольнике, объём

и т. д.) и лежит в основе теории Эйнштейна. Более общее описание пространства даёт тензор кривизны Римана четвёртого ранга.

Уравнения Фридмана — основные уравнения современной космологии, выведенные А. А. Фридманом в 1922 году из уравнений Эйнштейна и описывающие развитие во времени однородной и изотропной нестационарной Вселенной. В уравнения Эйнштейна и уравнения Фридмана можно ввести антигравитирующий лямбда-член с положительной феноменологической космологической постоянной, который будет определять современное ускорение расширяющейся Вселенной.

Ускорение Вселенной — феномен наблюдаемого избыточного красного смещения далёких галактик, который показывает, что они отодвигаются от нас быстрее, чем следует из модели инерциального разлёта Вселенной. Это рассматривается как признак ускоренного расширения Вселенной, но, вероятнее всего, что данный феномен отражает ускоренное растяжение поля галактик, вызванное ростом гравитационной массы замедляющейся Вселенной.

гравитационного поля, не обладал инвариантностью тензора: например, Эрвин Шрёдингер, будущий создатель квантовой механики, показал, что такой объект можно превратить в ноль выбором системы координат. Согласно принципу эквивалентности Эйнштейна, наблюдатель, запертый

в лифте, свободно падающем в искривлённом пространстве, никаким способом не сможет отличить своё пространство от плоского, а своё падение — от покоя. Для него гравитационное поле и его энергия полностью исчезают. Этот феномен называется нелокализуемостью гравита-

ционной энергии. Такое локальное исчезновение энергии гравитационного поля тоже противоречит тензорному описанию энергии: тензор не может обнулиться из-за выбора системы отсчёта или наблюдения. Поэтому величину, характеризующую энергию-импульс гравитационного поля, стали называть псевдотензором.

В 1916—1918 годах среди корифеев физики возникли острые дискуссии. Реальна ли гравитационная энергия? Может ли нетензорная и нелокализуемая гравитационная энергия служить источником тензорного гравитационного поля? После этих дискуссий Эйнштейн изменил своё мнение и с 1919 года стал считать, что гравитационная псевдоэнергия не может быть источником гравитационного поля. Его поддержали А. Эддингтон, Э. Шрёдингер и многие другие физики.

Фактически есть версия общей теории относительности 1915 года с включением нетензорной гравитационной энергии в источники гравитационного поля и позднейший вариант теории от 1919 года, где Эйнштейн навсегда исключил гравитационную энергию из источников искривлённого пространства. До последнего времени разница между этими версиями казалась несущественной, потому что энергия гравитационных волн считалась малой. Но обсерватория LIGO открыла в 2015 году, что слияние пары чёрных дыр переводит около 5% их массы в гравитационное излучение. Превращение за долю секунды нескольких масс Солнца в энергию гравитационных волн актуализировало старый спор — генерирует ли энергия гравитационного излучения новое гравитационное поле?

АНТИГРАВИТАЦИЯ В ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА

Гравитация считается синонимом притяжения. Но в последние годы обнаружен удивительный теоретический феномен: по Ньютону, столкновение и слияние двух чёрных дыр разной массы должно приводить к образованию итоговой дыры, покоящейся в центре масс. Расчёты по теории Эйнштейна дали другой результат: финальная дыра получает толчок в

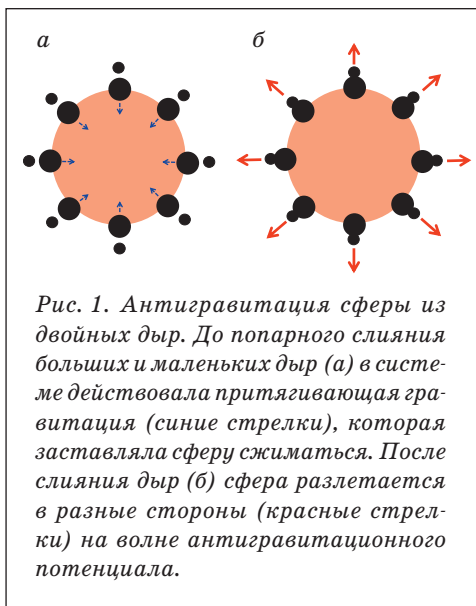


Рис. 1. Антигравитация сферы из двойных дыр. До попарного слияния больших и маленьких дыр (а) в системе действовала притягивающая гравитация (синие стрелки), которая заставляла сферу сжиматься. После слияния дыр (б) сфера разлетается в разные стороны (красные стрелки) на волне антигравитационного потенциала.

Рисунок Николая Горькавого

сторону меньшей из дыр и улетает из центра масс. Если масса крупной дыры в пять раз больше, чем у маленькой дыры, то скорость такой «отдачи» для невращающихся дыр достигает 175 км/с.

Что вызвало эту отдачу? Воронка гравитационного потенциала вокруг массивной дыры и небольшая яма вокруг лёгкой дыры сливаются в несимметричную воронку, которая не успевает выровнять свои склоны из-за конечной скорости распространения гравитационного поля. Эта асимметрия суммарного потенциала и сообщает чёрной дыре значительный импульс. Можно считать, что итоговая дыра оказалась не в минимуме, а на склоне воронки потенциала, по которому она и покатилась в сторону дна, ускоряясь искривлённым пространством-временем, — ведь в рассматриваемой системе нет никаких других сил. Этот эффект отдачи не имеет аналогов в гравитации Ньютона, где потенциал перестраивается мгновенно. Отдачей сливающихся дыр объясняют вылет чёрных дыр из галактик, но значимость этого эффекта гораздо глубже.

Проведём мысленный эксперимент: расположим по поверхности сферы большое количество чёрных дыр. Сфера обладает самогравитацией, и чёрные дыры должны начать падать с небольшим ускорением к центру. Разместим снаружи каждой чёрной

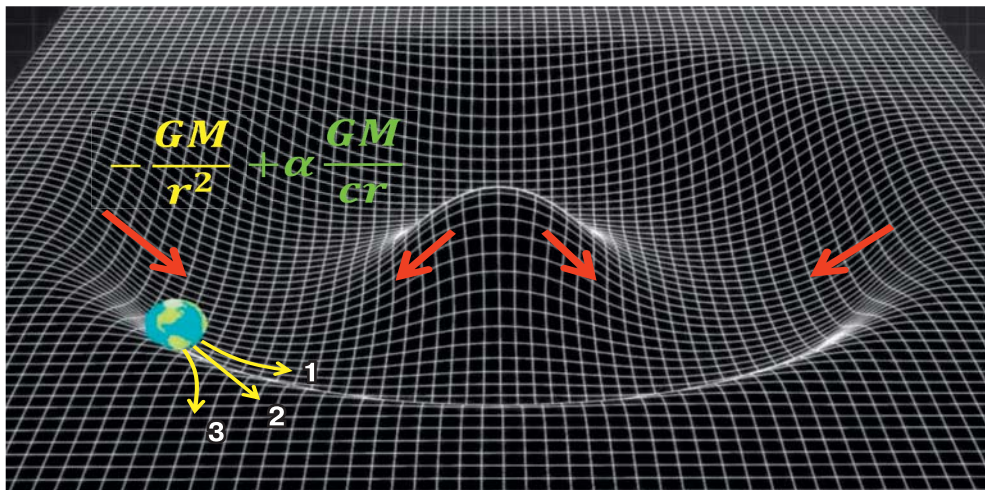


Рис. 2. Антигравитационный пик, или монополярная волна, которая представляет собой симметричное расплывание горбообразного возмущения на месте исчезнувшего Солнца. Формула ускорения из-за ньютоновского притяжения окрашена жёлтым, формула нового антигравитационного ускорения на центральном пике — зелёным. Параметр α отражает скорость изменения гравитационной массы. Стрелка 1 показывает обычное орбитальное движение Земли; 2 — вектор скорости Земли, направленный по касательной к орбите; 3 — движение Земли под воздействием антигравитационного потенциала центрального пика. Красные стрелки показывают направление ускорения тел в данном гравитационном потенциале.

Иллюстрация на основе рисунка Дианы Коверн, 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=DjCS1kRkc6M>.

дыры ещё одну дыру в пять раз меньшей массы (рис. 1), что усилит притяжение сферы. Но если каждая пара чёрных дыр сольётся, то произойдёт нечто парадоксальное: сфера из чёрных дыр начнёт расширяться с огромной скоростью — 175 км/с!

Градиент потенциала, возникшего после слияния дыр, направлен так, что вместо притяжения возникло отталкивание, или антигравитация. Этот мысленный эксперимент опровергает мнение, что гравитация — это синоним притяжения, и доказывает, что в теории Эйнштейна можно получить антигравитацию, не вводя новых сил или квантовых полей. На рис. 1 показана довольно искусственная система со специально заданным расположением чёрных дыр. Она лишь демонстрирует принципиальную возможность появления отталкивающих сил в теории гравитации. Можно ли получить антигравитацию в реальной космической системе, где никто не заботится о упорядоченном размещении чёрных дыр?

Как вывернуть воронку притягивающего потенциала и превратить гравитацию в

антигравитацию в момент коллапса Вселенной? Я много лет обдумывал проблему энергии-импульса гравитационного поля и сопутствующий вопрос: что будет с гравитацией системы из сливающихся, хаотически расположенных чёрных дыр? Часть их массы должна перейти в гравитационные волны. С точки зрения теории Эйнштейна 1915 года, гравитационная масса системы не изменится, а вот по версии теории 1919 года — уменьшится. В мае 2003 года, в короткой заметке в Бюллетене Американского астрономического общества, я показал, что если гравитационная масса замкнутой системы уменьшается, а скорость распространения поля конечна, то в центре воронки гравитационного потенциала вырастает холм, на склоне которого будет не притяжение, а отталкивание (см. рис. 2)*.

* Gorkavyi N. Origin and Acceleration of the Universe without Singularities and Dark Energy. // Bulletin of the American Astronomical Society, 2003, 35, p. 743.

Учёт переменности гравитационной массы модифицирует ньютоновский закон притяжения, добавляя в него новый член, который возникает из-за конечности скорости света. При уменьшении гравитационной массы новая сила описывает «антигравитацию», а при увеличении массы — «гипергравитацию», то есть повышенное притяжение. Новая сила стремится к доминированию в космологических масштабах, потому что падает с радиусом как $1/r$ — медленнее ньютоновского притяжения $1/r^2$. Появление антигравитации в случае уменьшения гравитационной массы иллюстрирует рис. 2. Эта антигравитация имеет такую же природу, как и отталкивающая сила, вызывающая разлёт сферы из дыр (рис. 1).

В 2016 году мне вместе с теоретиком Александром Васильковым, выпускником МФТИ, удалось показать, что выражение для новой силы, ранее выведенное в квазиньютоновском приближении, может быть получено как аккуратное решение уравнений Эйнштейна для случая переменной гравитационной массы*. Такое решение в виде монополярной, то есть радиально распространяющейся неколебательной гравитационной волны (см. рис. 2) было независимо получено польским физиком Марекот Кутчерой в 2003 году, но он не заметил, что такая волна вызывает новую гравитационную силу.

Пик на рис. 2, вызванный уменьшением гравитационной массы центрального тела (исчезновением Солнца), иллюстрирует монополярную волну, которая распространяется во все стороны и генерирует отталкивание для всех объектов в поле своего действия. Аналогичный пример монополярной волны можно найти в гидродинамике: если увеличить в какой-то точке Мирового океана объём воды (солнечным нагревом или появлением воздушного пузыря под водой), то получившийся водяной бугор будет расплываться, распространяясь во все стороны. Слияние чёрных дыр тоже должно генерировать не только обычные

гравитационные волны, но и монополярную волну, отражающую уменьшение гравитационной массы системы на несколько процентов.

К сожалению, монополярная гравитационная волна игнорируется по психологическим причинам: физики или пренебрегают уменьшением массы системы при излучении гравитационных волн, или, вопреки Эйнштейну, считают, что гравитационные волны обладают локальной гравитационной массой, следовательно, при генерации такого излучения масса системы не меняется, а лишь перераспределяется по пространству. На самом деле, как полагали Эйнштейн, Эддингтон, Шрёдингер, Андерсон и многие другие физики, гравитационное поле и гравитационные волны не обладают локальной гравитационной массой. Следовательно, гравитационное излучение уменьшает гравитационную массу системы, и эта переменность массы становится ключевым фактом для построения новой космологии.

ФИЗИКА БОЛЬШОГО ВЗРЫВА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СИНГУЛЯРНОСТИ

Расчёты показывают, что около 1% суммарной массы чёрных дыр при коллапсе Вселенной может превратиться в гравитационные волны, то есть гравитационная масса мира уменьшится на эту величину. Если этот процесс будет достаточно быстрым, то Вселенная испытает сильную антигравитацию и Большой сжатие превратится в Большой взрыв. Как и в теории инфляции, изотропность и однородность Вселенной будут обеспечены ускоренным расширением, только гипотетические квантовые антигравитационные поля в микроскопической Вселенной заменятся на эйнштейновские антигравитационные поля во Вселенной размером в несколько световых лет.

Может ли эйнштейновская антигравитация, отвечающая за Большой взрыв, уничтожить гравитационные сингулярности? Гравитационное притяжение растёт при сжатии системы как $1/r^2$, преодолевая в околосингулярной области другие физи-

* Gorkavyi N. and Vasilkov A. A repulsive force in the Einstein theory. // MNRAS, 2016, 461, 2929—2933.

ческие силы. Но нельзя ли гравитационный коллапс и сингулярность победить с помощью самой гравитации?

Действительно, существуют гравитационные феномены, которые растут при сжатии быстрее притяжения. Приливная сила зависит от радиуса как r^{-3} и вызывает рост флуктуаций плотности или асимметрию сжимающейся системы. Эта асимметрия обеспечивает генерацию гравитационного излучения, которая зависит от пятой степени радиуса системы: r^{-5} . Пятая степень говорит сама за себя: в системе, сжимающейся в 10 раз, притяжение вырастает в 100 раз, а генерация гравитационного излучения — в 100 тысяч раз! Ранее мы говорили об антигравитации из-за генерации гравитационного излучения при слиянии чёрных дыр, но ключевое понятие в этом феномене — гравитационные волны, а сами чёрные дыры — лишь их эффективный источник. Антигравитация возникнет в любой системе, где даже нет чёрных дыр, зато есть быстрый переход материи в гравитационное излучение. Как показывают расчёты, именно такие условия возникают вблизи центра чёрной дыры, куда устремляется коллапсирующее вещество, или во Вселенной в финальной стадии её сжатия.

Генерация излучения переводит массу коллапсирующей системы в гравитационные волны, не дающие вклад в гравитационное притяжение, до тех пор, пока антигравитация не победит притяжение вблизи центра чёрной дыры: ещё один аргумент в пользу того, что наша Вселенная пульсирует внутри большой дыры.

Итак, проблема сингулярности элегантно разрешается в классической общей теории относительности, если учесть мощную генерацию гравитационного излучения, вызванную нарастанием неоднородности коллапсирующей системы из-за приливных сил. Гравитационное сжатие в сингулярную точку нельзя остановить другими физическими силами, зато его можно преодолеть с помощью самой гравитации! Бесконечная плотность вещества в ходе коллапса не достигается: система испытывает антигравитационный импульс из-за уменьшения гравитаци-

онной массы и неизбежно разлетится в разные стороны.

Лучшим судьёй для теоретических споров всегда остаётся природа. Версия теории Эйнштейна 1915 года приводит к невозможности понять механизм Большого взрыва в рамках теории гравитации и к возможности патологического сжатия гравитирующих систем в точку. В то же время общая теория относительности 1919 года легко решает эти и все остальные проблемы космологии, что лишает всякого смысла споры о том, какая трактовка уравнений Эйнштейна правильнее.

СОВРЕМЕННОЕ УСКОРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ И ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Можно предположить, что антигравитация, вызванная уменьшением гравитационной массы, отвечает и за современное ускоренное расширение Вселенной. Такую гипотезу высказал в 2018 году нобелевский лауреат Филип Андерсон. Но есть одна загвоздка: если современное антигравитационное ускорение вызвано тем, что Вселенная «худеет», то такое уменьшение гравитационного притяжения затрудняет остановку её разлёта и переход к сжатию, требуемому для циклической модели.

Для изучения проблемы «тёмной энергии» мы вместе с А. Васильковым в 2018 году получили модифицированные космологические уравнения Фридмана, учитывающие переменность массы Вселенной*.

Исходные уравнения записывались без искусственно введённого Эйнштейном антигравитационного космологического члена, но, благодаря переменности массы, в уравнениях Фридмана появилась красивая симметричная функция от метрического тензора, которая является физическим аналогом феноменологической космологической постоянной.

Модифицированные уравнения Фридмана в первом приближении совпали с классической версией его формул — лишь

* Gorkavyi N. and Vasilkov A. A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass. // MNRAS, 2018, 476, 1384—1389.

с одним изменением: космологическая постоянная превратилась в функцию, зависящую от параметров Вселенной. Это совпадение означает, что космология с переменной массой в первом приближении не противоречит классическим наблюдениям, согласно которым наша Вселенная достаточно изотропна и однородна.

В то же время данные последних лет показывают, что постоянная Хаббла плавно меняется по небосводу с амплитудой в 15% и падает с расстоянием примерно на 10%, что означает заметную анизотропию и неоднородность Вселенной. Как всегда, правильная математическая модель не нуждается в подсказках: в модифицированных уравнениях Фридмана во втором приближении уже появилось новое слагаемое, описывающее слабую анизотропию и неоднородность с амплитудой до 15%, что позволяет объяснить наблюдаемые эффекты.

Исследование новых уравнений Фридмана ещё раз показало: если выбрать верную дорогу, то природа сама позаботится обо всех нерешённых проблемах. Оказалось, что ускорение Вселенной действительно связано с новой гравитационной силой, но не с антигравитацией из-за уменьшения массы Вселенной, как ожидалось, а гипергравитацией из-за роста массы чёрных дыр.

Наблюдаемое ускоренное расширение Вселенной — это в реальности ускоренное растяжение поля галактик. Относительное взаимное ускорение галактик происходит на фоне абсолютного торможения расширяющейся Вселенной. Как это возможно? Обратимся к аналогу гравитационного поля в виде воронки из резиновой плёнки, по склону которой колонна автомобильчиков выбирается из потенциальной ямы. Если шар, растягивающий плёнку, увеличивает свою массу, то воронка будет углубляться, а цепь из автомобильчиков, которые являются аналогами галактик, — растягиваться. Если в колонне задний автомобиль ускоренно отстаёт от переднего, то это можно интерпретировать как относительное ускорение первой автомашины, но возможна и другая интерпретация: задняя машина

тормозится сильнее, чем передняя. Поле наблюдаемых галактик ускоренно растягивается на потенциале тормозящейся Вселенной с растущей массой — так гласит математическое решение уравнений Эйнштейна в виде новых космологических формул Фридмана.

Почему растёт масса современной Вселенной? Потому что между чёрными дырами и фоном гравитационного излучения существует динамический, или колебательный баланс. Когда Вселенная сжимается до размера в десятках световых лет, то многочисленные чёрные дыры начинают массово сливаться и генерировать гравитационное излучение, что вызывает уменьшение массы Вселенной и антигравитацию. При разлёте Вселенной чёрные дыры сливаются лишь изредка, поэтому они начинают расти, поглощая фон гравитационных волн и вызывая увеличение массы Вселенной и гипергравитацию. Это спасает циклическую модель Вселенной: если сейчас её масса растёт, то в будущем её ожидает переход к сжатию.

Раскрытие физического смысла космологической константы позволило оценить энергию фонового гравитационного излучения, определяющего рост массы самой большой чёрной дыры, что и вызывает гипергравитацию, ответственную за наблюдаемую космологическую постоянную (или за «ускорение» Вселенной). В 2018 году в статье, написанной вместе с Александром Васильковым и нобелевским лауреатом Джоном Мазером, были получены первые оценки энергии фона гравитационных волн*.

Плотность поглощаемой энергии гравитационных волн, необходимой для питания вселенской космологической машины, оказалась в несколько раз больше суммарной массы барионного вещества и тёмной материи. Отсюда следует впечатляющая картина Вселенной, энергия которой состоит по большей части из

* Gorkavyy N., Vasilkov A., Mather J. A Possible Solution of the Cosmological Constant Problem. Proc. 2nd World Summit: Exploring the Dark Side of the Universe. Guadeloupe, France, 2018, PoS (EDSU2018)039, 1—6.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ФЕНОМЕНЫ В КОСМОЛОГИИ

Гравитационный феномен	Функция радиуса	Какой теорией описывается	За какие космологические процессы отвечает
Антигравитация и гипергравитация	$1/r$	Теория Эйнштейна	Большой взрыв и ненулевая космологическая постоянная
Гравитационное притяжение	$1/r^2$	Ньютоновская гравитация	Гравитационная неустойчивость и коллапс Вселенной
Приливная сила	$1/r^3$	Ньютоновская гравитация	Несимметричность коллапсирующей системы
Гравитационное излучение	$1/r^5$	Теория Эйнштейна	Изменение гравитирующей массы сжимающейся системы

гравитационного излучения и лишь на меньшую часть — из чёрных дыр, барионов и фотонов. Маятник часов во время качания переводит кинетическую энергию в потенциальную, и наоборот. Маятник Вселенной качается с периодом в триллионы лет, переводя массу чёрных дыр в энергию гравитационных волн, и наоборот.

Мнение, что гравитация — это только притяжение, убедительно опровергается таблицей с описанием разных гравитационных феноменов, существенных для космологии. Такое разнообразие позволяет построить модель циклической Вселенной только на основе гравитационных сил. Эта необычная модель Вселенной содержит лишь хорошо известные науке объекты и поля. В отличие от квантовых космологов, мы не можем произвольно задавать физические свойства компонент Вселенной, чтобы обеспечить желаемую картину мира. Если известные составляющие Вселенной складываются, пусть в неожиданных пропорциях, в непротиворечивую и успешную космологическую модель, основанную на классических физических теориях, то это главный аргумент в пользу реалистичности циклической космологии с переменной массой.

Эйнштейн считал, что Вселенная замкнута и стационарна. Фридман заложил основы циклической космологии, которая доминировала в научном сообществе в XX веке. В новой космологии стационарная модель Эйнштейна и циклическая космология Фридмана—Гамова сливаются в одну универсальную модель, в которой наблюдаемая часть Вселенной пульсирует в огромной стационарной чёрной дыре.

Аналогичную модель Вселенной в чёрной дыре развивает, например, профессор Поплавский из университета Нью-Хейвена (США). В качестве механизма Большого взрыва Поплавский использует неэйнштейновскую теорию гравитации. Но внутри общей теории относительности тоже есть антигравитация.

Чёрные дыры являются главной гравитирующей компонентой Вселенной, а гравитационные волны — её основным энергетическим ресурсом. Эти волны не имеют локальной гравитационной массы, но вносят свой вклад в глобальную гравитацию при поглощении чёрными дырами. Вселенная представляет собой своеобразный маятник в виде системы «чёрные дыры — гравитационные волны». При коллапсе Вселенной гравитационная масса чёрных дыр быстро уменьшается при слиянии дыр и сбрасывании энергии в резервуар гравитационных волн. Это вызывает Большой взрыв. При расширении Вселенной чёрные дыры сливаются редко и растут, поглощая энергию гравитационных волн. Это обеспечивает растяжение поля галактик (феномен положительной космологической постоянной), остановку расширения Вселенной и её коллапс. Циклическая Вселенная — идеально отлаженный часовой механизм!

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ XXI ВЕКА

Космологическая революция нового тысячелетия заменяет одноразовую непрочную Вселенную, тлеющие обломки которой разлетаются по бесконечной

холодной пустыне, на циклическую бессмертную Вселенную, как огненный феникс восстающую из пепла прошлых циклов.

Инфляционная космология базировалась на ряде сильных гипотез, например, о двух антигравитационных квантовых полях, отвечающих за Большой взрыв и за слабое современное ускорение Вселенной. Модель пульсирующей Вселенной не нуждается в гигантских черепахах и волшебных инфлатонах, она основана только на общей теории относительности и на проверенных фактах из квантовой механики и ядерной физики.

Циклическая космология уже получила строгое математическое обоснование. Она использует позднейшую трактовку гравитационной энергии, по которой псевдотензор этой нелокализуемой энергии не может служить локальным источником гравитационного поля. Это не предположение *ad hoc*, то есть принятое специально для решения космологических проблем: такая трактовка общей теории относительности выдвинута Эйнштейном, Эддингтоном и Шрёдингером, и новым является лишь её применение в космологии. Любая новая теория должна содержать нетривиальный элемент, чтобы перешагнуть проблемы старой теории. То, что новым элементом в циклической модели оказалась позднейшая версия общей теории относительности, является плюсом новой космологии.

У циклической космологии немало критиков, указывающих на те или иные, якобы ошибочные, её предположения, например, считающих, что мнение Эйн-

штейна об исключении гравитационной энергии из источников гравитационного поля неверно. Для меня, профессионального физика-теоретика с сорокалетним стажем, очевидно, что на неправильном стартовом предположении нельзя построить столь многогранную теорию, успешно решающую основные космологические проблемы (даже такие сложные, как гравитационная сингулярность и проблема роста энтропии) и предсказывающую новые наблюдаемые эффекты. Модель периодической Вселенной объяснила раннее происхождение сверхмассивных чёрных дыр и накопление тёмной материи из чёрных дыр звёздных масс. Циклическая космология предсказала, что чёрные дыры, сливающиеся при Большом сжатии, порождают низкочастотный фон гравитационного излучения. Это предсказание уже подтвердилось: такие волны наногерцового диапазона открыты в 2020 году по наблюдениям миллисекундных пульсаров*.

По теоретической обоснованности и наблюдательным подтверждениям, современная циклическая космология убедительно выигрывает у модели однообразного мира. Космологическая революция XXI века открывает удивительную, но глубоко логичную Вселенную из массивных чёрных дыр, энергоёмкого гравитационного излучения и небольшой примеси обычной материи, породившей жизнь и пылливый разум.

* Горькавый Н. Осциллирующая Вселенная. Издательство ЧелГУ, Челябинск, 2023 (в печати).

● КОММЕНТАРИЙ

РЕВОЛЮЦИЯ ИЛИ НЕТ?

Общая теория относительности и теория Большого взрыва лежат в основе наших представлений о мире, причём вовсе не из-за преклонения перед авторитетами их создателей или заговора «научной мафии». Они успешно объясняют и, что самое важное,

предсказывают явления, которые впоследствии открывают учёные. Достаточно вспомнить обнаружение в 2016 году гравитационных волн, предсказанных общей теорией относительности столетием ранее (см. «Открытие, которого ждали сто лет», «Наука и жизнь», № 12,

2017 г.). Или открытие в 1965 году реликтового излучения (космического микроволнового фонового излучения), предсказанного Георгием Гамовым в 1948 году в созданной им первой теории Большого взрыва (см. «Долгожданное признание чёрных дыр», «Наука и жизнь», № 11, 2019 г.). В настоящее время эволюция Вселенной связана с концепциями инфляции (быстрого расширения Вселенной) на ранней стадии Большого взрыва, тёмной материи и тёмной энергии. Мейнстримовым направлениям исследований посвящены множество книг и статей, так что у читателей может сложиться неверное представление, что это окончательное и абсолютно истинное мнение науки и поиски других вариантов учёные не ведут.

Статья постоянного автора нашего журнала, известного астрофизика Николая Горькавого опровергает это заблуждение. Общеизвестность каких-либо теорий не означает их неизменность и безошибочность. У них всегда есть свои проблемы, поиск решения которых ведётся постоянно. Так что на сегодняшний день физики, включая Н. Горькавого с коллегами, разработали множество альтернативных теорий гравитации и космологических моделей. В истории науки не раз бывало, что общепринятые теории в той или иной мере устаревали.

Циклическая Вселенная, у которой периоды расширения сменяются сжатием, модель в космологии не новая, но до сих пор недоказанная. Первые её варианты появились ещё в 1930-х годах. Кстати, Большой взрыв как расширение после сжатия (большой отскок) рассматривал и его автор Г. Гамов. С развитием инфляционной модели в 1980-е годы, которую Н. Горькавый называет одноразовым Большим взрывом, циклическая концепция на некоторое время отошла на второй план, но начала возрождаться в начале XXI века, когда появились идеи обхода критики Ричарда Толмена, указывающей на бесконечное накопление в ней энтропии. Правда, новые теории были весьма экзотичны и связаны с гипотетической теорией струн и фантомной энергией.

Н. Горькавый предложил новый механизм циклической эволюции Вселенной, остающийся в рамках хорошо проверенной общей теории относительности Альберта Эйнштейна. Однако в отличие от других теорий (например Роджера Пенроуза), в нём нет сингулярности и полного уничтожения сжатием предыдущего варианта Вселенной не происходит. Ключевую роль в большом отскоке здесь играют чёрные дыры и, неожиданно, — гравитация.

Суть процесса в том, что при сжатии происходит слияние чёрных дыр, превращающее часть их массы в гравитационные волны, которые массы не имеют. Это приводит к эффекту, аналогичному антигравитации, что и порождает новый цикл расширения Вселенной — Большой взрыв-отскок. При этом необратимый коллапс не происходит и сингулярность не достигается. Однако Вселенная сожмётся до размера в несколько световых лет и нагреется до нескольких десятков миллиардов градусов, а ядра тяжёлых элементов распадутся до отдельных протонов и нейтронов. Поэтому при расширении рождение привычной Вселенной по сути начнётся заново.

В дальнейшем огромная центральная чёрная дыра размером порядка светового года и с массой в триллионы масс Солнца и более мелкие чёрные дыры будут поглощать излучённые при Большом взрыве гравитационные волны и увеличивать свою массу, тормозя расширение. Когда же эта масса станет достаточно большой, расширение пространства-времени завершится и начнётся сжатие. Вселенная ведёт себя словно грандиозный маятник, в котором масса чёрных дыр сначала частично преобразуется в гравитационные волны, а затем происходит обратный процесс.

Важнейшее достоинство новой модели в том, что она не требует экзотического квантового механизма инфляции и сопутствующих процессов, а для объяснения таких явлений, как ускоренное расширение Вселенной, её анизотропия и непонятное раннее появление в ней сверхмассивных чёрных дыр, нет необходимости привлекать неизвестную

тёмную материю и тёмную энергию. Инфляции и тёмной энергии в новой теории вообще нет, а тёмная материя, по мнению Н. Горькавого и целого ряда других учёных, состоит из чёрных дыр, которые по большей части достались нам из прошлого цикла Вселенной. Какие аргументы в пользу этого имеются?

В 2016—2021 годах астрономы, работающие с детекторами LIGO, Virgo и KAGRA, сообщили о регистрации уже 90 гравитационных волн, возникших при слиянии чёрных дыр и нейтронных звёзд. В 85 случаях в слиянии участвовала хотя бы одна чёрная дыра с массой более десяти масс Солнца (в 65 случаях такими были обе чёрные дыры). Высокая частота подобных слияний означает, что чёрных дыр столь большой массы очень много — больше, чем ожидается в результате эволюции звёзд.

Аномалии в строении галактик, движении звёзд в них и ряд других явлений астрономы сейчас связывают с невидимой тёмной материей в галактическом гало. Николай Горькавый и лауреат Нобелевской премии по физике 2006 года Джон Мазер также своими расчётами показали, что чёрные дыры массами в десятки масс Солнца вполне могут играть эту роль. Проблема лишь в том, откуда там возьмётся нужное количество столь массивных чёрных дыр? К тому же, подавляющее большинство огромных звёзд рождается вблизи центра галактик.

Обнаружение в дальнем космосе древних галактик породило проблему необъяснимого раннего появления сверхмассивных чёрных дыр в их центрах. Они непонятным пока способом успели набрать огромную массу уже в первые сотни миллионов лет существования Вселенной. Неясно, как они могли успеть поглотить нужное количество вещества.

Все эти проблемы легко решаются новой теорией, благодаря наследованию чёрных дыр от предыдущего цикла эволюции Вселенной.

Видимое ускоренное расширение Вселенной в настоящее время, которое приписывают тёмной энергии, Горькавый объясняет увеличивающейся грави-

тацией (гипергравитацией) чёрных дыр. Кроме того, становится понятно почему скорость расширения Вселенной, характеризующаяся постоянной Хаббла, вдали от нас (по наблюдениям космического телескопа «Планк» за реликтовым излучением) меньше, чем вблизи (по наблюдениям космического телескопа «Хаббл» за звёздами в окрестностях Млечного Пути). Ведь если скорость расширения Вселенной связана с её массой, а не с тёмной энергией, то в разное время она будет различаться.

Новая концепция объясняет и наблюдаемую анизотропию Вселенной, которая проявляется в наличии так называемой Оси зла в реликтовом излучении, в распределении по небу ориентации осей галактик и ряде других явлений. Обычная фридмановская космология, как и теория инфляции, предполагает изотропность возникающей Вселенной, в то время как в данной модели она изначально не изотропна, поскольку в ней присутствует центральная сверхмассивная чёрная дыра. Предположительно, она расположена в районе созвездия Секстант. По величине ускоренного расширения Вселенной можно оценить её размер в миллиард световых лет, а массу в миллиарды триллионов масс Солнца. Судя по всему, она увеличилась в миллиард раз с начала отскока.

Н. Горькавый уверен в революционности своей гипотезы и, сразу скажем, имеет на это основания. Однако у физиков есть известная шутка, которая иногда приписывается академику Л. Д. Ландау: «Космологи часто ошибаются, но никогда не сомневаются». Автору ещё придётся решить проблемы, которые неизбежно возникнут при развитии и широком обсуждении теории. К тому же, концепция циклической теории не отвечает на вопрос о её первоначальном возникновении и причине отсутствия антивещества. И, разумеется, гипотеза станет полноценной теорией, когда сделанные ею предсказания будут подтверждены астрономами в новых наблюдениях.

Кандидат физико-математических наук Алексей ПОНЯТОВ.

Попросите школьника назвать ферромагнетик, и он ответит — железо, студент добавит никель и кобальт, кое-кто вспомнит про гадолиний и его соседей... Но графен? Впрочем, от него можно ожидать чего угодно.

Графит, как известно, диамагнетик, причём хороший: в поле неодимового магнита монокристаллический графит даже левитирует, то есть висит в воздухе. Исследователи из Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе (Санкт-Петербург) изготовили композит на основе матрицы из полистирола с внедрёнными в неё графеновыми хлопьями. Этот композит подвергался вибрационному воздействию с акустической частотой в течение нескольких часов. В результате происходило разделение на фрагменты иглообразной формы, длиной 50—100 мкм и шириной 5—10 мкм, и плоские фрагменты большего размера, порядка нескольких сотен микрометров. Далее было обнаружено, что при комнатной температуре иглообразные фрагменты сильно притягиваются к полюсу постоянного магнита, то есть ведут себя как

ферромагнетики, а плоские фрагменты слабо отталкиваются от полюса магнита, то есть ведут себя, как и положено, диамагнитно.

Исследование показало, что кривая намагниченности иглообразных фрагментов — это петля гистерезиса, слабо зависящая от температуры в диапазоне от 5 до 300 К, при этом намагниченность насыщения существенно превосходила значения для графена, ранее найденные другими авторами. Для плоских фрагментов также была получена гистерезисная кривая, однако намагниченность оказалась на три порядка меньше и наблюдались некоторые черты, характерные для сверхпроводников второго рода (которые при температуре ниже критической способны пропускать магнитный поток в виде квантованных вихрей).

Кажется, от графена действительно можно ожидать чего угодно.

Ионов А. Н., Волков М. П. Намагниченность иглообразного графена, внедрённого в матрицу полистирола. Письма в ЖТФ, 2022, вып. 16, с. 7.

ТРЕПЕЩЕТ НА ВЕТРУ

Осень, листья романтично трепещут на ветру... А если это не листья, а элементы конструкции здания или моста? Листья могут отрываться, в материалах конструкций при знакопеременных нагрузках будут накапливаться дислокации, потом возникнут и трещины. Так что вопрос — какие и почему возникают колебания — очень даже важный.

Сотрудники Санкт-Петербургского государственного университета стали подвешивать горизонтально на пружинах в аэродинамической трубе (диаметр сопла 1,5 м, скорость воздушного потока до 40 м/с) длинные деревянные бруски с разным прямоугольным поперечным сечением. Перемещение брусков определяли по натяжению пружин, которое

измеряли тензометрически, то есть по сопротивлению полупроводникового датчика. При включении потока возникают два режима колебаний тел: поступательные колебания в направлении, перпендикулярном бруску и скорости потока, то есть вверх-вниз, и вращательные колебания вокруг продольной оси. Оказалось, что бруски с отношением высоты к ширине поперечного сечения 0,22 предпочитают вращательные колебания. Увеличение отношения высоты к ширине до 0,36 ведёт к уменьшению амплитуды вращательных колебаний и появлению поступательных. Диапазоны существования вращательных и поступательных колебаний перекрываются. Дальнейшее увеличение отношения высоты к ширине до 0,43 сопровождается