

ежемесячный научно-информационный журнал

В мире науки

scientific american

тема номера:

№12 2004

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

ПРОДОЛЖАЯ ДЕЛО ЭЙНШТЕЙНА

Дети
относительности

Теории всех полей,
объединяйтесь!

Ландшафт
теории струн

Прав ли
Эйнштейн?



ISSN 0208-0621



9 770208 052001 >

www.sciam.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ДЕКАБРЬ 2004

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 22 **ПОРТРЕТ**
ЭЙНШТЕЙН И НЬЮТОН. ДВА ГЕНИЯ
Алан Лайтмэн
Экспедиция в гениальность.
- 24 **БИОГРАФИЯ**
ДЕТИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
Гари Стикс
Идеи клерка швейцарского патентного бюро навсегда изменили мир.
- 30 **БЫТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**
ПОВСЕМЕСТНЫЙ ЭЙНШТЕЙН
Филип Ям
Многое, без чего немыслима наша повседневная жизнь, обязано своим появлением Эйнштейну.
- 36 **ТЕХНОЛОГИЯ**
АТОМНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ XXI ВЕКА
Уэйт Гиббс
Теории Эйнштейна вдохновляют инженеров третьего тысячелетия.
- 44 **ЭКСПЕРИМЕНТ**
КОМПАС ЭЙНШТЕЙНА
Питер Галисон
Почему вращается гироскоп?
- 48 **ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**
КОСМИЧЕСКАЯ ЗАГАДКА
Лоренс Кросс, Майкл Тэрнер
Космологическая постоянная Эйнштейна выходит за рамки общей теории относительности.
- 56 **ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ**
ЛАНДШАФТ ТЕОРИИ СТРУН
Рафаэль Буссо, Йозеф Полчински
Возможно, наша Вселенная занимает лишь одну из множества долин в обширном ландшафте возможностей.
- 66 **КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**
ПРАВ ЛИ ЭЙНШТЕЙН?
Джордж Массер
Многие физики-теоретики были бы обескуражены, если бы великий ученый оказался прав.
- 70 **РЕЛЯТИВИЗМ**
ПОИСК НАРУШЕНИЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
Алан Костелецки
Пока еще никому не удалось превзойти Эйнштейна.
- 80 **РЕТРОСПЕКТИВА**
ВЕК С ЭЙНШТЕЙНОМ
Дэниел Шленофф
Журнал Scientific American следил за развитием теорий Эйнштейна.
- 84 **ИЗ НАШЕЙ ИСТОРИИ**
ТЕОРИИ ВСЕХ ПОЛЕЙ, ОБЪЕДИНЯЙТЕСЬ!
Джордж Массер
Сбылась ли мечта великого физика.

Учредитель:
 Негосударственное образовательное учреждение
 «Российский новый университет»

Издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица
Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

Зав.отделами:
Фундаментальных исследований А.Ю. Мостинская
естественных наук В.Д. Ардаматская

Редакторы: Ю.Г. Юшквичуте,
 А.А. Приходько

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

Секретарь редакции: К.Р. Тиванова

Научные консультанты:
 кандидат мед. наук Е.И. Бурцева,
 кандидат физ.-мат. наук Н.Н. Шафрановская,
 профессор Ю.В. Чудецкий

Над номером работали:
 Е.М. Амелин, А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист,
 О.А. Василенко, Е.М. Веселова, И.Я. Дихтер,
 Ф.С. Капица, Б.А. Квасов, Э.В. Кононович,
 Т.М. Колядич, И.М. Куржиямский, Д.А. Мисюров,
 С.Р. Оганесян, И.П.Потемкин, И.Е. Сацевич,
 А.С. Расторгуев, П.П. Худолей, Н.Н. Шафрановская

Корректур: Ю.Д. Староверова

Генеральный директор
 ЗАО «В мире науки»: С.А. Бадиков

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова

Отдел распространения:
 С.М. Николаев, В.Е. Солонин, М.А. Рыбакова

Спецпроекты: И.Б. Истомина

Менеджер
по связям с общественностью: А.А. Рогова

Водитель: И.В. Павлов

Курьер: А.В. Вигуро

Адрес редакции:
 105005 Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409
Телефон: (095) 727-35-30, тел./факс (095) 105-03-72
e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

Препресс: Up-studio

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.
 В верстке использованы шрифты AvanteGuardeGothic
 и Garamond © ParaType Inc.)

Отпечатано: ОАО «АСТ-Московский
 полиграфический дом»
 748-6733 Заказ №611

© В МИРЕ НАУКИ РосНОУ, 2004

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.
 Свидетельство ПИ №77-13655 от 30.09.02

Тираж: 25 000 экземпляров
 Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного
 согласия редакции. При цитировании ссылка на журнал
 «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет
 точку зрения авторов. Редакция не несет ответственности
 за содержание рекламных материалов.
 Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

Editors: Mark Alpert, Steven Ashley,
 Graham P. Collins, Carol Ezzell, Steve Mirsky,
 George Musser, Christine Soares

News Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Mark Fichetti,
 Marguerite Holloway, Michael Shermer,
 Sarah Simpson, Carol Ezzell Webb

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive officer:
 Gretchen G. Teichgraber

Vice President and managing director,
international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое
 оформление являются исключительной собственностью
 Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответст-
 вии с лицензионным договором.

РАЗДЕЛЫ:

От редакции

3 ЕГО СЛАВА = МИРОВАЯ СЛАВА²

4 50,100,150 ЛЕТ НАЗАД

6 СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

- Митохондрии – оккупанты
- Новое о защите данных
- Интриги в муравейнике
- Турбулентность водных потоков
- Предотвратить отравление CO₂!
- Предсказание извержений вулканов
- Гепатит спасает от аллергии
- Грипп: новая волна?
- Глобальное потепление
- Куда летит «Русь»?
- Полезные ископаемые

ПРОФИЛЬ

20 ОТ ФИНИША К СТАРТУ

Уэйт Гиббс

*Бывший морской пехотинец Уильям Уиттейкер
 возглавляет Центр полевой робототехники.*

86 КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

ЗНАНИЕ–СИЛА

88 ВИДЕТЬ ТО, ЧТО ВНУТРИ

Марк Фишетти

Как работает МРТ.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ

90 УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОЛЕТ

Майк Кордер

Электронная система помощи летчику.

ПУТЕШЕСТВИЯ

92 ПУТЕШЕСТВИЯ ПОД ЗЕМЛЕЙ

Маргарет Холлоуэй

Темное царство в луче света.

КОЛОНКИ:

СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ

94 *Насколько опасен гепатит С?*

Почему при вдыхании гелия изменяется голос?

*Почему летом можно сэкономить бензина больше,
 чем зимой?*

ЕГО СЛАВА = МИРОВАЯ СЛАВА²

$$E = mc^2$$



Выступление Эйнштейна в Вашингтоне, 1940 г.

Человек с пушистым облаком волос, густыми усами, пронизательным взглядом и целым мешком уравнений в руке – любой не задумываясь скажет, чья это карикатура. $E = mc^2$ – не только самое известное на свете уравнение, но и крылатая фраза, знакомая широкой публике так же, как строки Шекспира. Имя Альберта Эйнштейна вошло в перечень самых выдающихся людей XX столетия, потому что минувший век, открытый как и нынешний, немислим без великого ученого. И сегодня, спустя сто лет после выхода в свет статей, посвященных принципам относительности, квантовой и молекулярной теорий, проблема, волновавшая Эйнштейна, по-прежнему будоражит умы ученых всего мира.

Человек, додумавшийся, как изогнуть пространство и растянуть время, снискал более широкую популярность, чем многие не менее блистательные отцы современной физики – Нильс Бор, Макс Планк, Поль Дирак или Эрвин Шрёдингер.

Люди боготворили Эйнштейна. Не он придумал образ рассеянного эксцентричного гениального ученого, но он великолепно ему соответствовал. Даже в 1950-х гг., когда страх перед ядерным оружием заставил общественность с недоверием относиться к «самонадеянным сумасшедшим уче-

ным-ядерщикам», Эйнштейна это не коснулось. Он остался вне критики благодаря особенностям своей личности. Спокойно, без лишнего пафоса, однако настойчиво он стремился, чтобы его авторитет служил верным политическим целям.

Активное участие в политической жизни диктовалось не стремлением к власти, а искренним желанием предотвратить апокалипсис ядерной войны. Как невольный соавтор разработок, приведших к созданию самого страшного оружия, он считал себя ответственным за судьбу человечества. Документы свидетельствуют, что ужасы Первой мировой заставили его перейти от вялой критики милитаризма к активному протесту.

Когда гравитационное искривление света, наблюдавшееся при полном солнечном затмении 1919 г., подтвердило его теоретические построения, Эйнштейн использовал свалившуюся на него славу для того, чтобы убедить руководителей государств в необходимости создания мирового правительства. В 1939 г. он и физик Лео Сцилард направили президенту США Франклину Рузвельту письмо, давшее импульс к развертыванию Манхэттенского проекта – гонки с нацистской Германией в деле создания атомной бомбы. Однако после Хиросимы Эйнштейн сказал:

«Если бы я знал, что до этого дойдет, я стал бы сапожником!»

Реакция на политическую активность Эйнштейна была неоднозначной. В 1952 г. Израиль предложил ему стать президентом страны, а директор ФБР Эдгар Гувер счел физика подстрекателем и занес его в черный список.

Если бы Эйнштейн жил в настоящее время, он, несомненно, нашел бы массу поводов для возмущения. Несмотря на свои сионистские убеждения, он считал, что евреи должны жить в мире с арабами. Легко предположить, что Эйнштейн как стойкий противник односторонних военных акций был бы против вторжения американских войск в Ирак.

Сегодня, когда известные ученые участвуют в обсуждении экологических проблем, вопросов противоракетной обороны и многих других важных для общества вещей, раздаются голоса, что не следует смешивать науку с политикой. Эйнштейн твердо знал, что на каждом ученом лежит моральная ответственность за свое детище. Он обязан донести до людей суть своих работ и разъяснить возможные последствия их применения. Не соглашаться с этим – все равно что утверждать, что наука ничего не значит. ■

■ Необходимый белок ■ Дикие травы ■ Нефильтрованная вода

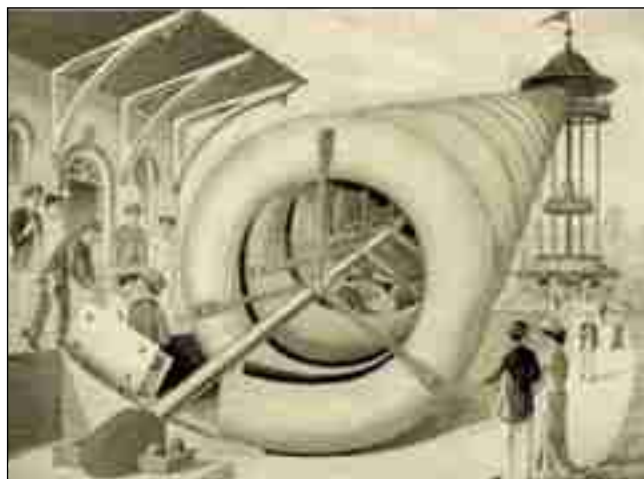
ДЕКАБРЬ 1954

КВАШИОРКОР. В 1929 г. английский врач, работавшая среди диких племен Золотого Берега Западной Африки (*Gold Coast of West Africa*), столкнулась с загадочным заболеванием, которое поражало в основном маленьких детей и часто приводило к их гибели. Доктор Сисели Виллиамс предположила, что болезнь вызвана недоеданием, и дала ей название «квашiorкор», позаимствовав его из языка племени Га. В 1944 г. выяснилось, что истинная причина заболевания – дефицит белка. В регионах с умеренным климатом, где расположено подавляющее большинство лечебных учреждений и биолaborаторий, нарушение питания чаще рассматривается как синоним нехватки витаминов, а не белков. Это неудивительно, ведь основной элемент диеты в умеренных поясах – зерно, богатое белком, но лишенное некоторых витаминов. Результаты исследований, проведенных Всемирной организацией здравоохранения под эгидой ООН, показали, что случаи квашиоркор, вероятно, встречаются во всех странах тропического пояса, где пища (главным образом плоды и овощи) бедна белками. ■

ДЕКАБРЬ 1904

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ТРАВЫ. В США произрастает достаточное количество лекарственных растений, и тем не менее на импорт таблеток из-за рубежа ежегодно уходит около \$15 млн. Для первопроходцев Запада дары природы были первым средством от недугов, но с развитием медицины и распространением аптек все изменилось. Лекарственные растения доступнее и дешевле фармацевтических препаратов, однако ими просто пренебрегают. Чаще всего их уничтожают вместе с сорняками. В числе прочих большего уважения заслуживают одуванчик обыкновенный, лопух большой, пырей ползучий и щавель курдючный.

КАЛИГУЛА. Озеро Неми к югу от Рима – небольшой красивый водоем в чаше потухшего кратера. Местная легенда гласит, что в нем были затоплены огромные корабли, принадлежавшие одному из римских императоров. Недавно на дне озера под слоем песка были обнаружены два гигантских судна, каждое 25 м в ширину и 70 м в длину. Поскольку даже военные галеры уступают им в размерах, можно с уверенностью сказать, что на этих баржах один из императоров, возможно Калигула, устраивал гранди-



АРХИМЕДОВ ВИНТ для развлечения, 1904 г.

озные оргии. (В 1929 г. озеро было осушено, а корпуса кораблей восстановлены. К сожалению, они сгорели во время пожара в 1944 г. – *Прим. ред.*)

АРХИМЕДОВА ЗАБАВА. Человеческая фантазия не знает границ. Один изобретатель предложил превратить архимедов винт в аттракцион (*см. рис.*). По спиральному желобу, вращающемуся вокруг центральной оси, будут двигаться гондолы, рассчитанные на два-три посадочных места. Плавный подъем внутри стремительно вращающейся гигантской спирали гарантирует пассажирам незабываемые ощущения. ■

ДЕКАБРЬ 1854

ФИЛЬТРУЙТЕ ВОДУ! Жители Бостона жалуются на отвратительный привкус водопроводной воды. Ссылаясь на результаты анализов, президент Управления по водным ресурсам м-р Ветмур заявил, что в воде обнаружены примеси исключительно растительного происхождения. Но есть опасения, что загрязнение воды вызвано гниением попавших в нее животных остатков. Специалисты Управления по водным ресурсам считают, что всему виной дожди, смывшие в пресное озеро растительный мусор с полей. Однако не исключено, что неприятный вкус обусловлен присутствием в воде разлагающихся микроскопических животных. Мы считаем, что вся пресная вода должна быть отфильтрована, прежде чем попасть в городской водопровод. Для этого можно использовать недорогие очистительные сооружения из гравия, песка и глины. ■

«Странности» ТЕЛЕФОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ПРОГРАММИРОВАНИЕ



Компьютер с *Bluetooth* способен украсть данные из сотового телефона.

ВЗЛОМ ЧЕРЕЗ РУКОПОЖАТИЕ

Главная причина несанкционированного доступа к устройствам *Bluetooth* – незамкнутые соединения. Вероятно, «телефонное пиратство» станет еще более распространенным из-за процветающего обмена сообщениями между анонимными незнакомцами. Перед установлением соединения устройства *Bluetooth* представляют друг другу, сообщают свое имя, которое может содержать до 248 символов. Блуждающий «сочиняет» такие имена. Но передача имени открывает доступ – именно здесь и находится «дыра» в программах защиты данных. Люди часто даже не подозревают, что их устройство соединено с другим, которое осуществляет вход во все данные, сохраняемые в телефоне все то время, пока включены протоколы *Bluetooth*.

Мой мобильный телефон пару раз мигнул, но к обычному режиму свечения уже не вернулся. Адам Лурье (Adam Laurie) поднял голову от своего ноутбука и спросил: «А пароль для входа в телефонную книгу у вас «marga03»?»

Да, именно так.

Лурье – эксперт по защите данных, один из организаторов ежегодной конференции *Defense Conditions* (*Defcon* «Условия защиты данных») и глава компании *AL Digital* в Лондоне – «взломал» программу моего телефона, устанавливающую *Bluetooth* соединения, чтобы продемонстрировать мне, что доступ к моей информации возможен без моего согласия и даже без оповещения.

Bluetooth – стандарт персональной сетевой связи, позволяющий

устанавливать связь на малых расстояниях. Он заменяет кабельные и инфракрасные соединения и дает возможность компьютерам, сотовым телефонам, накопителям, клавиатурам, принтерам и т.д. взаимодействовать друг с другом.

Данные при передаче кодируются. Соединению формата *Bluetooth* можно придать такую конфигурацию, что прибор сможет общаться только с определенными устройствами, но такая программа не всегда выполняется. Поэтому, как и *Wi-Fi* сети в жилых кварталах, многие соединения *Bluetooth* остаются открытыми и уязвимыми.

Лурье утверждает, что мой телефон установил связь с его компьютером, несмотря на то, что связь не была разрешена. Дело в том, что

секретная СЛУЖБА ЕЕ ВЕЛИЧЕСТВА

ЭТОМОЛОГИЯ

Забота о потомстве имеет важный биологический смысл. У насекомых рабочие самки бдительно следят друг за другом, чтобы отдельные плутовки не откладывали собственных яиц вместо того, чтобы заботиться о потомстве царицы. Ученые предположили, что слежка характерна для колоний с несколькими матками. Рабочие самки из таких гнезд обладают большим количеством общих генов с потомками цариц, чем с себе подобными.

Швейцарские ученые Роберт Хэммонд (Robert Hammond) и Лоран Келлер (Laurent Keller) из Лозаннского университета про-

анализировали результаты исследований, проведенных на 50 видах муравьев, пчел и ос. Выяснилось, что семьи с одной царицей имеют столько же шансов распастись из-за нарушительниц дисциплины, сколько и колонии с несколькими матками. Ученые предположили, что причиной возникновения «шпионажа» в процессе эволюции могло стать бесконтрольное откладывание яиц, что приводило к простоям в работе. Хэммонд утверждает, что интересы семьи в целом представляются более важным фактором, повлиявшим на возникновение взаимной слежки, чем забота о близких родственниках.

все устройства *Bluetooth* выполнены в едином стандарте, и данное соединение используется для передачи файлов, печати и отправ-

Несанкционированный доступ к устройствам *Bluetooth*.

ки факсов специальным набором протоколов, называемых профилями. Лурье объяснил, что он воспользовался *Bluetooth* для доступа к программам, отвечающим за выполнение вышеуказанных функций, часть из которых легко найти в Интернете, т.к. они предназначены для законных операций, таких как резервное копирование данных и служба *SMS*.

Кроме того, возможность подслушивания основана на том же

принципе, что и несанкционированный доступ. Разница лишь в том, что соединение осуществляется с профилем, предназначенным для последовательного порта – традиционного устройства для подключения модема. Посылая «AT»-команды, хорошо знакомые владельцам обычных модемов, можно контролировать прибор. Стандартные программы помогут вам соединиться с телефоном, оплачиваемым по специальной ставке, послать *SMS*-сообщение и выйти в Интернет. Вы можете даже заставить подконтрольный телефон позвонить вам, не оповещая хозяина, и подслушать его переговоры.

Сейчас Лори работает с разработчиками *Bluetooth*, помогая им повысить безопасность следующего поколения стандартов соединения. Но не следует забывать, что переход от кабельной связи к беспроводной увеличивает риск несанкционированного доступа.



СМЕРТОНОСНЫЙ газ

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

Ни один яд не убивает и не калечит столько людей, как оксид углерода. Половина из тех, кто выживает после сильного отравления им, страдает от поражения головного мозга. Удивительно, что недомогание возникает спустя некоторое время, после того как кровь пострадавшего освобождается от угарного газа (от нескольких дней до нескольких недель). Исследователи из медицинского центра Пенсильванского университета пришли к выводу, что причина такого явления связана с побочным продуктом цепной реакции, запускаемой оксидом углерода. Это вещество изменяет конфигурацию и заряд молекул основного белка миелина (МВР), главной составной части защитных оболочек нервов. Лейкоциты атакуют измененный белок, но при этом также поражают молекулы нормального МВР. Кормление крыс МВР перед воздействием на них угарным газом предотвращает поражение головного мозга животных, так как их иммунная система становится толерантной к этому белку. Новое открытие позволит разработать методы лечения отравлений угарным газом.

турбулентность в водопроводе

ФИЗИКА



На диаграммах, изображающих поперечное сечение потока воды в трубе, отчетливо видны области быстрого (красный) и медленного (синий) течения, обуславливающие турбулентность.

Откройте кран чуть побольше, и гладкая ровная струя воды тут же превратится в рваную и бурлящую. Прошло более века, а механизм, обуславливающий и поддержива-

ющий турбулентность в водопроводных трубах, все еще до конца не понят. По результатам компьютерного моделирования, структуру турбулентного потока определяют волны стремящихся вперед небольших вихрей. Подобное движение воды впервые наблюдали ученые из Дельфтского технологического университета в Нидерландах: они подсветили лазером турбулентный поток и сделали видеозапись микроскопических перемещающихся в воде слоев. В них образуются воронки, которые затягивают спокойную воду в центр трубы и создают быстро текущие струйки на периферии.

подготовка к запуску

КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

Специалисты NASA сделали шаттл безопаснее, но ограничили количество его запусков.

В марте 2005 г. космический челнок *Discovery* совершит первый полет после гибели *Columbia*. Фотография сделана в 1996 г. Сейчас шаттл модернизируют, чтобы повысить безопасность полетов.



В монтажно-испытательном корпусе Центра полетов имени Кеннеди специалисты NASA готовят космический челнок *Discovery* к запуску, который намечен на март 2005 г. Модернизированный *Discovery* станет первым шаттлом, который возобновит полеты после гибели *Columbia* в феврале 2003 г., и Космическое агентство предпринимает ряд мер, позволяющих уменьшить риск катастроф. Комиссия по расследованию аварии *Columbia* установила, что причиной гибели корабля стал восьмисотграммовый кусок пористого изоляционного материала, во время запуска проделавший в крыле челнока отверстие. Поэтому прежде всего планируется удалить теплоизоляцию из металлических стоек, связывающих шаттл с внешними топливными баками. Чтобы избежать столкновения изоляционного материала (если будет осыпаться с топливного бака), специалисты NASA установили датчики на обшивке крыла. Также планируется установить цифровую камеру, которая будет наблюдать за топливным баком в момент его отрыва от корабля во время выхода на орбиту.

Космическое агентство приступило к созданию системы датчи-

ков, прикрепляющихся к автоматическому манипулятору челнока. Снабженная лазерным дальномером и видеокамерой, она сможет передавать трехмерное изображение защитных армированных углеродных панелей, покрывающих крылья шаттла. Однако в докладе рабочей группы по возобновлению полетов, говорится, что на разработку системы контроля выделено слишком мало времени. Кроме того, предложенные варианты устранения неисправностей на орбите пока несовершенны. Конечно, астронавты смогут обнаружить пробойину в крыле и даже залатать дыру диаметром до 10 см, но пролом 15×25 см, подобный тому, что погубил *Columbia*, все равно остается непреодолимым препятствием для продолжения полета.

В качестве запасного варианта NASA предлагает более простое решение. Перед стыковкой *Discovery* с МКС космонавт, пилотирующий шаттл, поворачивает его таким образом, чтобы со станции можно было сфотографировать теплозащитную плитку, покрывающую нижнюю часть челнока (с расстояния 180 м). При необходимости члены команды смогут выйти в открытый космос

ЧЕЛОВЕК ИЛИ РОБОТ

Возможно, что автоматический способ починки телескопа Хаббла может оказаться несостоятельным. По словам Джеффри Хоффмана (Jeffrey A. Hoffman), астронавта, участвовавшего в модернизации Хаббла в 1993 г., для установки новых гироскопов требуются определенные навыки, поскольку они должны находиться вблизи центра масс телескопа.

Один из способов – вмонтировать гироскопы в широкоугольную планетарную камеру, которой будет заменена старая, установленная 11 лет назад. «Автомат, конечно, способен ее удалить, однако новая камера должна быть установлена с ювелирной точностью. Руки человека легко манипулируют приборами, чувствуя их, в то время как автомат действует согласно заданной программе и камеру может заклинить».

и обследовать обшивку. Обнаружив отверстие, которое невозможно залатать в условиях космоса, команда *Discovery* останется на борту станции до тех пор, пока шаттл *Atlantis* не прилетит на помощь, что произойдет не позднее, чем через 45 дней. Если системы жизнеобеспечения не будут повреждены, такие, как выработка кислорода или удаление углекислого газа, то космонавты без проблем дождутся своих спасателей.

Поскольку NASA рассматривает МКС как безопасную гавань для команды шаттла, руководитель агентства Шон О'Киффи (Sean O'Keefe) отменил планировавшийся в 2006 г. полет космического челнока для технического обслуживания космического телескопа Хаббла.

Если не заменить аккумуляторы и гироскопы телескопа, его ресурс будет исчерпан в 2008 г. Однако Хаббл и МКС движутся по различным орбитам, и посетить оба пункта назначения в рамках одной миссии невозможно. Поэтому О'Киффи при-

нял решение о подготовке непилотируемого полета для замены научного оборудования на космическом телескопе. Стоимость такого проекта оценивается в \$1–1,6 млрд., что в три раза дороже полета шаттла. Кроме того, непилотируемый полет может не увенчаться успехом.

По иронии судьбы, доставка грузов и космонавтов на МКС может оказаться опаснее, нежели ремонт Хаббла. По словам космонавта-инженера, председателя Марсианского общества Роберта Зубрина (Robert Zubrin), вероятность столкновения с «космическим мусором» и риск подвергнуться серьезному столкновению микрометеоритами гораздо выше при полете к МКС, когда корабль во время стыковки поворачивается своим «брюхом», нежели во время починки Хаббла, когда челнок расположен таким образом, что его уязвимость минимальна. И, наконец, для окончания сборки станции потребуется 25 полетов шаттла, тогда как для ремонта Хаббла необходим всего один.



Обратный отсчет. Специалисты NASA готовят *Discovery* к возобновлению полетов. Показан участок обшивки, расположенный возле ниши колеса переднего шасси. Керамическая плитка предохраняет корабль от разогрева при вхождении в атмосферу.

Вторжение нуклеотидных последовательностей

ГЕНЕТИКА

Силовые станции клеток, митохондрии, обладают собственной ДНК. Возможно, их предшественники некогда были самостоятельными организмами, которые встроились в клетки. По-видимому, они все еще ведут себя как оккупанты. Ученые из Пастеровского Института в Париже, осуществившие сканирование человеческого генома, сосредоточенного в ядре, обнаружили 211 фрагментов ДНК, соответствующих последовательностям, содержащимся в митохондриальной ДНК. Исследователи предполагают, что эти фрагменты попали сюда по ошибке в ходе репарации ДНК. Оказывается, процесс внедрения митохондриальной ДНК в ядерную продолжается. 27 из обна-



Митохондрии способны действовать как генетические оккупанты.

руженных фрагментов свойственны исключительно *Homo sapiens*, следовательно, они «встроились»

в хромосомы уже после того, как 6–8 млн. лет назад появился современный человек. В сентябрьском номере *Public Library of Science Biology* исследователи высказали мнение, что склонность митохондриальной ДНК встраиваться в гены, находящиеся в ядре, может приводить к поражениям некоторых нуклеотидных последовательностей, сдерживающих развитие опухолей. Кроме того, внедрение в геном митохондриальной ДНК могло способствовать эволюции вида *Homo sapiens*. Об этом свидетельствует то, что у разных этнических групп в геноме содержатся свои специфические наборы нуклеотидных цепочек митохондриального происхождения.



ПРОТИВ СПАМА НЕТ ПРИЕМА?

КОМПЬЮТЕРЫ

Спам уже превратился в крупномасштабную угрозу электронной почте во всем мире.

От нелегально пересылаемых по Интернету материалов, в которых рекламируются товары и услуги, в том числе сомнительного толка (похудание, бессмертие, чудесное исцеление, порнография) и разнообразные формы мошенничества (например, «нигерийские письма»), страдают как частные пользователи, так и организации. По оценкам специалистов, спам составляет до 80% сообщений, т.е. 3/4 дискового пространства и других ресурсов аппаратуры, обеспечивающей работу электронной почты, уходит на обслуживание спамеров.

Эффективных способов борьбы с этим злом пока не найдено. Поэтому необходимы законы, которые сделают спам экономически невыгодным. Известно, что после принятия таких законов в США объем нелегальных рассылок уменьшился вдвое. Однако до всеобщего запрещения спама еще далеко.

В наши дни самым перспективным средством защиты стала фильтрация

нежелательной почты техническими средствами. Сейчас ее проводят практически все крупные провайдеры и почтовые сервисы. Существующие системы позволяют задержать до 90% несанкционированных сообщений. Однако и спамеры не сидят сложа руки, они разрабатывают все новые и новые способы обхода фильтров. Кажется, что процесс взаимного наращивания технологий не имеет логического завершения, но на самом деле это не так.

Согласно данным, приводившимся на конференции «Проблемы спама и ее решения», ощутимое снижение числа спам-сообщений может произойти не ранее середины 2005 г., когда заработают новые стандарты передачи почты. Кроме того, принятие законов РФ о спаме и повсеместная установка спам-фильтров, способных задерживать более 95% незапрошенной корреспонденции, снизят спрос на эти услуги и вытеснят спамеров с рынка.

ИННОВАЦИИ В XXI ВЕКЕ

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Развитие нанотехнологий может стать одним из основных направлений национальной технической политики.

В конце октября в Государственной думе России состоялось совещание «Нанотехнологии – проблема развития и подготовки кадров», по итогам которого был принят ряд решений, направленных на ускорение развития этой области. Было предложено разработать и принять Федеральную целевую программу «Развитие нанотехнологий в России». Отмечалось, что необходимо создать благоприят-



ный инвестиционный климат, а также заложить в бюджет 2005 г. расходы на развитие. Участники приняли решение обратиться к руководителям Государственной думы и Совета Федерации, взяв за основу опыт США, где вопрос решился на уровне президента – были образованы соответствующие структуры и обеспечена поддержка СМИ.

На совещании демонстрировался сентябрьский номер журнала «В мире науки», посвященный нанотехнологиям.

теория Хокинга

ФИЗИКА

«Дашь математику!» – таков был ответ физиков на заявление, сделанное Стивеном Хокингом (Stephen W. Hawking) в июле этого года. Он провозгласил, что разрешил информационный парадокс черной дыры – фундаментальную проблему квантовой физики и теории гравитации, поставленную им же самим 30 лет назад. На XVII Международной конференции по общей теории относительности и космологии в Дублине ученый представил основные положения своей новой теории, но статья, в которой были бы детально представлены все этапы математических расчетов, еще не вышла.

Информационный парадокс вытекает из двух противоречащих друг другу свойств черных дыр. При классическом подходе, то есть без учета квантовых эффектов, все, что оказывается за горизонтом событий черной дыры, навсегда исчезает из Вселенной. Ничто – ни свет, ни информация – не может вырваться из чудовищной хватки гравитационных сил. Но в 1974 г. Хокинг обнаружил в гравитационной броне квантовый разрыв и пришел к заключению, что черные дыры должны испускать хаотичные тонкие струи частиц и излучения (названное «излучением Хокинга»).

В статье, опубликованной в 1976 г., он рассматривал проблему хаотичности, нарушающей фундаментальный принцип квантовой физики – унитарность. (Согласно которому информация должна сохраняться, т.е. если в черную дыру попадает энциклопедия, а затем масса составившего ее вещества испускается в виде излучения Хокинга, то такое излучение должно заключать в себе всю информацию данной энциклопедии.) Но хаотичность излучения уничтожает информацию, и этот постулат вызывает у многих физиков сомне-



«Черные дыры не уничтожают информацию», – признал Стивен Хокинг.

ние. «Я не согласен со статьей Хокинга 1976 г., но не могу найти ошибки в расчетах», – утверждает Эндрю Стромингер, специалист по теории струн из Гарвардского университета.

Лет десять назад физики разработали новый подход к анализу черных дыр на основе математического аппарата теории струн. Полученные результаты свидетельствуют, что при испарении черных дыр унитарность, а следовательно, и информация, сохраняются. К сожалению, математика теории струн так и не выявила ошибок в статье Хокинга 1976 г. Его систему доказательств физики признают красивой и простой, а теоретические допущения сами по себе стали открытием, касающимся самых основ мироздания.

Свою новую работу Хокинг строит на основе недавнего исследования молодого аргентинского теоретика из Принстонского университета Хуана Малдасены, использовавшего модель антидеситтеровского пространства-времени. Проще говоря, Хокинг утверждает, что унитарность и информация сохраняются, если дождаться полного испарения черной дыры. А впечатление, что информация исчезла, создается лишь на промежуточных стадиях процесса. Но в своей статье Хокинг не вдается

СПОР О ЧЕРНЫХ ДЫРАХ

Во время встречи в Дублине участники конференции стали свидетелями, как Стивен Хокинг из Кембриджского университета торжественно вручил Джону Прескилли из Калифорнийского технологического института «Полную энциклопедию бейсбола». В 1997 Хокинг и Прескилл заключили пари на то, как разрешится информационный парадокс черной дыры, и новое сообщение Хокинга означало победу Прескилла в споре. Третий участник – Кип Торн – не спешит соглашаться с Хокингом и признавать правоту Прескилла. «Я хотел бы изучить более подробный анализ Хокинга, – говорит Торн. – Он готовит статью, которую я так хочу уви-

в детали того, каким образом появляется информация, и не согласовывает результаты ни со своей работой 1976 г., ни с результатами более поздних расчетов теории струн. Это и озадачило многих физиков, в том числе Якоба Бекенштайна из Еврейского университета в Иерусалиме и Кипа Торна из Калифорнийского технологического института. Одни выражают недовольство тем, что Хокинг сделал сообщение до публикации статьи. Другие считают, что он признал то, о чем писали физики-теоретики, работавшие в области теории струн уже десять лет. А некоторые, например Бекенштайн, утверждают, что информационный парадокс был неплохо улажен и до выступления Хокинга.

Несмотря на весомость аргументов теории струн и идей Хокинга, среди теоретиков есть и такие, которые сомневаются. Физик Кумрун Вафа из Гарварда полагает, что унитарность черных дыр порождает так много вопросов, что вряд ли можно предположить, что информационный парадокс может быть разрешен одной единственной статьей, кем бы ни был ее автор! Вердикт еще не вынесен.

Мониторинг вулканов

ДАТЧКИ

Новая лазерная система позволит заблаговременно предсказать активизацию вулканов.



Современные сейсмометры регистрируют подземные толчки и другие движения земной коры, свидетельствующие о пробуждении вулкана, но их показания недостаточно точны. Сканирование выбрасываемых вулканом газов может давать сведения о движении магмы в недрах Земли. Однако приборы, анализирующие состав газов, очень хрупки и громоздки, поэтому их не всегда можно использовать в полевых условиях. «В связи с этим анализ проб газов обычно проводится в лаборатории, что занимает от недели до месяца», – считает физик Франк Титтель (Frank Tittel) из Университета Райса.

Более перспективный метод предсказания извержений основан на контроле соотношения изотопов углерода в углекислом газе. На 90 атомов ^{12}C приходится 1 атом ^{13}C , но в вулканических газах оно может быть иным. Если концентрация того или иного вещества повысится лишь на одну десятимиллионную, это может свидетельствовать о выбросе

Снимок сделан в 1944 г. Везувий и сегодня представляет угрозу для Неаполя.

углекислого газа из магмы, накапливающейся в недрах вулкана или поднимающейся по его жерлу.

Поскольку изотопы ^{12}C и ^{13}C поглощают излучение на различных длинах волн, лазеры могут обнаруживать малейшие изменения.

Американские и британские ученые в сотрудничестве с правительством Италии разработали систему контроля вулканической деятельности на основе каскадного лазера. Полупроводниковый лазер способен генерировать мощное излучение в широком интервале частот. При этом он прочен, компактен и помещается в кожухе размером с коробку для обуви и не требует охлаждения жидким азотом.

Первые испытания системы были проведены в 2000 г. на газах, выбрасываемых из кратеров в Никарагуа. Сейчас надежность и точность устройства проверяется в суровых условиях вулканических зон.

Каскадные лазеры разместят вокруг вулканов, и они будут передавать информацию о любых изменениях в соотношении изотопов, которые могут возникать за недели и месяцы до начала извержений. «Наша система поможет предотвратить катастрофы, подобные той, что произошла в результате извержения Везувия, уничтожившего города Помпеи и Геркуланум и погубившего тысячи людей в 79 г.», – считает член группы Титтеля Деймиен Вейдманн (Damien Weidmann) из Эпплтонской лаборатории им. Резерфорда в Оксфордшире (Англия).

Полевые испытания системы планируется провести весной 2005 г. в вулканических зонах юго-восточнее Рима (вблизи летней резиденции папы Иоанна Павла II), недалеко от Лос-Аламоса (шт. Нью-Мексико).

КАСКАДЫ ЭЛЕКТРОНОВ

Основа каскадного лазера – ряд нанометровой толщины полупроводниковых слоев. Такая структура позволяет получить несколько энергетических уровней для электронов, которые совершают каскадные переходы с более высоких уровней на более низкие, теряя при этом энергию, выделяемую в виде лазерных фотонов. Каждый электрон может испустить десятки фотонов, благодаря чему каскадные лазеры мощнее обычных полупроводниковых, в которых каждый возбужденный электрон испускает только один фотон. Более того, варьируя толщину слоев, можно заставить электроны излучать фотоны различных частот. Каскадные лазеры – идеальное средство для мониторинга вулканов, поскольку сочетают большую мощность и широкий диапазон частот.

«РУСЬ» НА СТАРТЕ

КОСМОНАТИКА

Экспериментальный полет нового ракеты-носителя (РН) широко не афишировался. «Русь» – последняя из серии советских трехступенчатых РН: «Восток» и «Союз». С конца 50-х гг. прошлого века было проведено более 700 запусков ракет этого типа, цель которых – вывести на орбиту искусственные спутники и космические корабли. При внешнем сходстве с предшественниками новинка совершеннее и мощнее. «Русь» – это первая российская ракета, где вся бортовая электроника работает в цифровом режиме. Из конструкций удалены километры различных кабелей и проводов, при новом компьютерном управлении уже не нужны, стали мощнее двигатели. В итоге полезная нагрузка была увеличена почти на тонну. Благодаря компьютеру упростилось обслуживание: за

управлением запуска будут следить уже не 40 человек, а всего двое. В подземном бункере раньше располагалась дюжина пультов, за каждым – по оператору. Знаменитая еще со времен Гагарина команда «Ключ на старт! Ключ на дренаж!» уже отсутствует: сегодня все сведено к одному рабочему месту. Все команды выполняются автоматически, поскольку запуск экспериментальный: вместо спутника на борту установлен макет. За день до старта были обнаружены недостатки в программном обеспечении.

Несмотря на большие размеры, новый носитель сделан из отдельных блоков. Это значит, что для транспортировки можно использовать стандартные железнодорожные вагоны или обычные транспортные самолеты. Новой ракетой серьезно заинтересовалось Европейское кос-



мическое агентство. На французском космодроме Куру для нее строится стартовый комплекс. Этот проект уже сейчас называют европейским ответом на «марсианский план» США.

5-я юбилейная выставка предприятий химического комплекса «Химэкспо-2004» под патронажем Федерального агентства по промышленности, Российской Академии наук, ООО «Эксподизайн РА» прошла на территории ВВЦ.

Большой интерес вызвал Конкурс инновационных и инвестиционных проектов в химической промышленности. Победителями стали ОАО «Компания Славич», ОАО «Каустик» (г. Волгоград), ЗАО «Бишофит-Авангард», ФГУП «НИИ Полимеров имени академика В.А. Каргина», ФГУП «НИИ Резиновых и латексных изделий», Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, Института химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН и ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Состоялась презентация конкурса «Проект года в химической и нефтехимической промышленности», лауреатами которого признаны проекты ОАО «Куйбышевазот», ОАО «Компания Славич», ОАО «Химпром» и ЗАО Северо-Западный научно-технический центр «Портативные средства индивидуальной защиты» им. А.А. Гуняева.

Выставка, на которой предприятия демонстрировали бы лучшие технические и технологические решения, должна стать важнейшим ежегодным мероприятием по подведению итогов и формированию перспектив развития химической и нефтехимической отрасли России.

ХИМЭКСПО-2004



На открытии выставки присутствовали: заместитель руководителя департамента Федерального агентства по промышленности Дзапшба Ф.З., проректор по научной работе РХТУ им. Менделеева Колесников В.А., заслуженный химик России Щербakov Е.Т.

СВЕРХКРУПНЫЕ Месторождения

ГЕОЛОГИЯ

Наступает эра открытия новых сверхкрупных месторождений минерального сырья, считают сотрудники российско-французской металлогенической лаборатории.

В основном добыча полезных ископаемых ведется на глубине до 2000 м, однако известны примеры рентабельной разработки и на уровне 4000 м. Новая методика, разработанная специалистами лаборатории (РФМЛ), позволяет прогнозировать

глубокозалегающие месторождения там, где коренные породы перекрыты осадком.

Поиск и разработка крупных и сверхкрупных месторождений может обойтись от нескольких миллиардов до триллиона долларов. Несмотря на то что сумма превосходит многие национальные бюджеты, затраты на добычу, создание инфраструктуры и охрану окружающей среды окупаются.

В ближайших планах совместной лаборатории – отработка методики прогноза на эталонных объектах и подготовка предложений по проведению опытно-методических работ в рамках Европейского научно-технического сотрудничества. Данная программа поддерживается Посольством Франции в Москве, Министерством образования и науки РФ, Министерством иностранных дел Франции и НАТО.



НА КАНАЛЕ ТВЦ ПО ПОНЕДЕЛЬНИКАМ в 00:30

программа С.П. Капицы



СПАСИТЕЛЬНЫЙ гепатит

АЛЛЕРГИЯ

Согласно «гигиенической» гипотезе, за последние 20 лет в развитых странах из-за улучшившихся санитарных условий участились случаи заболевания астмой, сенной лихорадкой, экземой и прочими аллергическими заболеваниями. Это объясняется тем, что иммунная система детей, сталкиваясь с меньшим числом бактерий и вирусов, начинает активно реагировать на такие безвредные субстанции, как пыльца и перхоть.

Почему одни люди более чувствительны к аллергенам, чем другие? А случаи заболевания астмой можно наблюдать и в антисанитарных условиях?

Генетические исследования выявили механизм развития аллергии, связанный с вирусом гепатита А, способным защищать людей от астмы. Дейл Уметсу (Dale T. Umetsu) и Розмари Де Крайфф (Rosemarie DeKruyff) из Медицинской школы Стэнфордского университета, принимая во внимание, что аллергия нередко передается по наследству, занялись поисками генетической подоплеку заболевания. Проведя ряд экспериментов на мышах, исследователи выявили ген *TIM-1*, ответственный за предрасположенность к астме. На симпозиуме Фонда компании *Novartis Foundation*, состоявшемся в июне 2004 г. в Лондоне, Уметсу сообщил, что ген *TIM-1* помимо прочего представляет собой рецептор, при помощи которого вирус гепатита А внедряется в клетки.

Паоло Матрикарди (Paolo Matricardi), работающий в Риме, в детской больнице Рождества Христова, обнаружил, что у людей, переболевших гепатитом А, аллергия встречается гораздо реже, чем у тех, кто не перенес это заболевание.

Дальнейшие исследования, проведенные учеными Стэнфордского университета, показали, что у человека встречаются две разновидности гена *TIM-1*. Обследования 375 человек

выявили, что обладатели «длинного» гена, переболевшие гепатитом А, страдают астмой в четыре раза реже, чем те, у кого *TIM-1* «короткий». (В целом заболеваемость астмой среди детей в США составляет 7–10.) Создается впечатление, что для того, чтобы остаться здоровым, необходимо унаследовать «хорошую» разновидность *TIM-1* и переболеть гепатитом А.

Поэтому для астматиков важными факторами становятся наследственность и окружающая среда. В США почти 2/3 белого населения и афроамериканцев и половина монголоидов обладают геном *TIM-1*, обуславливающим устойчивость к астме. До 1970-х гг. практически каждый в стране был инфицирован вирусом гепатита А. Сегодня население развитых стран проживает в лучших санитарных условиях, и лишь 25–30% заражается воспалением печени.

Однако если решающее значение имеет гигиена, то почему дети, живущие в центре города, страдают от тяжелой астмы? Одна из наиболее распространенных теорий, объясняя это



явление реакцией на экскременты тараканов, противоречит как «теории гепатита А», так и «гигиенической» гипотезе. Кроме того, как утверждает Матрикарди, в XX в. США загрязнение экскрементами в неблагополучных районах, как и повсюду в США, снизилось. А детям просто не повезло, т.к. они оказались предрасположены к аллергическим реакциям на тараканов, мышей, пылевых клещей и сигаретный дым.

«Гигиеническая» гипотеза, опирающаяся на последствия гепатита А как на один из возможных факторов, сдерживающих заболеваемость астмой, имеет право на существование», – считает английский генетик Уильям Куксон (William Cookson) из Оксфорда. При этом он высоко оценил работу группы Уметсу и заметил, что исследования следует продолжать.

Сегодня ученые из Стэнфордского университета рассматривают возможность применения вакцинации.

Что же в «почтовом ящике»?

ПРОЕКТ SETI

Поиск внеземного разума обычно связан с обзором небесной сферы и попытками обнаружить радиосигнал, посланный иными цивилизациями. Однако, пересекая космическое пространство, радиоволны ослабевают. Согласно расчетам инженера-электронщика Кристофера Роуза (Christopher Rose) из Университета Рутгерса и физика Грегори Райта (Gregory Wright) из *Antiope Associates*, чтобы послать к звездам что-то более существенное, чем просто сигнал, необходима антенна размером с Землю. С другой стороны, с помощью туннельного микроскопа всю имеющуюся на Земле информацию – порядка 1 млрд. Гб – можно разместить в одном грамме вещества. Может оказаться, что межзвездная почта гораздо эффективнее, хотя и медленнее. Роуз и Райт считают, что посылку от братьев по разуму следует искать в районе земной или лунной орбиты, а также в поясе астероидов и на поверхности внутренних планет Солнечной системы.

грипп НАСТУПАЕТ

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ



В России гриппом и ОРВИ переболело (с 11.2003 г. по 03.2004 г.) 6,8 млн. чел. (4,7%), погибло 7 человек; в 1997 г. (наиболее сильная вспышка) переболело 7,6 млн. чел.

Источник: По данным Национального центра по гриппу ВОЗ.

Насколько тяжелой будет эпидемия гриппа в этом году? Сообщения Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о возможной пандемии этого вирусного заболевания вызывают тревогу. «Подобные предположения не беспочвенны», – считает ведущий научный сотрудник лаборатории этиологии и эпидемиологии гриппа ГУ НИИ

вирусологии им. Д.И. Ивановского РАМН Елена Бурцева. Хорошо известны 4 пандемии прошлого столетия, периодичность которых составляла от 38 до 10 лет: 1918–1919 гг. – «испанка», 1957–1958 гг. – «азиатский», 1968–1969 гг. – «гонконгский» и 1977 г. – «русский» грипп.

Особенности вирусов гриппа А – многообразии подтипов, циркулирующих среди птиц и некоторых видов млекопитающих, и способность «обмениваться» генетическим материалом между собой. Это приводит к появлению новых высокопатогенных вирусов (рекомбинантов), неизвестных иммунной системе человека. Такая ситуация наблюдалась в периоды «азиатской» и «гонконгской» пандемий.

В последние годы в странах Юго-Восточной Азии участились случаи инфицирования людей «птичьим» вирусом гриппа А (H₅N₁) с летальным исходом в 70% случаев. Однако по мнению эксперта ВОЗ профессора НИИ вирусных препаратов РАМН Юрия Гендона, глобальная эпидемия скорее всего будет вызвана вирусом, типичным для человека.

В России в 2004–2005 гг. ожидается средняя интенсивность заболевания гриппом, так как, по прогнозам специалистов, активными будут штаммы, уже проявлявшиеся в прошлые годы, поэтому у части населения есть к ним иммунитет. Как у нас в стране, так и за рубежом основные возбудители ежегодных эпидемий – два подтипа вируса гриппа А – А(H₁N₁), А(H₃N₂) и вирус гриппа В, эталонными вариантами которых служат А/Новая Каледония/20/99, А/Фуцзянь/411/02 и В/Шанхай/361/02. Однако их долевое участие для каждого из эпидемических сезонов было неравнозначным.

Специалисты рекомендуют сделать прививку, т.к. предлагаемые в России противогриппозные вакцины содержат белки всех трех вирусов. Прививки не обеспечивают 100%-ной защиты (их эффективность – от 40 до 80%), но значительно снижают риск заболевания и развития осложнений. Ученые считают, что вакцинация против гриппа должна быть включена в национальный календарь прививок России, как это сделано, например, в США.

КАК ПРЕОДОЛЕТЬ КРИЗИС

Биотехнология – одно из ведущих и активно развивающихся направлений мировой науки. Область применения разработок практически неограниченна: здравоохранение, сельское хозяйство, текстильная и пищевая промышленность, охрана окружающей среды и т.д. В эту отрасль ведущие страны мира вкладывают сотни миллиардов долларов, как в важнейшую область экономики. Что же происходит в России?

В конце XX в. страна, являвшаяся одним из мировых лидеров в области биотехнологий, утратила многие по-

зиции и значительно уступает не только большинству промышленно развитых стран, но и некоторым странам третьего мира. Несмотря на то что биотехнология отнесена к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ, объем финансирования отрасли составляет лишь \$0,04 млрд. в год, в то время как в Китае – \$1 млрд., а в США – \$100 млрд. Кроме того, как отмечалось на II съезде общества биотехнологов России, наша страна занимает 70-е место в мире по инновационному рейтингу.



ВСЕМИРНОЕ ЛЕТО **приближается**

МАТЕМАТИКА

Масштабные
расчеты
показывают,
что к середине
XXII века
арктический
ледниковый щит
будет разрушен.

Моделирование изменений климата в XIX–XXII столетиях было проведено Институтом вычислительной математики РАН. Подобные расчеты изменения климата в масштабе нашей планеты проводились и ранее, но впервые была использована модель общей циркуляции атмосферы и океана, разработанная в ИВМ РАН.

По словам директора института академика В.Р. Дымникова, математи-

ческие модели такой сложности требуют многомесячных непрерывных вычислений.

Для создания удовлетворительной модели процессов, происходящих в земной атмосфере, приходится учитывать почти миллиард параметров, каждый из которых влияет на общий результат. Для этого необходимо не только собрать данные, но и обработать огромный массив информации.

Примерно год назад в ИВМ был установлен кластер из восьми двух-процессорных узлов на базе процессоров *Intel® Itanium® 2* с тактовой частотой 1,3 ГГц. Его пиковая производительность – около 80 гигафлопс (миллиардов операций в секунду).

Расчеты изменений климата проводились со скоростью 10 лет модельного времени за сутки реально. Атмосферный блок модели имел разрешение 5×4 градуса по долготе и широте и 21 уровень по вертикали. В океане разрешение составило 2,5×2 градуса и 33 уровня по вертикали. Для воспроизведения климата XIX–XX столетий и моделирования

климата XXI–XXII столетий использовались данные об изменениях концентраций парниковых (углекислого газа, метана, закиси азота) и радиационных газов, вулканического и антропогенного аэрозоля, интенсивности солнечного излучения за последние пятьдесят лет. Результаты моделирования сравнивались с реальными наблюдениями за последние сто лет. Расчет динамики изменения температуры приповерхностного воздуха показал, что процессы, протекавшие в атмосфере с 1890 по 1990 г., воспроизводятся достаточно точно. Затем исследователи приступили к решению главной задачи – моделированию изменений температуры на протяжении XXI–XXII веков.

Согласно сценарию, потепление в конце XXII столетия по сравнению с концом XX века превысит 3°C. Повышение температуры из-за термической инерции океана продолжится и после 2100 г., несмотря на то, что концентрации всех газов будут неизменны.

Географическое распределение изменения температуры за тот же период показывает, что максимальное потепление – на 10°C – произойдет в Арктике. Меньше чем через 200 лет ледяной щит в районе Северного полюса практически исчезнет, льды будут образовываться там только зимой и полностью таять летом. Значительно (на 4–6°C) повысится температура в умеренных широтах континентов Северного полушария, а меньше всего (на 2–3°C) воздух потеплеет над океанами в Южном полушарии.

В ближайшее время кластер будет расширен вдвое, что позволит произвести подробные расчеты изменения климата в XXI–XXII столетиях согласно другим сценариям.

Однако по мнению участников форума, предпосылки для возрождения биотехнологии в России есть: сохранилась интеллектуальная и производственная база, ведутся исследования, в том числе международного уровня, создаются научно-образовательные центры. Очевидно, что необходимо государственный подход к решению проблем, существующих в биотехнологической области науки. По мнению президента общества биотехнологов России академика РАН Анатолия Воробьева, в первую очередь необходимо принятие федеральной целевой программы, что позволит, в частности, создать усло-

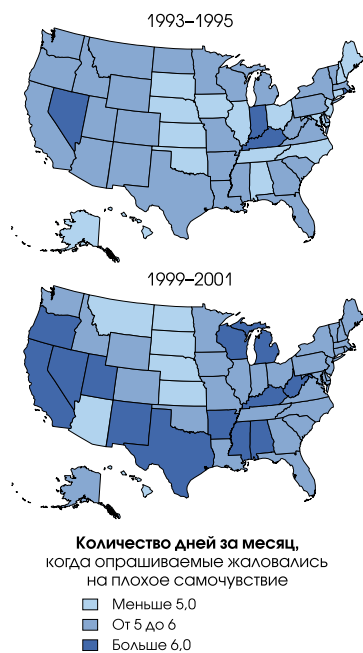
ПРОИЗВОДСТВО БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Годы	Мировой объем (млрд.\$)	Россия (млрд.\$)
1980	30	1,5
1990	95	3,2
2000	234	0,4
2010	Свыше 1000	2,5

вия для продвижения отечественной продукции как на отечественном рынке, так и за рубежом.

проблемы здравоохранения

ЗДОРОВЬЕ



Источник: Данные были получены в ходе опроса, проведенного Мэттью Заком. Респондентам был задан вопрос: «На протяжении скольких дней вы ощущали плохое психическое и физическое состояние в данном месяце?»

БОЛЬНЫЕ И ЗДОРОВЫЕ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Количество граждан без страховки		
Миннесота	8,7	Техас 24,6
Детская смертность на 1 тыс. новорожденных:		
Нью-Гемпшир	3,8	Делавер 10,7
Процент младенцев, не прошедших вакцинацию:		
Массачусетс	9,3	Техас 25,2
Процент взрослого населения, курящих ежедневно:		
Юта	8,6	Кентукки 26,8
Процент алкоголиков:		
Теннесси	2,2	Висконсин 8,6
Процент больных диабетом:		
Колорадо	4,7	Миссисипи 11
Процент больных астмой:		
Гавайи	5,6	Мэн 9,9

Источник: U.S. Census Bureau, National Center for Health Statistics, and the Centers for Disease Control and Prevention. Исследования проведены в 2003 г., данные о детской смертности – за 2001 г.

Сокращение бюджетных средств угрожает здоровью нации.

Система медицинского обслуживания становится хуже – к такому выводу пришли ученые из Ричмондского университета, опубликовавшие свои исследования в журнале *Governing*. Несмотря на то что в последние годы в США были созданы эффективные методы лечения различных заболеваний, для большинства граждан качественное медицинское обслуживание все еще остается недоступным. Доказательством ухудшения здоровья нации может служить то, что количество американцев, страдающих диабетом и имеющих избыточный вес, значительно увеличилось. По данным Мэттью Зака (Matthey Zack) из Центра по контролю и профилактике заболеваний, основную группу риска составляют люди среднего возраста и выпускники школ. Воспользовавшись социологическими исследованиями, группа Зака составила карту физического и психического здоровья американцев за период 1993–2001 гг. Приведенные данные свидетельствуют о существенном ухудшении здоровья в 1999–2001 гг. по сравнению с 1993–1995 гг.

В некоторых штатах в последние годы сократились расходы на здравоохранение и были направлены средства на борьбу с биотерроризмом. Такие действия администрации привели к снижению уровня медицинского обслуживания рядовых американцев. На нужды здравоохранения в 2004 г. администрация США планирует израсходовать \$120 млрд., из них

59% будут получены из федерального бюджета, остальные – из бюджетов штатов. Двадцать лет назад на медицинские цели тратилось 8% федерального бюджета, а в следующем году эта цифра составит уже 2,5%.

В итоге в некоторых штатах сократилось финансирование важных направлений, связанных с искоренением туберкулеза и астмы. Свертывание программ по укреплению психического здоровья американцев привело к тому, что десятки тысяч граждан оказались на улице или в тюрьме. В штате Кентукки оказалась «под ударом» помощь престарелым, а в Техасе снижены расходы на детское здравоохранение, что в дальнейшем может привести к дополнительным расходам. Есть, конечно, и положительные примеры. В Неваде действует программа по защите психического здоровья граждан, а на Аляске совершенствуется система для оказания содействия престарелым. Но это лишь капля в море.

Рост стоимости медицинского обслуживания влияет на бюджеты штатов. Сокращение количества граждан, имеющих медицинскую страховку, приводит к дополнительным затратам, поскольку в соответствии с федеральным законом от 1974 г. работодатель не обязан обеспечивать страховкой своих служащих. Только в штате Гавайи закон не вступил в силу, поэтому состояние здоровья граждан, если судить по приведенным на иллюстрации данным, не внушает опасений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- A Case of Neglect: Why Health Care is Getting Worse, Even Though Medicine is Getting Better.
- Katherine Barrett, Richard Greene and Michele Mariani in *Governing*, Feb. 2004 <http://governing.com>

сенсорные сети – В ИНТЕРНЕТ

КОМПЬЮТЕРЫ



Новая концепция структурной архитектуры Интернета – Planet Lab – обеспечит переход на новые скорости и объемы передачи информации.

Переход к беспроводному доступу, основанному на протоколе *Ipv6*, позволит кардинально увеличить число устройств, подключенных к Сети, снизить их стоимость и сделать их максимально доступными. Однако внедрение протокола потребует времени и немалых затрат. Более дешевый и быстрый путь решения проблемы – создание сети вычислительных сервисов – систем, расположенных в узлах сети и центрах маршрути-



зации. Инициатором разработки новых систем стала компания *Intel*, специализирующаяся в области микропроцессорных технологий. Сейчас сеть включает 436 узлов, расположенных в 194 городах 22 стран мира, и постоянно растет.

На третьем форуме *Intel* для разработчиков, прошедшем осенью в Москве, отмечалось, что позиционирование новинок началось с великолепной работы службы регистрации, обеспечившей тщательный дистанционный контроль за почти тремя тысячами собравшихся. На простом примере присутствующие увидели возможности централизованной системы управления инфраструктурой.

Президент *Intel* в России С. Чейз, говоря о тенденциях перспективных разработок в компьютерной области, отметил, что главный потенциал *Intel* – развитие разнообразных ресурсов, в том числе и технических, и поиск талантливых разработчиков.

Благодаря беспроводным технологиям за последние четыре года количество пользователей Интернета выросло в 10 раз.

Логическим дополнением к форуму стала выставка, где демонстрировались варианты технологических решений, новые способы использования ПК, Интернета, проводились демонстрации программного обеспечения и семейства новых системных плат, в том числе система для распознавания речи в телефонии, благодаря которой можно добиться взаимопонимания с иностранным партнером без услуг переводчика, разговаривая на родном языке.

Только последовательная инновационная политика, внедрение технологических достижений и новых концепций использования ИТ позволит России приблизиться к уровню развитых стран.

СОБЫТИЯ В ДЕКАБРЕ:

02.12 2004 г.

Научный семинар «Биополитика», рук. М.В. Гусев, А.В. Олескин, Д.А. Кировская «Популяционно-коммуникативные подходы в отечественной микробиологии»
МГУ, Москва

02.12–03.12 2004 г.

2-я Международная конференция «Единое информационное пространство–2004»
Днепропетровск

03.12–04.12 2004 г.

Межрегиональная научно-практическая конференция «Гуманитарные и естественнонаучные факторы решения экологических проблем и устойчивого развития»
г. Новомосковск Тульской обл.

10.12–11.12 2004 г.

Всероссийская научно-практическая конференция «Качество образования: теория и практика»
г. Анжеро-Судженск

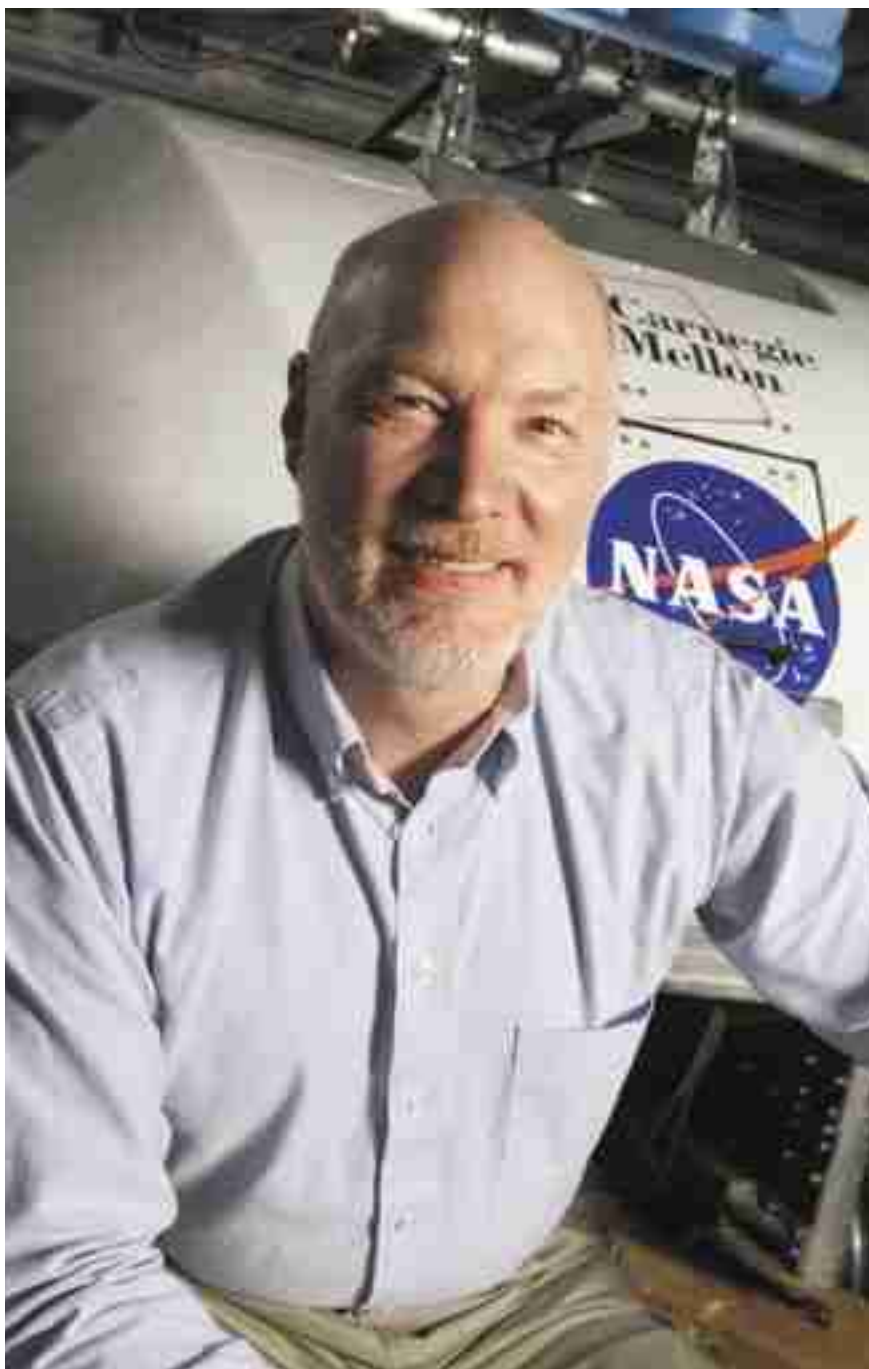
23.12 2004 г.

Семинар «Русская философия (традиции и современность)», рук. В.П. Визгин «Габриэль Марсель и русская философия»
Москва

Уэйт Гиббс

ОТ ФИНИША **к старту**

На первый взгляд гонка роботов-автомобилей «Крепкий орешек», прошедшая в марте 2004 г., потерпела фиаско. Однако Уильям Уиттейкер придерживается диаметрально противоположного мнения.



**УИЛЬЯМ УИТТЕЙКЕР:
ЗАСТАВИМ РОБОТОВ РАБОТАТЬ!**

■ Его роботы участвовали в демонтаже атомной электростанции *Three Mile Island*, а также в поисках метеоритных обломков в антарктических льдах.

■ На своей ферме он выращивает ячмень, овес, сено и разводит племенных бычков – правда, без помощи роботов.

■ Однажды в Альпах гроза заставила его провести ночь под открытым небом на заснеженной вершине Маттерхорна.

Бывший морской пехотинец Уильям Уиттейкер (William «Red» Whittaker) работает в Университете Карнеги–Меллона, где возглавляет Центр полевой робототехники. Он считает, что гонка «Крепкий орешек», учрежденная Управлением перспективных исследований и разработок министерства обороны США (DARPA), способна не только содействовать созданию автоматических боевых машин, но и совершить переворот в этой области. Уиттейкер в свои пятьдесят шесть стал признанным разработчиком роботизированных самосвалов, зерноуборочных комбайнов и других автономных машин, а «Красную команду» возглавил скорее из честолюбия. Вряд ли он мечтал выиграть приз в миллион долларов, обещанный создателям робота, способного пройти трассу за 10 часов. Впрочем, призового фонда едва бы хватило на покрытие расходов.

По мнению Уиттейкера, гонка «Крепкий орешек» помогает роботам выйти из лабораторий и стать неотъемлемой частью окружающего мира. Большинство исследований в области робототехники сосредоточено на использовании отдельных датчиков, компьютерном моделировании роботов или конструировании машин, способных работать только в хорошо контролируемой обстановке. Уиттейкер смотрит на вещи шире. Он ставит задачу, а затем пытается ее решить. Как послать робота в ядерный реактор? Смогут ли автомат спуститься в жерло вулкана? Обе программы были успешно реализованы под его руководством. Он не боится проигрывать. «Крепкий орешек» – хорошее тому подтверждение.

Накануне первой в истории гонки роботов Уиттейкер прибыл в город Карсон, расположенный в восточной части пустыни Мохаве, где проходили полевые испытания автономного робота-автомобиля *Sandstorm*, созданного на базе армейского джипа *Hummer*.

Продемонстрировав машину одному из спонсоров своей команды, Уиттейкер с гордостью сообщил, что на днях она

самостоятельно прошла целых 13 км со скоростью 50 км/ч. Это большое достижение для мобильной робототехники. Но во время гонки ей предстояло проехать 230 км по опасным горным дорогам и песчаному бездорожью.

Проводив спонсора, Уиттейкер заглянул в кабину внедорожника, где, склонившись над ноутбуками, его подопечные исправляли программу робота, состоящую из полумиллиона строк. Однако ошибки, которые могут стать роковыми, можно обнаружить только в процессе длительного пробега. Поэтому команда получила новое задание – совершить пробный четырехсоткилометровый заезд...

Из пятнадцати автомобилей, выстроившихся на старте 13 марта, лишь девять сдвинулись с места, но добраться до финиша никому не удалось. Лучший результат показал *Sandstorm*. Пройдя 12 км, самоуправляемый джип снес два забора и столб со знаком «Осторожно кабель!». Наскочив на камень, робот съехал с дороги, но вскоре сумел вернуться на трассу. В конце концов он попытался срезать крутой поворот по горному склону, наехал левыми колесами на бордюр, зацепился подвеской за валун и застрял.

В одном из пробных заездов *Sandstorm* без происшествий прошел 92 км, разгоняясь порой до 56 км/ч. К сожалению, тремя днями позже, когда команда готовилась к запланированному Уиттейкером пробегу, в программу управления были поспешно внесены кое-какие изменения. Джип слишком разогнался и перевернулся. Машину пришлось срочно ремонтировать, поэтому на финальные испытания времени не осталось.

Такие показатели потрясли Клинта Келли (Clint Kelly), занимающегося программой развития передовых технологий в компании *Science Applications International*, Сан-Диего. Во время испытаний, проведенных министерством обороны США, самый лучший автоматический автомобиль самостоятельно проехал чуть больше 4 км со скоростью менее 6,5 км/ч. Для сравнения: *Sandstorm* без посторонней помощи

преодолел в три раза большее расстояние, двигаясь вчетверо быстрее.

Сейчас Уиттейкер готовит свою команду к следующей гонке, которую DARPA назначило на 8 октября 2005 г. Призовой фонд увеличили до \$2 млн. Список участников пополнился командами Стэнфордского университета и технологических институтов Массачусетса, Флориды и Рочестера, так что соперничество будет гораздо жестче. Возможно, теперь вопрос будет не в том, кто доберется до финиша, а в том, кто сделает это быстрее всех.



Незначительное изменение в программе управления привело к аварии. Испытания *Sandstorm* за четыре дня до гонки.

Уиттейкер назвал два главных условия победы в очередной гонке и в борьбе за внедрение мобильной робототехники в повседневную жизнь. Во-первых, необходимо убедить производителей автомобилей, компьютеров и специализированных датчиков в том, что им выгодно работать вместе. Для этого нужно заинтересовать общественность и политиков. Во-вторых, следует научить молодых инженеров изобретать надежные, рабочие системы, а не просто экспериментальные стенды.

«Юношеское упорство и фанатизм играют огромную роль, но подрастающее поколение разработчиков должно осознать, что их основная задача – испытание и доработки, а не изобретательство и проектирование», – считает Уиттейкер. ■

Алан Лайтмэн

ЭЙНШТЕЙН И НЬЮТОН два гения

Два гиганта науки схожи по уровню интеллекта и темпераменту.

Как измерить гений Альберта Эйнштейна? Когда мы вспоминаем Джеймса Кларка Максвелла, Людвигу Больцмана, Чарльза Дарвина, Луи Пастера и Антуана Лавуазье, то лишь Исаак Ньютон сопоставим с Эйнштейном по масштабу научных достижений.

И Эйнштейн, и Ньютон обладали интеллектом, который позволил им заглянуть в будущее. Ньютон изобрел дифференциальное и интегральное исчисления, сформулировал законы механики, движения и предложил теорию всемирного тяготения. Эйнштейн заложил основы двух небоскребов современной физики – частной теории относительности и квантовой механики, а также создал новую теорию гравитации.

Помимо конкретных достижений оба ученых радикально изменили научные представления о мире. Сегодня мы говорим о «ньютоновской» и «эйнштейновской» вселенных, первая из которых представляет собой мир абсолютов, а вторая – мир относительностей.

Во вселенной Ньютона время течет неумолимо, всегда с одной и той же скоростью ныне и вовеки. Каждое событие имеет причину, исключений нет. Будущее предсказуемо на основе прошлого.

Во вселенной Эйнштейна время не абсолютно, а скорость его течения зависит от наблюдателя. Более того,



согласно новой квантовой физике, которую Эйнштейн помог создать, несмотря на ряд оговорок, внутренняя неопределенность природы на субатомном уровне исключает возможность предсказания будущего на основе прошлого. Несомненное бесспорное должно быть заменено вероятностным развитием событием.

Такие идеи выходят за рамки научных теорий. Это не только философия, но и различные способы существования во Вселенной.

Оба гения, как многие теоретики, сделали важнейшие открытия в середине третьего десятилетия своей жизни. Экспериментатор Ньютон открыл, что свет состоит из различных цветов, и разработал соответствующие математические методы. Эйнштейн же, полагаясь на свое чутье, пришел к признанию неевклидовой геометрии Римана и Гаусса, столь необходимой для его геометрической теории тяготения.

Оба были творческими натурами и стремились к простоте, изяществу и математической красоте. Как истинные художники, они любили уединение. Ньютон, решая какую-то задачу, месяцами не выходил из кабинета, а у Эйнштейна никогда не было аспирантов, и он редко преподавал.

Оба были одиночками, причем Ньютон в большей степени. Он казался необщительным, и, как сказал



Вольтер, «у него не было ни страстей, ни слабостей. Его никто никогда не видел рядом с женщиной». Ньютон даже сформулировал план сохранения своей непорочности: «Не обязательно бороться с греховными мыслями, можно просто заняться чтением или предаться размышлениям».

На склоне лет Эйнштейн активно участвовал в общественной жизни, например, в поддержке Лиги за права человека, читая лекции по всему миру о политике, философии и образовании. Он содействовал учреждению Еврейского университета в Иерусалиме.

У Эйнштейна было много романтических приключений, но он казался таким же одиноком, как Ньютон. В 52 года он писал:

«Мое страстное чувство социальной справедливости и ответственности всегда резко контрастировало с ярко выраженным отсутствием потребности в прямых контактах с другими людьми и сообществами. Я – «одинокий путник», и никогда мое сердце не принадлежало ни моей стране, ни друзьям, ни семье».

И Ньютон, и Эйнштейн яростно защищали свою независимость.

Исаак Ньютон и Альберт Эйнштейн оставили богатое научное наследие. До Ньютона считалось, что человечеству предначертано познавать только то, что ему намерен открыть Бог. Адам и Ева были изгнаны из рая за то, что отведали плод от древа познания. Зевс приковал Прометея к скале, поскольку тот даровал людям огонь, который был тайной богов. Когда в «Утерянном рае» Джона Милтона Адам спросил ангела Рафаила о небесной механике, то получил ответ: «Остальное Великий Архитектор мудро утаил и от людей, и от ангелов». В своем фундаментальном труде «Начала» (*The Principia*, 1687) Ньютон отмел все религиозные запреты и ограничения и провел строгое математическое рассмотрение всех известных явлений физического мира – от маятников и пружин до комет и орбит планет. После Ньютона физический мир стал доступен познанию.

Эйнштейн с его, казалось бы, абсурдными постулатами частной теории относительности показал, что великую истину природы нельзя постичь одним внимательным наблюдением внешнего мира. Ученые должны начинать с гипотез и логических построений, которые лишь впоследствии могут быть экспериментально проверены. Например, жизненный опыт убеждает нас, что ход времени неизменен, однако это представление ошибочно.

Современная физика пришла наконец к пониманию вещей, находящихся за пределами человеческого восприятия и жизненного опыта. Эйнштейн подверг сомнению вековые представления о приоритете эмпирических исследований и жизненного опыта. Он оспорил также знаменитое высказывание Ньютона «я не создаю гипотез» (*hypotheses non fingo*), которым британский исследователь хотел сказать, что он не кабинетный мыслитель вроде Аристотеля, а ученый, который строит свои теории на основании наблюдаемых фактов.

В своей автобиографии Эйнштейн так сформулировал отход идей от Ньютона:

«Простите меня, Ньютон. Созданные Вами концепции даже сегодня влияют на научные исследования в физике, но их придется заменить другими, более далекими от сферы непосредственного опыта...»

В предисловии к изданию «Оптики» Ньютона в 1931 г. Эйнштейн писал:

«Природа была для него открытой книгой... Он был и экспериментатором, и теоретиком, и мастеровым, и художником... Он остался в воспоминаниях современников сильным, убежденным и одиноком».

Если бы Ньютон мог совершить путешествие во времени и появиться в будущем, он, возможно, сказал бы что-то похожее об Эйнштейне. ■

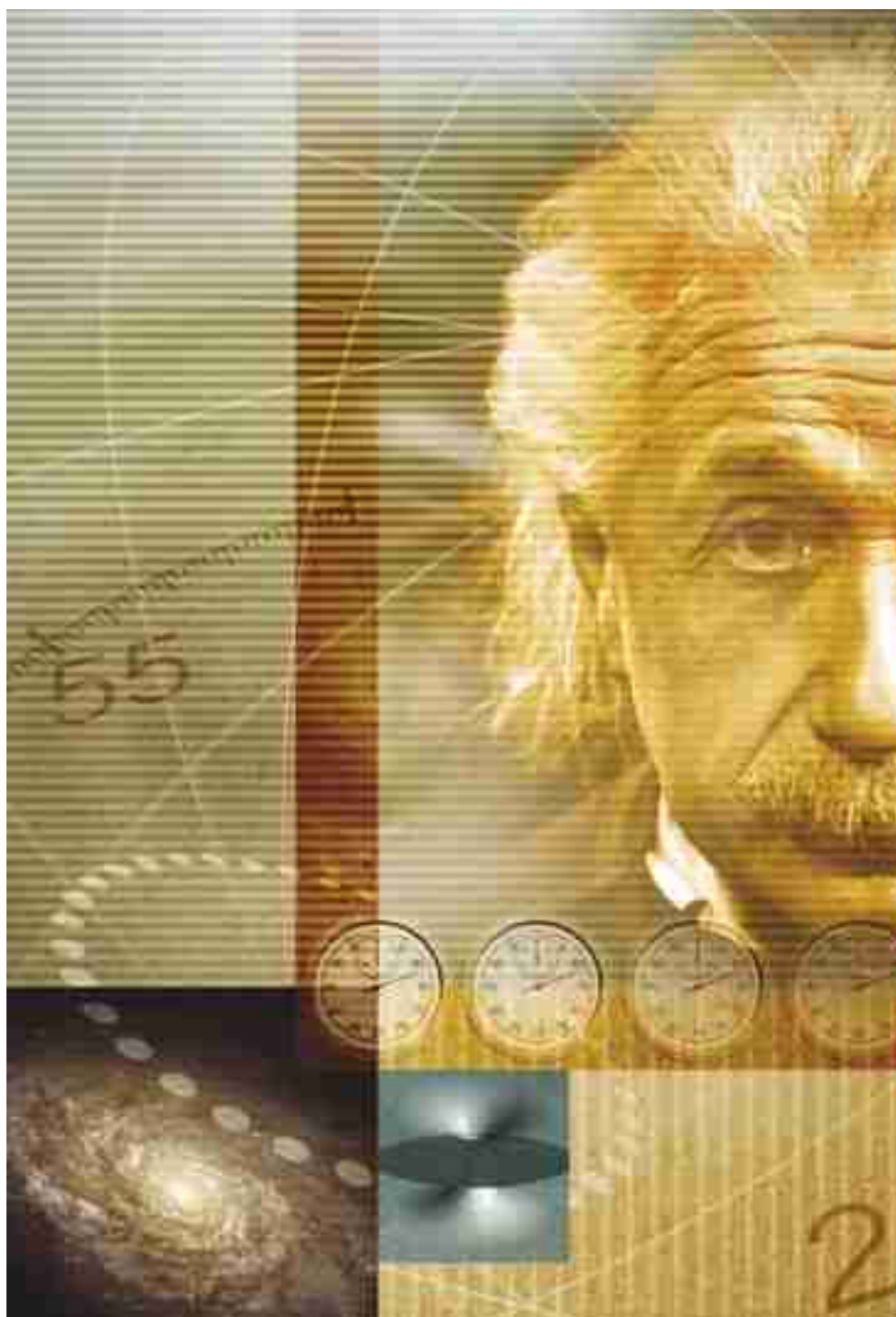
Алан Лайтмэн – физик и писатель-романист.

Гари Стикс

дети ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

*«Все с детства
знают,
что то-то
и то-то
невозможно.
Но всегда
находится
невежда,
который этого
не знает.
Он-то
и делает
открытие».*

*Альберт
Эйнштейн*



TOM DRAPER DESIGN; EINSTEIN PHOTOGRAPH BY PHILIPPE HALSMAN. © 1927 PHILIPPE HALSMAN ESTATE

Альберт Эйнштейн – символическая фигура в физике XX в. Его работы навсегда изменили наши представления о природе мира. «Ньютон, простите меня, пожалуйста», – говорил Эйнштейн, поскольку его теория относительности перечеркивала абсолютность времени и пространства, которую Верховный Судья всех физических явлений принял больше двух столетий назад.

Имея за плечами отвергнутую докторскую диссертацию, этот 26-летний эксперт патентного бюро, занимавшийся в свободное время исследованиями, осмелился утверждать, что физики тех дней «мыслили поверхностно». Кроме частной и общей теорий относительности его работы помогли рождению квантовой механики и современной статистической физики. Современная революция в биотехнологии тоже во многом обязана работе Эйнштейна, представившей свидетельства существования молекул и их поведения.

Удивительно, но большую часть своих теоретических работ он опубликовал в течение одного 1905 г. История не знает других столь плодотворных периодов деятельности ученого. Известно лишь, что в 1665–1666 гг. Исаак Ньютон, запершись от чумы в загородном доме, начал излагать основы дифференциального и интегрального исчисления, закона тяготения и теории цветов.

В ознаменование столетия с момента появления теории Эйнштейна международное сообщество физиков объявило 2005 г. Всемирным годом физики.

В течение всего XX в. ученые проверяли, претворяли в жизнь и внедряли в практику идеи, вытекающие из работ Эйнштейна. Всем известно, что его формула $E = mc^2$ послужила ключом к созданию атомной бомбы и стала основой всего последующего развития физики. Предложенное Эйнштейном объяснение внешнего фотоэффекта легло в основу ряда технологий – от фотодиодов до переда-

ющих трубок телевизионных камер (см. «Повсеместный Эйнштейн»).

Прошло немало лет, прежде чем были полностью экспериментально подтверждены его теории, что свидетельствует о гениальности ученого. Многие из самых интересных современных работ в области физики ставят еще более грандиозные цели – пойти дальше Эйнштейна

лась относительности, но принесла ему в 1922 г. Нобелевскую премию.) В исследовании «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света» («Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt»), законченном в марте, Эйнштейн заимствовал и развил идею Макса Планка о кван-

Докторская диссертация Эйнштейна была расценена Цюрихским университетом как посредственная.

и решить задачи, подобные тем, над которыми он безуспешно бился последние 30 лет своей жизни, буквально до смертного часа.

Ясно, что общая теория относительности и физика частиц не дают полного описания мира, поскольку последняя в принципе является квантовой, а кванты и общая теория относительности, как вода и масло, не смешиваются. Десятки лет Эйнштейн пытался найти теоретические основы объединения относительности с электромагнетизмом. Современное поколение ученых разрабатывает теории, вооружившись более полным, чем располагал Эйнштейн, описанием фундаментальных физических сил, и подходит к решению задач без его предубеждений против квантовой механики. Для физиков, добившихся успеха, это может означать бессмертие, подобное бессмертию Эйнштейна и Ньютона, или новое представление о природе и новые технологии, столь же нереальные сегодня, как черные дыры и квантовые компьютеры 100 лет назад.

Весной 1905 г. молодой «раб патентов», как называл себя сам Эйнштейн, отправил своему другу Конраду Хабихту (Conrad Habicht) письмо, где сообщал, что собирается послать ему «несуразный лепет», представленный в виде статей. (Одна из работ в этой серии, которую Эйнштейн назвал революционной, не каса-

тах – о том, что энергия горячего тела может испускаться и поглощаться только некоторыми дискретными порциями.

Статью ученый закончил в марте 1905 г., и она стала одной из трех опубликованных в журнале *Annalen der Physik* от 7 июня, где Эйнштейн применил концепцию квантов для объяснения внешнего фотоэффекта – испускания электронов заряженным металлом под действием света. Объяснение состояло в том, что пучок света состоит из частиц, названных фотонами, тогда как в это время преобладало мнение, что свет имеет только волновую природу. Статья помогла признать двойственную природу света – как потока волн и частиц – и тем самым заложила основы квантовой механики.

В 1902 г. Цюрихский университет отверг докторскую диссертацию Эйнштейна, расценив ее как посредственную работу о силах притяжения между молекулами газа. Ученый, однако, не отказался от идеи получить докторскую степень и летом 1905 г. предпринял вторую попытку. По словам его сестры Майи, сначала он представил свой труд по частной теории относительности, но университет отклонил и ее. Тогда Эйнштейн предложил исследование «Новое определение размеров молекул», которое он закончил 30 апреля и опубликовал ▶

Самая ранняя из известных фотографий Альберта Эйнштейна.



Родился в Ульме (Германия). Девиз города: «Жители Ульма – математики».

Окончил Цюрихский политехнический институт.

Умер отец, Герман Эйнштейн.

Родился сын Ханс-Альберт (умер в 1973 г.).

Чудесный год: Эйнштейн написал ряд статей, опубликованных в ведущем немецком физическом журнале *Annalen der Physik*.

Статья «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света – квантах света и фотоэффекте».

Статья «О движении малых частиц, взвешенных в неподвижной жидкости, в соответствии с требованиями молекулярно-кинетической теории тепла», развивающая идеи **о взаимодействии молекул** и расширяющая тему, впервые рассмотренную Эйнштейном в докторской диссертации.

1879 **1895** **1897** **1900** **1901** **1902** **1903** **1904** **1905**

В возрасте 16 лет написал **первую научную работу** «Об исследовании состояния эфира в магнитном поле».

Познакомился с физиком и инженером Мишелем Бессо, ставшим на всю жизнь другом и последователем Эйнштейна.

Получил гражданство Швейцарии.

Милева Марич родила Эйнштейну внебрачную **дочь Лизерль**. Ее дальнейшая судьба неизвестна; возможно, она умерла, а возможно, он отказался удочерить ее.

Женился на Милеве Марич.

Статья «К электродинамике движущихся тел», в которой излагается **частная теория относительности**, – новое понимание соотношения между пространством и временем. Самая революционная из всех четырех работ.

Статья «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?», дополняющая труд о теории относительности и демонстрирующая **взаимозаменяемость массы и энергии**.



Фрагмент оттиска статьи «К электродинамике движущихся тел».

в журнале *Annalen der Physik* от 7 июня. Рассказывали, что идея статьи возникла, когда Эйнштейн беседовал с лучшим другом Мишелем Бессо (Michele Besso) за чашкой чая. Рассуждая о связи вязкости жидкости с размерами растворенных молекул сахара и рассматривая их совокупность, ученый вывел математическое выражение, определяющее скорость диффузии. Сопоставив коэффициент диффузии с вязкостью раствора, ученый определил размеры молекул сахара.

К тому времени Эйнштейн закончил статью, которую он также посвятил «точному определению размера атома», существование которого некоторыми еще ставилось под сомнение. Исследование называлось «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты» (*Über die von molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*) и было опубликовано в том же номере *Annalen der Physik* от 7 июня. В нем предсказыва-

лись число и масса молекул в данном объеме жидкости и характер их перемещения. Беспорядочное движение было известно под названием броуновского, по имени Роберта Броуна (Robert Brown), еще в начале XIX в. впервые наблюдавшего движение частиц пыльцы растений в воде. Эйнштейн предположил, что движение молекул воды столь интенсивно, что они непрерывно подталкивают взвешенные частицы, блуждания которых и наблюдаются под микроскопом. Работа положила начало современной статистической механике и позволила разработать методы, нашедшие применение в самом широком круге дисциплин (см. *Атомные перспективы XXI века*).

Следующая статья, завершенная в конце июня, называлась «К электродинамике движущихся тел» (*Zur Elektrodynamik der bewegter Körper*). Идея относительности зародилась за столетия до Эйнштейна. В 1632 г. Галилео Галилей предположил, что все физические законы одинаковы независимо от движения наблюда-

теля, если скорость этого движения не меняется: для человека на палубе корабля, идущего с постоянной скоростью, камень, выпущенный с верхушки мачты, должен лететь прямо вниз, так же, как он падал бы на неподвижном корабле. Такой принцип относительности был справедлив для всех законов механики, сформулированных Ньютоном в середине XVII в. Однако это благолепие было нарушено в конце XIX в., когда был открыт электромагнетизм. Уравнения Максвелла показали, что электромагнитное излучение распространяется в виде волн, и физики предположили, что оно происходит в некоей среде, названной эфиром, подобно тому, как звуковые волны распространяются в воздухе. Максвелл показал, что в вакууме свет и другие электромагнитные колебания должны распространяться со скоростью 300 тыс. км/с относительно наблюдателя в системе отсчета, неподвижной относительно эфира. Однако в мире эфира принцип относительности для света не выполнялся. Для движущего-

EXCEPT AS NOTED, ALL TIMELINE PHOTOGRAPHS COURTESY OF ALBERT EINSTEIN ARCHIVES, JEWISH NATIONAL AND UNIVERSITY LIBRARY, HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM, ISRAEL; © HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM (1905 manuscript)



Фрагмент рукописи «Основ общей теории относительности».

«Самая счастливая идея в моей жизни» – о неразличимости гравитации и ускорения в локальной системе отсчета – открыла Эйнштейну путь к созданию общей теории относительности.



Завершена работа «Основы общей теории относительности» – ее первое систематическое изложение.

Узнал из телеграммы, что два члена британской экспедиции по данным наблюдений солнечного затмения подтвердили предсказание общей теории относительности об искривлении световых лучей гравитационным полем Солнца.

Умерла мать, Паулина Эйнштейн.



Получил Нобелевскую премию по физике за достижения в области теоретической физики, в частности, за изучение фотоэффекта.



Назначен внештатным профессором теоретической физики Цюрихского университета.

Родился сын Эдуард (умер в 1965 г.).

Милева Марич со своими сыновьями Эдуардом (слева) и Хансом-Альбертом.



Назначен профессором Берлинского университета.

Расстался с Милевой, она с сыновьями вернулась в Цюрих.

Написал статью, в которой были изложены основы физики лазеров.

Развелся с Милевой и женился на своей двоюродной сестре Эльзе Лёвенталь, урожденной Эйнштейн, с которой жил в Берлине.

Во время первой поездки Эйнштейна в США его принимали там как героя и великого ученого.



Стал членом Комиссии Лиги Наций по интеллектуальному сотрудничеству.

Опубликовал первую работу по единой теории поля; всю оставшуюся жизнь Эйнштейн посвятил безуспешным попыткам создать теорию, которая объединила бы все законы физики.

Кортеж Эйнштейна в Нью-Йорке.

ся наблюдателя скорость света уже не должна быть равна 300 тыс. км/с. Однако эксперименты не выявили такого отличия для движущихся объектов. Скорость света оставалась одной и той же во всех случаях.

Именно к данному противоречию между электромагнетизмом и остальной физикой и обратился Эйнштейн, которого не устраивало, что принцип относительности не может объяснить электромагнитные явления, как он объясняет механику. В статье о частной теории относительности, опубликованной в августе 1905 г., Эйнштейн подтвердил применимость этого принципа ко всей физике, показав его приложение к электромагнетизму, и доказал постоянство скорости света. Однако, разрешив один парадокс, статья поставила ученых перед новым, опрокидывающим интуитивные представления о природе вещей. Скорость света оказывалась одной и той же, как для того наблюдателя, который сидит в кресле на веранде, так и для другого, несущегося на фантастическом

космическом корабле с постоянной скоростью, близкой к световой.

Постоянство скорости света сокрушило наши представления об абсолютности и неизменности времени и пространства. Скорость – это отношение пройденного расстояния ко времени, за которое оно было пройдено. Чтобы скорость в левой части уравнения оставалась неизменной, время и расстояние для наблюдателя, находящегося в кресле и следящего за объектом в другой системе отсчета (в космическом корабле), должны изменяться. В частности, домоседу в качалке течение времени у пролетающего над ним астронавта будет представляться замедленным, а размер космического лайнера в направлении его движения – уменьшенным.

Если бы земной наблюдатель смог каким-то образом измерить массу тех людей, что находятся в космосе, он обнаружил бы, что она стала больше, чем была до старта корабля.

Пятая и последняя статья Эйнштейна, вышедшая в 1905 г., в том же *Annalen der Physik* в ноябре, слу-

жила дополнением к работе о частной теории относительности. В ней Эйнштейн утверждал, что масса тела служит «мерой его энергетического содержания». Эту концепцию он сформулировал в 1907 г. в виде самого знаменитого уравнения всех времен: $E = mc^2$, примененного к кинетической энергии, энергии движения. Чем быстрее перемещается космический корабль относительно человека в кресле, тем больше его кинетическая энергия, которая ведет себя как масса, затрудняя разгон. С приближением скорости корабля к скорости света дополнительная энергия, необходимая для его дальнейшего движения, становится такой большой, что разгон оказывается практически невозможным, и это одна из причин, по которым путешествия со скоростью, превышающей скорость света, остаются уделом научной фантастики.

Но самая значительная работа появилась после 1905 г. Общая теория относительности, опубликованная Эйнштейном в 1916 г., затмила все открытия, сделанные им как ▶

1925 Открыта обсерватория **Башня Эйнштейна** в Потсдаме, под Берлином.

1925 **Заболел** и четыре месяца был прикован к постели.

1928 Встретился с Эдвином Хабблом, который впервые использовал эффект Доплера для доказательства расширения Вселенной и убедил Эйнштейна в существовании Большого взрыва. Под влиянием теории Хаббла Эйнштейн отказался от **космологической постоянной** – математического члена, введенного им ранее для обеспечения стационарности модели Вселенной.

1930 У Эдуарда, **первого внука** от Ханса-Альберта, развилась шизофрения.

1931 Опасаясь развития событий в Германии и прихода к власти Гитлера, Эйнштейн и Эльза уехали на работу в **Калифорнийский технологический институт**, предполагая через год вернуться домой в Капут.

1932 Прибыл в Принстон (штат Нью-Джерси) для работы в новом **Институте передовых исследований**.

1933 Нацисты обыскали дом Эйнштейна в Капуте, но ничего не нашли: падчерица Эйнштейна сумела тайно переправить его статьи за границу.

1935 Отплыл на Бермудские острова, чтобы получить иммигрантскую визу США; больше он страну не покидал.

1936 Подписал письмо президенту США Франклину Рузвельту, где сообщал об открытии деления ядер урана и предупреждал об опасности создания ядерного оружия. Вопреки общему убеждению, это письмо и уравнение $E = mc^2$ стали его единственным крупным вкладом в создание атомной бомбы.

Эйнштейн с сыном Хансом-Альбертом и внуком Бернхардом.

Дом Эйнштейна в Принстоне.

В возрасте 60 лет от болезни сердца и почек умерла вторая жена Эльза.

Вместе с Борисом Подольским и Натаном Розеном написал статью, где критиковал квантовую механику.

С Эдвином Хабблом (справа).

до этого (и достижения всех других физиков, за исключением, возможно, Ньютона), так и впоследствии (см. «Эйнштейн и Ньютон. Два гения»). Математик Анри Пуанкаре (Henri Poincaré) почти обошел Эйнштейна, однако не смог сделать последнего, но жизненно важного шага – отказаться от эфира. Частная теория относительности устранила противоречия между механикой Ньютона и электромагнетизмом Максвелла, но только для тел, движущихся с постоянной скоростью по прямой. Для реального мира, в котором тела меняют направления и скорости своего движения, нужна была общая теория относительности. Иными словами, требовалось учесть влияние ускорений, включая самое универсальное из них – гравитационное. Ньютон считал, что сила тяготения действует мгновенно на любых расстояниях, но Эйнштейн представил ее как свойство пространства и времени. Звезда или любое иное массивное тело искривляют пространство Эйнштейна и время вокруг него, и планеты дви-

жутся в пространственно-временном континууме по криволинейным траекториям.

Через три года после опубликования общей теории относительности наблюдение солнечного затмения выявило предсказанное ею гравитационное отклонение световых лучей от звезд Солнцем. Подтверждение теории мгновенно сделало Эйнштейна героем средств массовой информации, хотя большинство обывателей не могли осознать, что же он открыл. Лондонская *Times* заметила, что во всем мире только 12 человек поняли его теорию. Конечно, это было некоем преувеличением. Сразу же возникла масса его горячих поклонников.

Журнал *Scientific American* даже профинансировал конкурс на самое понятное объяснение относительности с призом в \$5 тыс., который привлек сотни участников. Эйнштейн пошутил, что он один в нем не участвовал. «Я боялся, что не справлюсь», – заметил он (см. «Век с Эйнштейном»).

С 1916 по 1925 г. Эйнштейн внес вклад в квантовую теорию, написав работу о вынужденном излучении, ставшем впоследствии основой физики лазеров. Однако он разочаровался в квантовой механике, которая для объяснения явлений в субатомном мире использовала вероятностные категории, а не строгие причинно-следственные связи. Всю оставшуюся часть своей жизни он посвятил созданию теории единого поля, которая должна была не только представить электромагнитное и гравитационное поля двумя проявлениями единой сущности, но и объяснить существование элементарных частиц и таких констант, как единичный заряд и скорость света.

Однако его труд не увенчался успехом. Возможно, это объясняется тем, что Эйнштейн отверг новый поворот квантовой физики, и отчасти потому, что в то время природа двух фундаментальных ядерных сил – сильного и слабого взаимодействий – еще не была хорошо понята. «Даже самые преданные

Сертификат о натурализации в США.



Стал гражданином США, сохранив швейцарское гражданство.

В Цюрихе умерла от инсульта первая жена Милева.

Написал последнее подписанное письмо давнему другу Бертрану Расселу с согласием включить свое имя в обращение ко всем народам с призывом о запрещении ядерного оружия.

1939

1940

1948

1952

1955



Отклонил предложение стать вторым президентом Израиля, хотя и отметил, что был очень тронут.

Умер в больнице от разрыва аорты. Его прах был развеян в тайном месте, возможно, над рекой Делавэр.

Письмо президенту Рузвельту.

TIMELINE COMPILED BY BETSY QUERNA

Ученый часто обращался к проблемам, связанным с пацифизмом, с мировым правительством, сионистским государством, призывал не допустить создания нацистами ядерной бомбы. «Эйнштейн жил стремлением к объединению – в политике, в общественных взглядах и даже в повседневных делах», – говорит Джералд Холтон (Gerald Holton), выдающийся ученик Эйнштейна из Гарвардского университета.

Если бы Эйнштейн благодаря какому-то чудесному искривлению времени и пространства неожиданно оказался среди нас, его мало тронуло бы всемирное празднование столетия его открытий. Он бы уклонился от торжеств Года физики в Иерусалиме, Цюрихе, Берлине или Принстоне, чтобы дать консультацию по гравитационным волнам, постулированным общей теорией относительности. А затем он направился бы в Стэнфордский университет, чтобы обсудить с учеными данные, полученные от «гравитационного зонда В» (*Gravity Probe B*) NASA, которые могут подтвердить предсказания теории относительности о том, что массивные вращающиеся тела, например Земля, увлекают за собой пространство и время.

Несомненно, Эйнштейн заинтересовался бы возрождением отвергнутой им космологической постоянной, которую теперь пытаются использовать для того, чтобы объяснить, почему расширение Вселенной ускоряется. Возможно, он выразил бы восхищение работами в области суперструн, мембран, М-теории и петлевой квантовой гравитации – всеми попытками объединить квантовую механику с гравитацией, входящей в общую теорию относительности. Его, конечно, порадовало бы, что физики стремятся вывести последовательную картину мира, которая позволила бы объяснить явления во всех масштабах от субатомного до общекосмического. ■

поклонники Эйнштейна не оспаривают того, что наука явно бы ничего не потеряла, если бы величайший физик последние 30 лет своей жизни (примерно после 1926 г.) просто путешествовал», – заметил Альбрехт Фёльзинг (Albrecht Fülising) в биографии Эйнштейна, изданной в 1993 г. Другие биографы были более милосердны. «Самым значительным наследием Эйнштейна стал продолжающийся поиск теории великого единства», – сказал Зеэв Розенкранц (Ze'Ev Rosenkranz), бывший хранитель работ Эйнштейна.

Эта задача и по сей день остается главной для выдающихся представителей теоретической физики, которые продолжают применять сложнейшую математику, пытаясь объяснить силы природы. Они даже использовали труды Теодора Калузы (Theodor Kaluza) и Оскара Кляйна (Oscar Klein), рассматривавших пятимерную Вселенную, – предположение, заинтересовавшее Эйнштейна в его поисках единой теории (см. «Ландшафт теории струн»).

Возможно, в результате экспериментальных поисков нарушений теории относительности удастся понять, как соединить квантовую механику и гравитацию в единую стройную теорию (см. «Поиск нарушений теории относительности»). А возрождение космологической постоянной Эйнштейна, силы отталкивания, противодействующей тяготению, остается важнейшей проблемой космологии, пытающейся разгадать тайну темной энергии (см. «Космическая загадка»).

Эйнштейн удивлялся, почему весь мир был так восхищен теорией относительности, которая лишь описывает физический мир и не имеет никакого отношения к субъективным психологическим взглядам релятивистов в культуре на время и пространство. «Я никогда не мог понять, почему теория относительности, проблемы и концепции которой так далеки от практической жизни, столь долго встречает живой интерес у широкой общественности», – говорил Эйнштейн.

Филип Ям

ПОВСЕМЕСТНЫЙ ЭЙНШТЕЙН



DVD-проигрыватели, цифровые камеры, навигационные приборы, калькуляторы и часы с солнечными батарейками – в каждом из перечисленных электронных устройств есть частичка эйнштейновского гения.

ANTHONY MARINO

«Я бы не советовал
создавать
коллективы
изобретателей,
так как
в результате
могут получиться
группы
укрывающихся
от работы
бездельников».

Альберт
Эйнштейн

Неудивительно, что идеи Эйнштейна положены в основу самых разных научных исследований, будь то ускорение частиц до околосветовых скоростей или изучение и моделирование астрономических явлений. Однако его труды во многом способствовали и развитию технологий, без которых немислима наша повседневная жизнь. Работы, в которых Эйнштейн описал, как свет воздействует на частицы, как атомы испускают излучение и как скорость и гравитация влияют на ход времени, сыграли огромную роль в создании множества необходимых современному человеку устройств.

Когда вы входите в супермаркет, двери открываются по сигналу фотоэлемента – «электронного глаза», обнаруживающего ваше приближение. Он состоит из слоя полупроводника, заключенного между двумя электродами. Снижение интенсивности света приводит к изменению тока в фотоэлементе, которое регистрируется электронной схемой, открывающей двери.

В таких датчиках используется фотоэлектрический эффект: свет, падающий на поверхность металла, выбивает из него электроны. Это явление было обнаружено еще в 1839 г. во Франции. Эйнштейн первым правильно объяснил его, полагаясь на расчеты немецкого физика Макса Планка. В 1900 г. на основании экспериментальных данных Планк пришел к выводу, что нагретые тела испускают свет заданной частоты

(или цвета) дискретными порциями – квантами. В уравнения, описывающие излучение так называемого черного тела, он ввел константу h – постоянную Планка.

Однако Эйнштейн понял, что h – не просто математическая величина, введенная для согласования теории с наблюдениями. Он предположил, что излучение распространяется не в виде непрерывного потока энергии, а пакетами. В своей работе, опубликованной в 1905 г., гениальный физик показал, что свет может вести себя как поток частиц – фотонов, которые способны выбивать электроны с поверхности металла. Эйнштейн объяснил также, почему при возрастании световой интенсивности количество выбиваемых электронов увеличивается, а скорость их вылета остается неизменной. Оказалось, что она зависит только от цвета попадающего на металл света. Эйнштейн предположил, что энергия фотона равна его частоте, умноженной на постоянную Планка. Последующие эксперименты подтвердили гипотезу. В 1921 г. за объяснение фотоэлектрического эффекта Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия по физике.

Фотоэффект используется в устройствах, которые зажигают уличные фонари с наступлением сумерек, регулируют плотность тонера в фотокопировальных машинах и устанавливают длительностью экспозиции при фото- и киносъемке – практически в любой электронике, управляющей освещением или реагирующей на ▶

ОБЗОР

- Теоретические работы Эйнштейна стали основой многих современных технологий.
- В солнечных элементах и электронных детекторах света используется фотоэлектрический эффект.
- Принцип действия лазеров основан на испускании атомами вынужденного излучения.
- Уравнения теории относительности позволяют вычислить необходимые поправки при определении координат пользователей системы *GPS*.

Филип Ям (Philip Yam) – редактор
отдела новостей *Scientific American*.

свет. Даже в приборах, определяющих содержание алкоголя в выдыхаемом воздухе, есть фотоэлемент, реагирующий на изменение цвета специального газа, вступающего в реакцию с парами спирта. Понимание законов фотоэлектрического эффекта привело к изобретению фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), состоящего из ряда металлических

электродов (динодов), помещенных в вакуумированный стеклянный баллон. Электрон, выбитый светом из первичной металлической мишени (фотокатода), попадает на динод и выбивает из него несколько новых электронов, которые ударяют следующий динод. Таким образом, на каждом диноде – на каждой ступени – число электронов умножается. Так проис-

ходит усиление слабого светового сигнала. ФЭУ широко используются в астрономических детекторах и телевизионных камерах.

Пожалуй, самое популярное применение фотоэлектрический эффект нашел в фотогальванических элементах, появившихся в 1950-х гг. Они способны превращать в электроэнергию от 15 до 30% энергии падающего на них света. Батареи таких элементов служат источником питания для многих устройств – от карманных калькуляторов и электронных часов до орбитальных космических аппаратов и луноходов.

Вынужденное излучение

Когда мы говорим о качественном звуке и видеоизображении, то сразу вспоминаем о CD- и DVD-дисках. Сегодня практически в каждом доме есть музыкальные центры, а многие уже успели обзавестись и DVD-проигрывателями. В любом устройстве, способном считывать информацию с компакт-дисков, есть фотоэлементы. Однако наибольший интерес представляет пучок когерентного света, заменивший патефонную иглу. Вездесущие лазеры обязаны своим появлением теоретической работе Эйнштейна, написанной в 1917 г.

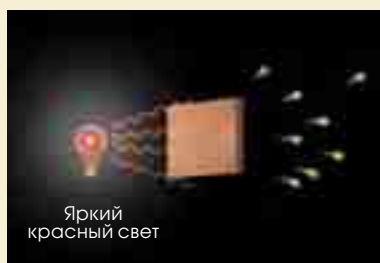
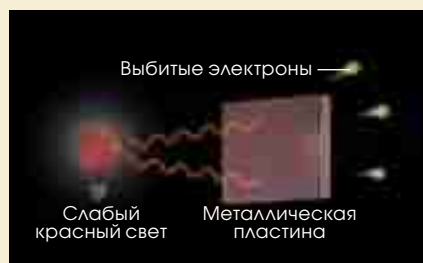
В статье «О квантовой теории излучения» им были изложены результаты исследований природы света и вещества. В частности, Эйнштейн пришел к выводу, что при поглощении света атомы возбуждаются – переходят на более высокий энергетический уровень. Спонтанно возвращаясь в исходное состояние, они испускают избыток энергии в виде света.

Эйнштейн заключил, что помимо поглощения и спонтанного излучения должен существовать третий вид взаимодействия, при котором падающий фотон заставляет возбужденный атом испустить еще один фотон. Далее они могут спровоцировать излучение света двумя другими атомами, в результате чего получится уже четыре фотона, затем восемь и т. д.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

Фотоэлектрический эффект, используемый в фотодатчиках, солнечных элементах и других электронных детекторах света, заключается в выбивании светом электронов с поверхности металлов. При этом их скорость зависит от длины волны света (от цвета), а не от его интенсивности. Классическая физика не в состоянии этого объяснить, поскольку в ней свет рассматривается как волна. Эйнштейн пришел к выводу, что свет ведет себя как поток дискретных порций энергии, т. е. частиц.



1 Красный свет выбивает электроны из металлической пластины. По классическим представлениям, свет – это волна, т.е. непрерывный поток энергии.

2 С возрастанием интенсивности света количество выбиваемых электронов увеличивается. С точки зрения классической физики, должна расти и их скорость, но этого не происходит.



3 Замена красного света синим приводит к значительному увеличению скорости выбиваемых электронов. Дело в том, что свет ведет себя как поток фотонов – дискретных порций энергии. Синий фотон несет в себе больше энергии, чем красный, и поэтому сильнее ударяет электрон (справа). Представление о свете как о потоке частиц позволяет объяснить и возрастание количества выбиваемых электронов с увеличением интенсивности света: чем больше фотонов попадает на пластину, тем больше частиц может быть выбито.

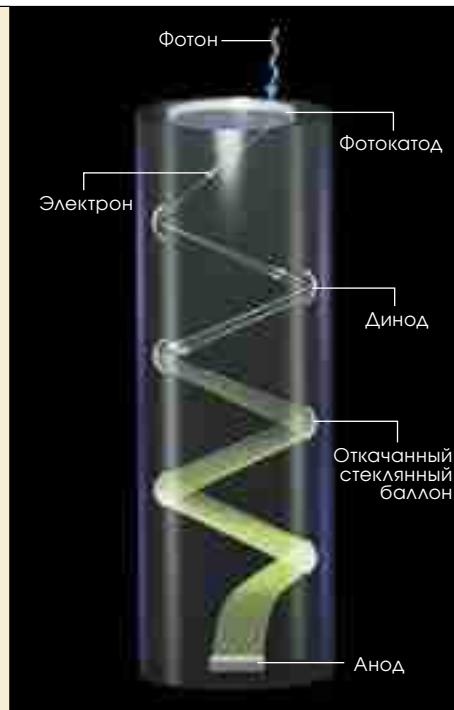


Для получения когерентного луча необходимо создать в материале инверсную заселенность (состояние, при котором возбужденных атомов значительно больше, чем невозбужденных) и собрать испущенные фотоны в интенсивный пучок. Осуществить это удалось лишь в 1954 г., когда Чарльз Таунс (Charles H. Townes) и его коллеги из Колумбийского университета, а также А.М. Прохоров и Н.Г. Басов в Москве, разделившие с Таунсом Нобелевскую премию 1964 года (*Прим. ред.*), создали мазер, в котором происходит усиление микроволн сверхвысокой частоты в результате вынужденного излучения.

В книге «Как появился лазер» (*How the Laser Happened*) Таунс восклицает: «До сих пор удивляюсь, почему лазер не был изобретен тридцатью годами раньше!» Не потому ли, что в работах Эйнштейна, описывающих, как вынужденное излучение порождает новые фотоны, ни слова не сказано о том, что они являются точными копиями первичных как по частоте, так и по фазе. Такие источники света, как Солнце или обычная лампа накаливания, излучают множество фотонов одинаковой частоты, «идущих не в ногу». В результате

РАБОТА СВЕТА

В фотоэлектронных умножителях световой поток поглощается фотокатодом, эмитирующим в вакуум электроны. В электростатическом поле, создаваемом электродами катодной камеры, они ускоряются, фокусируются на первый динод и выбивают с его поверхности несколько вторичных, медленных электронов. Вторичные электроны ускоряются и фокусируются на второй диноде. Далее этот процесс повторяется на всех каскадах, и с последнего динода усиленный электронный поток собирается анодом. Каждый динод работает и как анод, собирающий электроны с предыдущего, и как катод, эмитирующий усиленный поток. Отсюда и название – **ДИНОД**.



ходить усиление света. Однако даже если бы физики догадались, что фотоны получают когерентными, они не обратили бы на это особого внимания, поскольку из расчетов Эйнштейна следовало, что вынужденное излучение возникает крайне редко.

С момента появления статьи «О квантовой теории излучения» в течение почти трех десятилетий

интенсивность нарастает, и в конце концов луч выходит наружу через одно из зеркал (полупрозрачное).

Вскоре инженеры пришли к выводу, что для изготовления лазеров годятся многие вещества, включая газированную воду и фруктовое желе с добавкой люминофора. По-настоящему широкое распространение лазеры получили благодаря полупроводниковой промышленности и изобретению светодиодов. Кроме DVD-плееров, принтеров и указок вынужденное излучение используется в авиационных гироскопах, промышленных режущих установках, медицинских приборах и оптоволоконных линиях связи. Лазер стал незаменимым инструментом научных исследований. Нескольким ученым, применявшим его для изучения химических реакций и манипулирования микроскопическими объектами, были присуждены Нобелевские премии. Мазеры используются для создания точных часов и для усиления слабых сигналов в ходе астрономических наблюдений.

Разработчикам первого варианта системы GPS необходимость внесения релятивистских поправок не казалась столь очевидной.

их свет представляет собой оптический вариант случайного шума. Но если фотоны станут когерентными и «одновременно сыграют одну и ту же ноту», то вместо скучного шипения получится мощный чистый звук.

Эйнштейн просто не задумывался о когерентности. Но если бы его спросили о ней, он сразу ответил бы, что она действительно имеет место и при наличии достаточного количества возбужденных атомов должно проис-

ходить усиление света. Однако даже если бы физики догадались, что фотоны получают когерентными, они не обратили бы на это особого внимания, поскольку из расчетов Эйнштейна следовало, что вынужденное излучение возникает крайне редко. С момента появления статьи «О квантовой теории излучения» в течение почти трех десятилетий в печати время от времени появлялись ссылки на нее, но никаких новых идей выдвинуто не было. Только в начале 1950-х гг. Таунс понял, что ключевым условием усиления излучения является использование резонатора. В лазере, который был изобретен через несколько лет после мазера, роль резонатора играет область пространства между двумя зеркалами. Свет многократно отражается от них туда и обратно, его

Ритм GPS

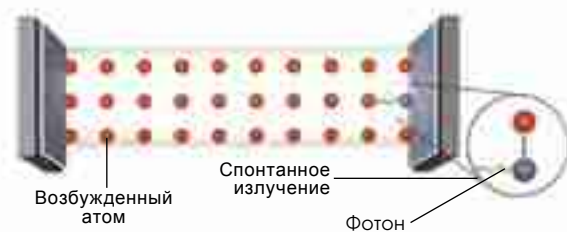
Меньше чем за \$200 можно приобрести карманное устройство, которое принимает сигналы от ▶

САМЫЙ ЯРКИЙ СВЕТ

Принцип действия лазера (и его микроволнового предшественника – мазера) основан на вынужденном излучении фотонов возбужденными атомами. Эйнштейн предсказал возможность возникновения этого процесса еще в 1917 г., а сегодня лазеры находят широкое применение в медицине, промышленности, системах связи и хранения информации.



1 Атомы содержатся в резонаторе, образованном двумя зеркалами (одно из которых полупрозрачно), и «накачиваются» внешним источником энергии.



2 Энергия накачки возбуждает атомы, переводя их на более высокий энергетический уровень. Некоторые из них спонтанно возвращаются в стабильное состояние, излучая фотон.



3 Когда спонтанно испущенный фотон попадает в возбужденный атом, последний переходит в основное состояние, излучая еще один идентичный фотон.



4 Фотоны вызывают вынужденное излучение других возбужденных атомов, каждый из которых добавляет к общему потоку еще по одному идентичному фотону.



5 Фотоны отражаются от зеркал и продолжают провоцировать вынужденное излучение.



6 Некоторые фотоны проходят сквозь полупрозрачное зеркало, формируя за пределами резонатора когерентный световой луч.

спутников глобальной навигационной системы (*GPS*) и определяет свою широту, долготу и высоту над уровнем моря. Поскольку для точного измерения расстояний необходимы прецизионные часы, все 24 спутника оснащены атомными часами (см. «Модернизация системы *GPS*», «В мире науки», № 9, 2004 г.).

Сегодня в продаже имеются *GPS*-приемники, определяющие свое положение с точностью до 15 м. Чтобы погрешность была меньше 30 м, координаты нужно вычислять с учетом релятивистской поправки. При синхронизации часов *GPS*-приемника с часами спутника нельзя пренебрегать влиянием скорости на ход времени. Согласно теории относительности, в быстро движущихся объектах время течет медленнее, чем в неподвижных. Каждый спутник системы *GPS* мчит по орбите со скоростью около 14 тыс. км/ч, а значит, атомные часы на нем отстают от земных примерно на 7 мкс за сутки.

Еще сильнее на ход времени влияет тяготение. На орбите навигационных космических аппаратов, средний радиус которой составляет около 26 тыс. км, сила земного притяжения примерно в 4 раза меньше, чем на поверхности планеты. Поэтому часы на спутниках уходят вперед на 45 мкс за сутки. В итоге в системе *GPS* приходится вводить поправку в 38 мкс. Если этого не делать, то ошибка определения расстояния будет нарастать со скоростью 11 км в сутки. (На самом деле все несколько сложнее, поскольку спутники обращаются не по круговым, а по эллиптическим орбитам, и их удаленность от Земли периодически меняется.)

В 1970-х гг. военным разработчикам первого варианта системы *GPS* необходимость внесения релятивистских поправок не казалась столь очевидной. Одни специалисты считали учет влияния скорости и тяготения необходимым, а другие – совер-

ВРЕМЯ И ЕЩЕ РАЗ ВРЕМЯ

Вследствие быстрого движения спутников глобальной системы GPS бортовые часы должны отставать от земных на 7 мкс в сутки. Но меньшая сила земного тяготения на орбите заставляет их уходить вперед на 45 мкс в сутки. В итоге для получения точных GPS-данных необходимо вводить в показания бортовых часов поправку на 38 мкс в сутки. В GPS-приемниках, оснащенных системой WAAS, релятивистские ошибки исключаются с помощью сигналов от наземных станций.



шенно излишним. Прийти к единому мнению так и не удалось, поэтому первый навигационный спутник все-таки оснастили системой коррекции времени, но не включили ее, рассчитывая задействовать только в случае необходимости. Очень скоро вы-

Эйнштейн-изобретатель

Одно из изобретений Эйнштейна вы никогда не увидите в продаже. В 1920-х гг. он вместе со своим аспирантом Лео Сцилардом (Leo Szilard) запатентовал несколько холодильников на основе электромагнитно-

годня применяются для перекачки натрия в системах охлаждения ядерных реакторов на быстрых нейтронах.

Разумеется, Эйнштейн не страдал манией изобретательства. Больше всего он интересовался познанием законов природы, оставляя другим решение вопросов технического применения своих открытий. То же самое можно сказать об уравнении $E = mc^2$, которое Эйнштейн вывел в 1905 г. Раньше людям и в голову не приходило, что материю можно преобразовать в энергию. Перспектива получения огромной энергии из небольшой массы была очень заманчива, но проверить изящную формулу оказалось не так просто. Разумеется, ядерную бомбу создавали совсем не для того, чтобы убедиться, что E действительно равно mc^2 . Это наследие Эйнштейна и сегодня способно радикально изменить мир. Но оно, несомненно, никогда не появится на прилавках. ■

Для изготовления лазеров годятся многие вещества, включая газированную воду и фруктовое желе с добавкой люминофора.

яснилось, что она должна работать постоянно.

Новые методики определения местоположения не столь требовательны к поправкам на релятивистские эффекты. Например, в дифференциальной системе GPS (D-GPS) коррекция ошибок осуществляется с помощью стационарных приемников, координаты которых точно известны (так называемая система панорамного обзора – WAAS). Однако тем, кто использует GPS для слежения за временем, например, радиоастрономам, эйнштейновские поправки по-прежнему необходимы.

го насоса, который исключал утечку применяемых в те годы ядовитых хладагентов. Однако вскоре появились безопасные хладагенты, и «эйнштейновский» холодильник так и не добрался до витрин магазинов. Тем не менее электромагнитные насосы и се-

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- How the Laser Happened: Adventures of Scientist. Charles H. Townes. Oxford University Press, 1999.
- Relativity and the Global Positioning System. Neil Ashby in Physics Today, Vol. 55, No. 5, pages 41 – 47; May 2002.
- Einstein on the Photoelectric Effect. David Cassidy. www.aip.org/history/einstein/essay-photoelectric.htm

Уэйт Гиббс

АТОМНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ XXI века



Достижения прикладной науки XXI в. и их практическое применение во многом связаны с теориями Эйнштейна. Исследователи создают новые устройства, в которых используется броуновское движение, впервые корректно объясненное Эйнштейном. Без специальной теории относительности немыслимо развитие спинтроники. А в лабораториях всего мира конструируются датчики на базе Бозе–Эйнштейновского конденсата – удивительного состояния вещества, предсказанного ученым 80 лет назад.

DAVID EMMITE PHOTOGRAPHY

«Все идеи
в науке родились
в драматическом
конфликте между
реальностью
и нашими
попытками
ее понять».

Альберт
Эйнштейн

Положение теории Эйнштейна о том, что свет испускается в виде фотонов (квантов), что фотоны летят с постоянной, всегда одинаковой скоростью c и что энергия и материя взаимосвязаны математическим соотношением $E = mc^2$, повлияли на развитие инженерной мысли в XXI в.

Конструируются принципиально новые компьютеры и нанотехнологические устройства для анализа ДНК, в которых используется броуновское движение молекул. Создаются экзотические формы материи, описанные Эйнштейном в одном из классических мысленных экспериментов 1925 г. Когерентные сгустки ультрахолодных атомов смогут найти применение в портативных атомных часах, сверхточных навигационных гироскопах и гравитационных сенсорах для картирования залежей минералов и нефти.

Релятивизм и спин

Единственный компьютер, которым пользовался Эйнштейн, разрабатывая в 1905 г. специальную теорию относительности, размещался внутри его черепа. Во многих отношениях эта биохимическая машина гораздо совершеннее любого существующего устройства. Ни один полупроводниковый микропроцессор не может соперничать по емкости и энергетической эффективности с человеческим мозгом, в одном килограмме массы которого – миллион миллиардов обрабатывающих элементов и который потребляет энергии и выделяет тепла меньше, чем микропроцессор *Pentium 4*.

Энергопотребление и тепловыделение стали серьезным препятствием на пути промышленного производства новейших микрочипов. Возможно, в ближайшие 20 лет цифровые кремниевые процессоры достигнут предела своих возможностей и производители будут вынуждены обратиться к устрой-

ствам, использующим иные физические принципы.

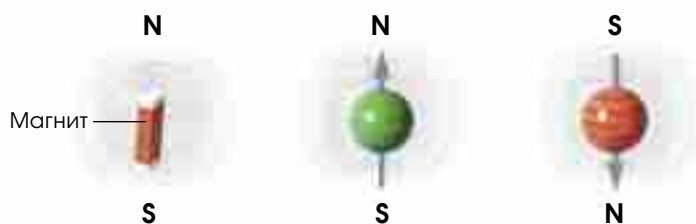
Согласно специальной теории относительности, описывающей движение на высоких скоростях, абсолютного времени и абсолютного покоя не существует. Если скорость распространения света в вакууме постоянна, то длина любого тела, движущегося с большой скоростью, сокращается, а время для него течет медленнее, чем для неподвижного наблюдателя. Если тело движется в электростатическом поле, оно воспринимает его как суперпозицию электрического и магнитного полей. Релятивистские эффекты очень малы, пока скорость тела не становится сравнимой со скоростью света c (приблизительно 300 млн. м в секунду).

В начале 2004 г. группа физиков под руководством Дэвида Ошаломы (David D. Awschalom) из Калифорнийского университета продемонстрировала способ использования релятивизма быстро движущихся в полупроводнике электронов для выполнения новых задач. Исследователи, работающие сейчас для *Intel* и *Hewlett-Packard*, стремятся интегрировать миллион релятивистских ключей в маленький кремниевый чип, чтобы в дальнейшем создать процессор нового поколения.

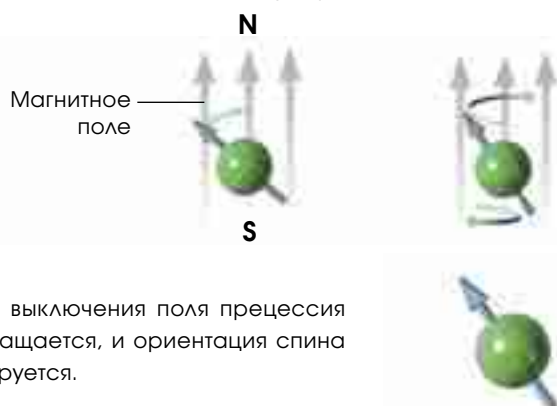
Релятивистские чипы смогут использовать гораздо более изощренную логику, чем бинарная, применяемая сейчас во всех компьютерах. Они будут способны модифицировать свою структуру, практически мгновенно приспособившись к поставленной задаче. Сотовый телефон, например, сможет перенастраиваться на любую существующую сеть и перепрограммироваться для перевода речи с одного языка на другой. Секрет чудо-чипов состоит не в новых материалах, а в новой физике, в процессах, описываемых теорией относительности и квантовой механикой. ▶

МАГИЯ МАГНЕТИЗМА

Электрон обладает квантовым свойством – спином, и поэтому он ведет себя подобно магниту, вращающемуся вокруг оси, соединяющей его северный и южный полюса. Спины электронов (шарики) могут быть ориентированы в различных направлениях.



Магнитное поле стремится повернуть электроны и выстроить их вдоль поля (внизу слева). Однако при этом спин начинает прецессировать вокруг направления силовых линий (внизу справа).



После выключения поля прецессия прекращается, и ориентация спина фиксируется.

Магнитное притяжение

Обычные полупроводниковые микрочипы действуют на основе классической теории электромагнетизма, созданной в XIX в. Ионы в кремниевой пластине образуют крохотные островки, характеризующиеся либо избытком, либо недостатком электронов. Напряжение,

приложенное к микроэлектродам, выталкивает или втягивает электроны, открывая или закрывая логические ключи и регулируя электрический ток.

Большинство электронов движется отчасти беспорядочно: они испытывают множество соударений, что приводит к выделению энер-

гии и нагреву материала. Уже более десяти лет физики стремятся научиться управлять этим движением с помощью не электрического, а магнитного поля.

Майкл Флате (Michael E. Flatté) из Университета штата Айова утверждает, что электрон ведет себя так, словно в нем находится маленький магнит, у которого есть северный и южный полюса. Вращаясь вокруг оси, соединяющей их, электрон обретает магнитную ориентацию – квантовое свойство, которое физики называют спином. В действительности частицы не вращаются, а ведут себя как маленькие гироскопы. Если приложить к электрону магнитное поле, то его полюса начнут прецессировать, т.е. магнитная ось будет вращаться, описывая конус. Если поле снять, то спин остановится. «Используя эффект прецессии, можно поменять направление спина на противоположное и тем самым изменить бит информации, несомой электроном, с 1 на 0», – считает Флате.

В этом году компания *Motorola* начинает массовое производство спинтронных чипов памяти *MRAM*. В отличие от обычных компьютерных блоков памяти такие чипы при отключении питания не теряют содержащейся в них информации, т.к. электроны сохраняют направление спина до тех пор, пока питание снова не будет включено.

В спинтронных устройствах переворот спина не требует особых затрат энергии, а между операциями чип отключается от источника питания. Изменение направления спина не изменяет кинетической энергии частицы, и поэтому тепло практически не выделяется. Скорость процесса чрезвычайно высока: в экспериментальных устройствах электрон переворачивался с ног на голову за несколько пикосекунд (триллионных долей секунды).

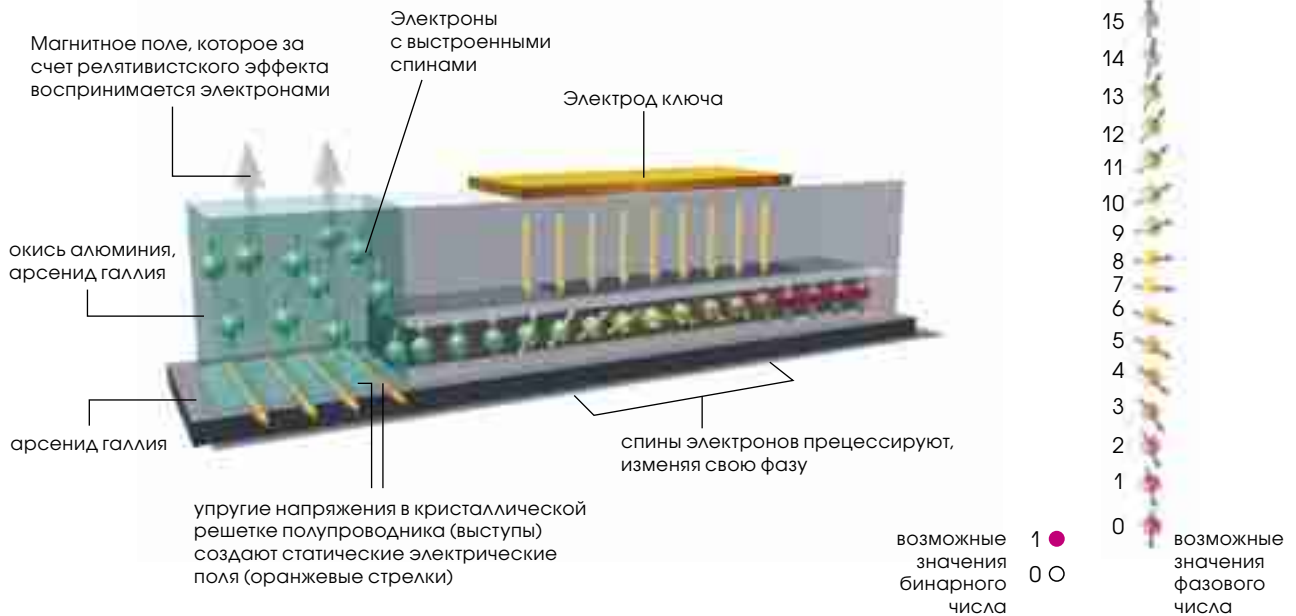
ОБЗОР

- Специальная теория относительности позволит создать быстродействующие эффективные микрочипы, управляющие спинами электронов.
- Интерпретация молекулярного движения помогла разработать так называемые броуновские сита, быстро сортирующие молекулы ДНК и очищающие воду от твердых частиц.
- Подтвердилась гипотеза, согласно которой ультрахолодные атомы конденсируются в «лазероподобное» состояние. В ближайшем будущем это приведет к появлению сверхчувствительных гравитационных датчиков и сверхстабильных гироскопов.

НЕБИНАРНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Сигнал включает напряжение на электроде, создавая электрическое поле, которое быстро движущийся электрон ощущает как отчасти магнитное. В результате спин начинает прецессировать. После выключения поля спин электрона сохраняет направление, т.е. фазу.

При изменении скорости электронов и напряженности электрического поля на электроде ключа релятивистский микрочип может создать спинтронные фазовые числа (фиты), принимающие гораздо большее число значений, чем 0 и 1.



МАСШТАБ НЕ СОБЛЮДЕН

До недавнего времени для работы спинтронных устройств приходилось использовать ферромагнитные материалы, которые плохо подходят для производства микросхем. Дэвид Ошалом считает, что встроить маленькие магнитики в миллионы точек на чипе и обеспечить индивидуальное управление ими трудно, но возможно. Было бы заманчиво, опираясь на технологии электронных ключей, использовать для игры со спинами не магнитные, а электрические поля.

полупроводника, то в чипе возникнет напряжение, которое приведет к появлению электрического поля, в котором будут возвышенности и низины, направляющие носители заряда по полупроводнику.

шее эффективное магнитное поле воздействует на них и тем быстрее прецессирует их спин. Второй способ связан с различием внутренних механических напряжений внутри кристалла. Электронами

Эйнштейн не мог и предположить, что новый взгляд на материю, энергию и время приведет и к созданию новых технологий.

От битов к фитам

Эйнштейн предположил, что для быстро движущегося электрона электрическое поле может выглядеть как магнитное, а группа Ошалома в феврале текущего года подтвердила эту гипотезу. Если сложить два различных по составу

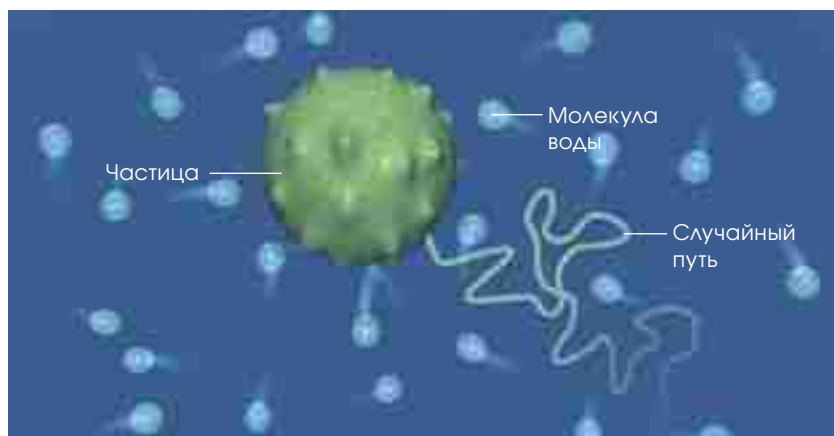
Существует два способа управления электронами. Первый основан на том, что изменение приложенного потенциала влияет на скорость их движения. Следовательно, чем он выше, тем быстрее перемещаются электроны, тем боль-

можно управлять, тщательно выбирая путь, по которому они движутся.

В феврале 2004 г. группа Ошалома опубликовала статью, где описано применение лазерных импульсов для ориентирования ▶

ПОД УДАРАМИ ХАОСА

В 1827 г. ботаник Роберт Браун поместил под микроскоп каплю воды и увидел, что мельчайшие частицы внутри зерен пыльцы совершают быстрые движения, как будто они живые. Объяснить загадочное явление пытались многие но только в 1905 г. Эйнштейн выяснил, что причиной хаотического движения является бомбардировка частиц молекулами воды. Несчетное множество невидимых быстро движущихся крошечных молекул способны сдвинуть с места объект размером с бактерию. В этом кроется причина беспорядочного перемещения.



электронных спинов и создания спинтронных битов информации, что стало важным шагом на пути создания спинтронных устройств. В них используются небольшие напряжения, такие же, как и в обычных МОП-чипах. Встречая напряженную область полупроводника, спины электронов одновременно поляризуются. Затем их можно когерентно переворачивать, подавая и снимая напряжение на электродах.

Когерентность позволяет перейти от битов, бинарных чисел 0 и 1, к фазам, фазовым числам, которые могут принимать большее число значений. Представим стрелку компаса: если микрочип сможет различать группы электронов со спинами, направленными на север, юг, восток и запад, то каждый фазовый бит может быть 0 или 1, или 2 или 3. Чем точнее определяется фаза (т.е. направление спина), тем большей плотности информации удастся достигнуть. Опыт, накоп-

ленный за годы работы по совершенствованию ядерной магнитной томографии, основанной на детектировании спинов атомных ядер, помогает максимально точно определять фазовый угол.

Чтобы сигналы по длинным последовательностям ключей в микропроцессоре проходили без искажений, их необходимо усиливать. Несмотря на то что спинтронных версий транзисторов пока не существует, исследователи уверены, что в скором будущем они появятся и уже ищут сферы их применения.

В прошлом году Рейнгольд Кох (Reinhold Koch) с сотрудниками Института твердотельной электроники им. Пауля Друде в Берлине опубликовали статью, описывающую устройство спинтронного логического элемента, функции которого можно изменять программным способом. Сначала, например, он работает как булевский ключ И, а через несколько

наносекунд – как ключ ИЛИ, или ИЛИ-НЕ, или И-НЕ. Перспективы, связанные с возможностью перенастройки структуры компьютера в процессе работы, трудно переоценить. Инженеры смогут построить полный сумматор (самый обычный компонент компьютерной логики), состоящий всего из 4 спинтронных транзисторов, вместо 16 электронных. Новая версия устройства будет потреблять в 6 раз меньше энергии и занимать в 3 раза меньший объем.

Инженеры еще далеки от использования релятивизма при конструировании спинтронных микросхем. Но «эйнштейновские технологии» могут открыть совершенно новый путь для компьютерной промышленности, поскольку на традиционном встречается все больше и больше преград.

Хаос за работой

Славу Эйнштейну принесли идеи о судьбе Вселенной, природе времени и скорости света. Но в 1905 г. его внимание привлекли и субмикроскопические тела – молекулы. Он не только оценил их размеры, но и вывел законы броуновского движения, открытого ботаником Робертом Броуном (Robert Brown). Броун, изучая каплю воды под микроскопом, заметил, что мельчайшие взвешенные в воде частицы, например, пыльца растений, совершали хаотические движения (см. вставку вверху). Броун показал, что также движутся и частицы пыли, полученные при дроблении камня. Накануне XX в. некоторые ученые выдвигали гипотезы об электрической природе сил, управляющих движением частиц. Также предполагалось, что виноваты процессы испарения и конвекции, освещенность и т.д.

Эйнштейн предположил, что хаотическое движение частиц обусловлено в основном беспорядочными ударами молекул воды, и вывел

основные уравнения, описывающие броуновское движение. Он отметил, что объяснение данного явления сможет стать еще одним подтверждением кинетической теории теплоты (которая тогда многими оспаривалась), согласно которой тепловыделение обусловлено беспорядочным столкновением молекул.

При броуновском движении малые частички смещаются дальше, чем большие, что было учтено при конструировании современных броуновских сит. Хаотическое движение частиц преобразуется в полезную работу, например, в сортировку вирусных частиц по размерам или очистку воды от загрязнений.

Спинтронные чипы памяти в отличие от обычных не теряют содержащейся в них информации при отключении питания.

В прошлом году было изготовлено два устройства: Джеймс Стурм (James C. Sturm) с коллегами из Принстонского университета создали броуновское сито размером с ноготь. Они протравили в кремниевой пластине канал, в котором оставили прямоугольные столбики высотой в 3 мкм и шириной в 6 мкм. Они наклонены на 45° и расположены так, что взвешенные в протекающей воде частицы сталкиваются

с ними и отскакивают вправо. Чем меньше частица, тем чаще она испытывает отражения и тем дальше вправо она отклоняется (см. вставку внизу). Пропуская через сито смесь ДНК двух различных видов вирусов, ученым удалось надежно отделить более тяжелые частицы от более легких. Кроме того, прокачка раствора под небольшим углом к каналу существенно увеличивала точность и быстродействие устройства. ▶

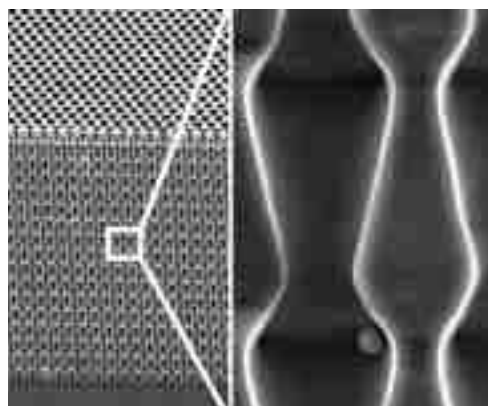
БРОУНОВСКИЕ СИТА



НАИЛУЧШИЕ СИТА И СОРТИРОВЩИКИ

В броуновском сортировщике асимметричные препятствия направляют беспорядочные движения взвешенных частиц по определенным путям. Когда плазма крови течет по каналу, мелкие частицы, такие как вирусы, ударяются о наклонные выступы, действующие как зубцы храповика (слева). Рассортированные по размерам вирусные частицы собираются на дне устройства, где разделяются по видам.

Немецкие инженеры создали другой вид броуновского сита, протравив тысячи каналов в кремниевой пластинке (внизу слева). Загрязненная вода прокачивается через поры. Находящиеся в ней частицы ударяются о сужения и постепенно собираются на одной стороне пластинки. Водоочистные станции (внизу справа) могут содержать в трубопроводах множество броуновских сит.



Химические реагенты Миксер Броуновский храповик Отстойник Хлорирующий модуль Резервуар с чистой водой

Пропуская через сито смесь ДНК двух различных видов вирусов, ученым удалось отделить более тяжелые частицы от более легких.

Свен Матиас (Sven Matthias) и Франк Мюллер (Frank Muller) из Института физики микроструктур им. Макса Планка в Вайнберге (Германия) создали агрегат для сортировки частиц, напоминающий губку, где тысячи параллельных, последовательно сужающихся и расширяющихся каналов пронизывают кремниевую пластину. «Губку» плотно вставили в чашу, заполненную водой с взвешенными в ней микроскопическими пластиковыми бусинками, так, чтобы дно сосуда могло двигаться вверх и вниз, прокачивая воду через губчатую диафрагму. По мере дрейфа

через каналы бусинки ударялись о стенки в сужениях, что препятствовало их возвращению в поток. Постепенно все объекты мигрировали сквозь диафрагму в верхнюю часть сосуда, а внизу оставалась лишь чистая вода. Производство больших диафрагм для очистки непрерывного потока от твердых примесей, таких как сажа, может стать реальностью уже сейчас.

Атомные сгустки открывают новые перспективы

В 1925 г. Эйнштейн, прочитав статью Сатьендра Ната Бозе (Satyendra Nath Bose) о статис-

тике фотонов, предположил, что если охладить атомы почти до абсолютного нуля и сжать их, то благодаря квантовым эффектам атомы конденсируются в подобие суператома. Такие объекты будут вести себя подобно сгустку фотонов лазерного луча.

Более 70 лет существование Бозе–Эйнштейновского конденсата (БЭК – сгусток ультрахолодных атомов) оставалось не более, чем любопытным предположением. В июне 1995 г. Эрик Корнелл (Eric A. Cornell) и Карл Вайман (Carl E. Weiman) заставили 2000 атомов рубидия превратиться в предсказанный Эйнштейном конденсат. Спустя три года они вместе с Вольфгангом Кеттерле (Wolfgang Ketterle) были удостоены Нобелевской премии за это достижение.

Сейчас Корнелл со своими студентами завершают разработку чипа, способного перемещать конденсат по своей поверхности. Дробя и воссоединяя атомные сгустки особым образом, этот атомный интерферометр регистрирует ускорение и вращение с большей чувствительностью, чем лазерные устройства.

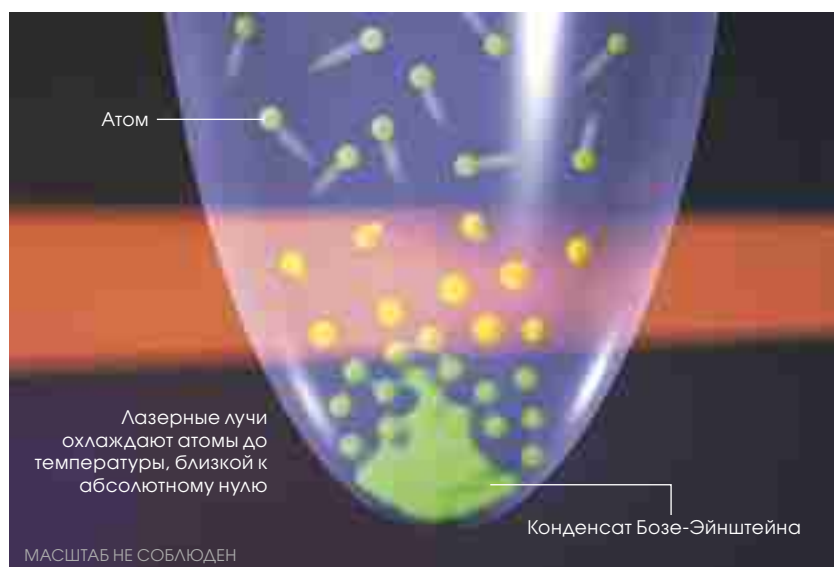
«С помощью такого прибора, расположенного в фюзеляже самолета, можно измерить малейшие изменения силы тяжести и ее направления», – считает Корнелл. Устройство также позволяет обнаруживать залежи нефти или металлических руд, пещеры и даже подземные бункеры и тоннели.

Атомные интерферометры могут в сотни и тысячи раз повысить точность датчиков вращения. Несомненно, при наличии спутниковой системы GPS трудно заблудиться. Но, как утверждает Корнелл, хороший гироскоп необходим для ориентирования в пространстве тогда, когда человек долгое время находится под водой внутри большого титанового бака и при этом не должен создавать

СОЗДАНИЕ АТОМНОГО СГУСТКА

НОВОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ

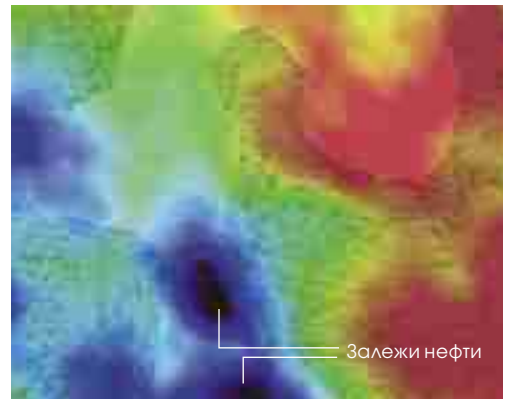
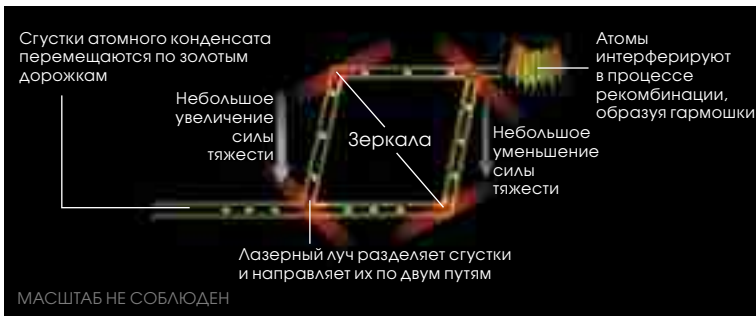
Конденсаты Бозе–Эйнштейна – самые холодные объекты во Вселенной. Ученые используют магнитные поля и лазеры, чтобы замедлить и сжать атомы до появления квантовых эффектов синхронизации. Группы атомов движутся согласованно, подобно гигантскому атому.



ДЕЛАЯ НЕВИДИМОЕ ВИДИМЫМ

Конденсаты Бозе–Эйнштейна могут найти применение в устройствах для построения карт поля тяготения и в гироскопах. Атомные сгустки дробятся и рекомбинируют в интерферометре (внизу). Магнитные силы ведут атомы, которые отскакивают от рассеивателя и «зеркал» (стоячих волн лазерного света). Две половины конденсата в процессе перемещения следуют согласованно, затем воссоединяются, образуя интерференционную картину в виде гармошки. Но любое небольшое различие в путях следования (из-за колебания силы тяжести или вращения устройства) – приводит к смещению гармошки.

В перспективе атомными интерферометрами будут оснащены самолеты (справа вверху), которые смогут наносить на карты гравитационные контуры глубоких залежей нефти или железных руд (справа внизу). Бозе–Эйнштейновские гравитационные сканеры могут использоваться в военном деле для обнаружения подземных бункеров или туннелей.



шума. Военно-морские силы финансируют подобные разработки, а также они заинтересованы в создании точных навигационных систем, работающих тогда, когда GPS-сигналы подавлены.

В атомном интерферометре смешиваются две группы атомов и измеряется картина их интерференции. Как и все квантовые объекты, БЭК может вести себя и как частица, и как волна. Когда конденсат разделяется на две части, то вначале они обладают одинаковыми длинами волн и фазами. Вершины и впадины их волн интерферируют, создавая узор, в некоторых частях которого содержится очень много атомов, а другие оказываются практически пустыми.

Марк Казевич (Mark A. Kasevich) из Стенфордского университета и ряд других исследователей со-

здали несколько интерферометров. Но установки были весьма громоздкими, поскольку атомные сгустки разделялись и рекомбинировали в свободном падении внутри большой вакуумной камеры. Эрик Корнелл и его коллега Дана Андерсон (Dana Anderson) разрабатывают более компактные модели. Однако атомный гироскоп

пока не может быть помещен в наручные часы или сотовый телефон. Но, по-видимому, довольно скоро БЭК можно будет встретить в штурманской кабине самолета или в рубке подводной лодки. Возможно, в ближайшее время, исследователи найдут множество полезных применений новому состоянию вещества. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- Coherence with Atoms. M. A. Kasevich in Science, Vol. 298, pages 1363–1368; November 15, 2002.
- Asymmetric Pores in a Silicon Membrane Acting as Massively Parallel Brownian
- Ratchets. S. Matthias and F. Müller in Nature, Vol. 424, pages 53–57; July 3, 2003.
- Tilted Brownian Ratchet for DNA Analysis. L. R. Huang et al. in Analytical Chemistry, Vol. 75, pages 6063–6967; December 15, 2003.
- Coherent Induced Spin Polarization in Strained Semiconductors. Y. Kato et al. in peer review. Online at arXiv.org/abs/cond-mat/0403407

Питер Галисон

компас ЭЙНШТЕЙНА

Что заставило Эйнштейна отвлечься от своей прославленной общей теории относительности?

Представьте себе, что вы взобрались на поворотную платформу или на стрелку гигантского компаса и при этом в каждой руке у вас – по гироскопу. Такой мысленный эксперимент поставили Эйнштейн и де Гааз, чтобы объяснить магнетизм железа. Оба гироскопа вращаются против часовой стрелки. Пока руки разведены в стороны, оси гироскопов направлены от вас, моменты вращения взаимно противоположны, и сумма их равна нулю. Теперь поднимите руки вверх. Угловые моменты гироскопов будут сонаправлены, и их сумма станет ненулевой. Поскольку полный угловой момент системы должен сохраняться, платформа начнет вращаться, чтобы компенсировать угловые моменты гироскопов. Точно так же (в соответствии с теорией Эйнштейна–де Гааза, которая, впрочем, впоследствии была пересмотрена), когда внешнее магнитное поле выстраивает орбиты всех электронов в атомах железа в одном направлении, магнит начинает вращаться.



MATT COLLINS

В 1915 г. произошли серьезные изменения в научной деятельности Альберта Эйнштейна. Вместе с математиком Марселем Гроссманом ученый взялся за освоение новых областей геометрии, которые помогли бы ему описать искривление пространства-времени. Стало понятно, что проблем – море. Можно ли обобщить частную теорию относительности, включив в нее гравитацию? Можно ли «взломать» ньютоновское пространство с дальнедействующими силами, обратно пропорциональными квадрату расстояния, во имя нового, искривленного пространства-времени на основе эквивалентности массы и энергии? Невероятные умственные усилия принесли свои плоды: Эйнштейн наконец представил миру общую теорию относительности, триумф теоретических построений, интеллекта и воображения.

Однако на протяжении года Эйнштейн не раз отвлекался от формальных преобразований тензоров и координат и обращался к лабораторным экспериментам. 12 февраля он писал своему другу Микеле Бессо: «Эксперимент скоро закончится... Изумительная работа, жаль, что вы не смогли ее увидеть. Какую же изощренность демонстрирует природа, когда пытаешься проникнуть в ее тайны! Несмотря на возраст, я все еще увлекаюсь проведением опытов». Совместно с зятем Х. Лоренца, де Гаазом, Эйнштейн преодолел трудности, с которыми не смогли справиться многие маститые экспериментаторы, и нашел объяснение магнетизму железа.

Основные соображения были просты. Электрический ток, протекающий в замкнутом контуре, образует электромагнит. Эйнштейн предположил, что способность железа к намагничиванию – это следствие аналогичного эффекта и на атомном или молекулярном уровне существуют многочисленные микроскопические солиноиды, ориентированные в одном направлении. Если это так, то механизм намагничивания должен

быть всего один. Вот что Эйнштейн писал:

«С тех пор как Эрстед обнаружил, что магнитные эффекты создаются не только постоянными магнитами, но и электрическими токами, предполагается существование двух независимых механизмов генерации магнитного поля. Необходимо было найти единую причину магнетизма. Вскоре после открытия Эрстеда Ампер выдвинул знаменитую гипотезу молекулярных токов, порождающих магнитные явления». (From «Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme», by Einstein and de Haas, in Deutsche Physikalische Gesellschaft, Vol. 17, page 152; 1915 г.)

Свести две возможные причины к одной – вот квинтэссенция сообщений Эйнштейна. Он начал свою работу над специальной теорией относительности с утверждения, что обычная трактовка уравнений Максвелла неверна. Она выглядит так же, как если бы существовало два объяснения механизма возникновения тока в замкнутом витке провода вблизи магнита. Если виток движется, а магнит неподвижен, то стандартное объяснение состоит в том, что в проводе перемещаются заряды (вместе с самим проводом) и магнитное поле толкает их вдоль провода. Если же магнит движется к неподвижному витку, то, согласно общепринятому мнению, увеличивающееся магнитное поле вблизи витка создает электрическое поле, движущим заряды по проводу. В специальной теории относительности Эйнштейн объясняет оба явления, по-новому трактуя такие понятия, как пространство, время и одновременность.

ОБ АВТОРЕ:

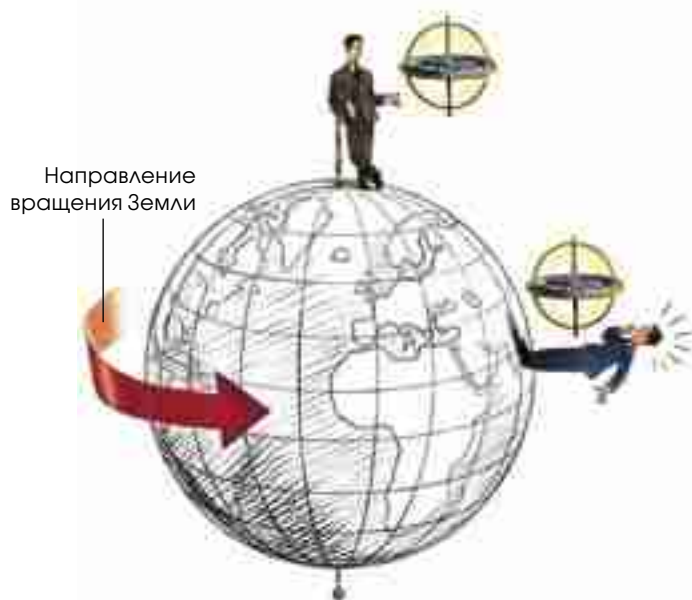
Питер Галисон (Peter Galison) – профессор истории физики Гарвардского университета, почетный член Фонда Маккартура (1997), награжден премией Макса Планка (1999). В его последней книге «Часы Эйнштейна, карты Пуанкаре: Достижения времени» (*Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time* W. W. Norton, 2003) обсуждается идея согласованного времени на стыке техники, философии и теории относительности.

В 1907 г. в своем принципе эквивалентности Эйнштейн подверг сомнению ранее незыблемое утверждение о существовании двух типов массы – гравитационной, или тяжелой (ответственной за вес свинцового шарика), и инертной (обуславливающей сопротивление того же шарика ускорению даже в вакууме). Эйнштейн утверждал, что тип массы всего один. Нет способа отличить поведение массы, придавленной к днищу ускоряющейся ракеты, от массы, прижатой к полу обычной комнаты полем тяготения.

Точно так же Эйнштейн был убежден, что существует лишь один тип магнетизма, обусловленный одинаковой ориентацией крошечных магнетиков – токовых контуров, образованных электронами, которые вращаются вокруг атомных ядер. Но как проверить гипотезу?

Предположим, что вы стоите на поворотной платформе, руки широко разведены и в каждой – по гироскопу. Гироскопы вращаются по часовой стрелке (если смотреть с вашей точки зрения), а их оси направлены от вас. Угловые моменты гироскопов обращены в противоположные стороны, поэтому суммарный угловой момент системы равен нулю. Допустим, вы поднимаете руки над головой так, чтобы оси гироскопов смотрели вверх. Это означает, что угловые моменты теперь сонаправлены. Но поскольку полный угловой момент замкнутой системы должен сохраняться, вы начинаете вращаться на своей подставке, компенсируя угловые моменты гироскопов.

Эйнштейн мысленно воспроизвел этот сценарий в миниатюре, внут- ▶



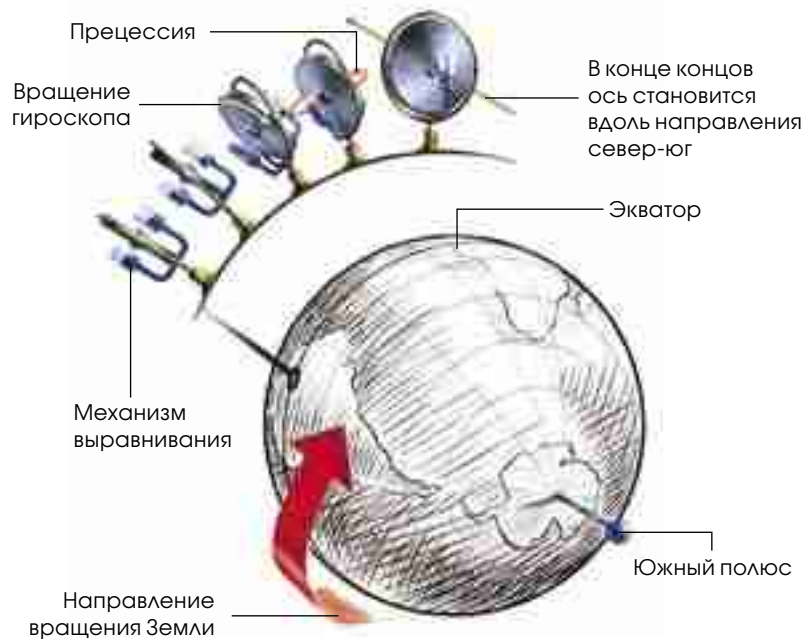
Свободно подвешенный гироскоп может вращаться в любом направлении, при этом его ось указывает на одну и ту же точку небосвода, несмотря на вращение Земли и ее обращение вокруг Солнца. Однако в любой точке, кроме Северного и Южного полюсов, из-за вращения Земли плоскость гироскопа перестает быть параллельной поверхности планеты, следовательно, он не годится для навигации.

ри железного стержня. Предположим, что немагнитный железный цилиндр подвешен на тонкой нити и к нему внезапно приложено сильное магнитное поле – достаточное, чтобы намагнитить весь цилиндр, т.е. сориентировать все крошечные электронные орбиты. В этом случае множество произвольно ориентированных электронных орбит выстроится в одном направлении. Их угловые моменты суммируются, в то время как раньше они взаимно компенсировались. И теперь, точно так же, как поворотная платформа, цилиндр начнет вращаться, чтобы скомпенсировать возникший угловой момент. Впоследствии Эйнштейн и де Гааз получили подтверждение этой гипотезы в ходе изящного эксперимента на созданной ими установке. Но откуда взялись подобные соображения и почему именно в 1915 г., когда Эйнштейн вел напряженную борьбу в защиту общей теории относительности?

В поисках ответа нам следует вернуться к 1900 г., когда Эйнштейн, окончивший Политехнический институт в Цюрихе, искал работу. Письма с отказами приходили вплоть

до середины 1902 г., когда он наконец-то получил престижную должность в Патентном бюро в Берне. Своим руководителем Фридрихом Халлером Эйнштейн восхищался и научился строго следовать его инструкции: «оставаться критичным и бдительным» – т.е. скептически относиться к заявкам изобретателей.

Долгие годы Эйнштейн выдавал патенты на холодильники, изобретал новые электрические измерительные приборы и давал друзьям консультации по техническим вопросам. Кроме того, его отец и дядя занимались электротехническим бизнесом и патентовали собственные изобретения. К сожалению, почти все экспертные оценки ученого были (в соответствии с правилами) уничтожены, но некоторые сохранились – в частности те, которые понадобились для судебных разбирательств. Ибо Эйнштейн вско-



Силы, порожденные вращением Земли, заставляют гироскоп ориентироваться на Северный полюс независимо от того, в какой точке планеты находится прибор. В первой конструкции Аншутц-Кемпфе гироскоп подвешен так, что его положение сохраняется за счет земного тяготения. При вращении планеты ось гироскопа также поворачивается вместе с поверхностью Земли. Поскольку гироскоп стремится сохранить свое положение, возникает прецессия – вращение, перемещающее ось гироскопа на угол, который соответствует приложенной силе. Подобный эффект мы наблюдаем, когда детский волчок, замедляясь, начинает качаться. Прецессия всегда приводит к выстраиванию оси вдоль линии север-юг.

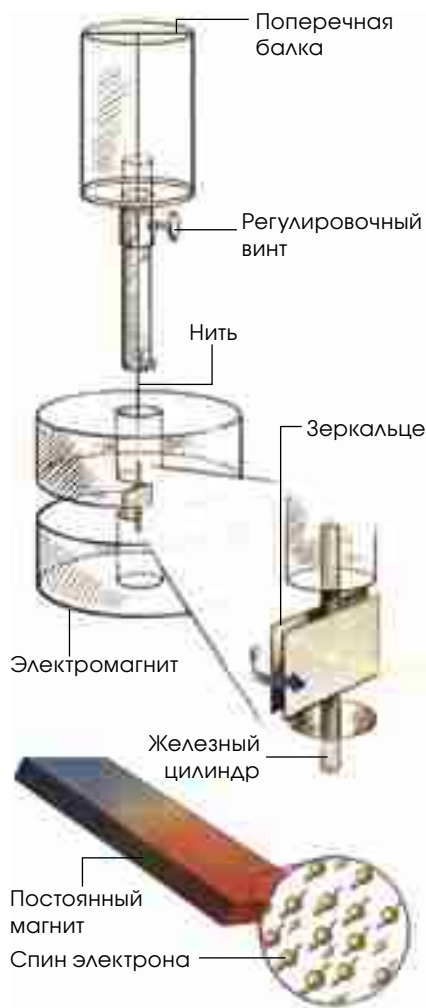
ре стал одним из наиболее уважаемых и авторитетных специалистов и его часто приглашали в качестве технического эксперта.

Теперь попытаемся разобраться, почему Эйнштейн заинтересовался магнетизмом. В начале XX века со старым добрым магнитным компасом что-то стряслось. Он плохо работал на новых судах, построенных из металла и напичканных электричеством, а также отказывал на подводных лодках и вблизи полюсов Земли. Возникли трудности и с применением прибора в авиации, поскольку его стрелка реагировала на маневрирование воздушного судна.

Проблемами компаса занялись две компании: одну возглавлял американский изобретатель и промышленник Элмер Сперри (Elmer A. Sperry), другую – немецкий архивариус Аншутц-Кемпфе (Anschutz-Kaempfe). В конце концов было решено вместо компаса использовать вращающийся гироскоп. Аншутц-Кемпфе сконструировал свой гироскоп так, чтобы он прецессировал и его ось была всегда направлена вдоль оси вращения Земли. Вскоре аналогичный инструмент создал Сперри. Аншутц-Кемпфе подал патентную заявку, а американец возразил: дескать, использована уже давно существовавшая идея.

В 1915 г. Эйнштейн был приглашен в суд в качестве эксперта. Его свидетельство, к удовлетворению суда, показало, что прежние свободно подвешенные гироскопы не могли служить компасами: малейшее покачивание и незначительный поворот судна – и они оказывались бесполезными. Аншутц-Кемпфе выиграл процесс. Постепенно Эйнштейн стал общепризнанным экспертом в технологии гироскопов.

Однако его достижения в физике оказались гораздо более весомыми: «Технический доклад по гироскопам, который я подготовил, привел меня к идее выяснения природы парамагнитного атома» (Эйнштейн в письме к Е. Меерсону, 23 января 1930 г., *Einstein Archives Online*). Ученый



Экспериментальная установка, собранная Эйнштейном и де Гаазом для проверки теории магнетизма. На тонкой нити подвешен немагнитный железный цилиндр, к которому прикладывается сильное магнитное поле. В соответствии с теорией, цилиндр должен вращаться, поскольку поле выстраивает все электронные орбиты в одном направлении. К цилиндру было прикреплено зеркальце, отражающее падающий на него луч света, и когда цилиндр вращался, вращался и зайчик. Позже было установлено, что магнетизм железа связан с наличием у электронов спина, т.е. порождается собственным вращением электронов, а не их орбитальным движением. Постоянный магнит, например, является магнитом потому, что спины всех электронов направлены в одну сторону.

понял, что точно так же, как вращение Земли ориентирует гироскоп, железный цилиндр, вращаясь, ориентирует мельчайшие атомные гироскопы внутри себя. Эксперимент закончился триумфом. Эйнштейн и де Гааз продемонстрировали эффект, незамеченный даже великим Джеймсом Клерком Максвеллом.

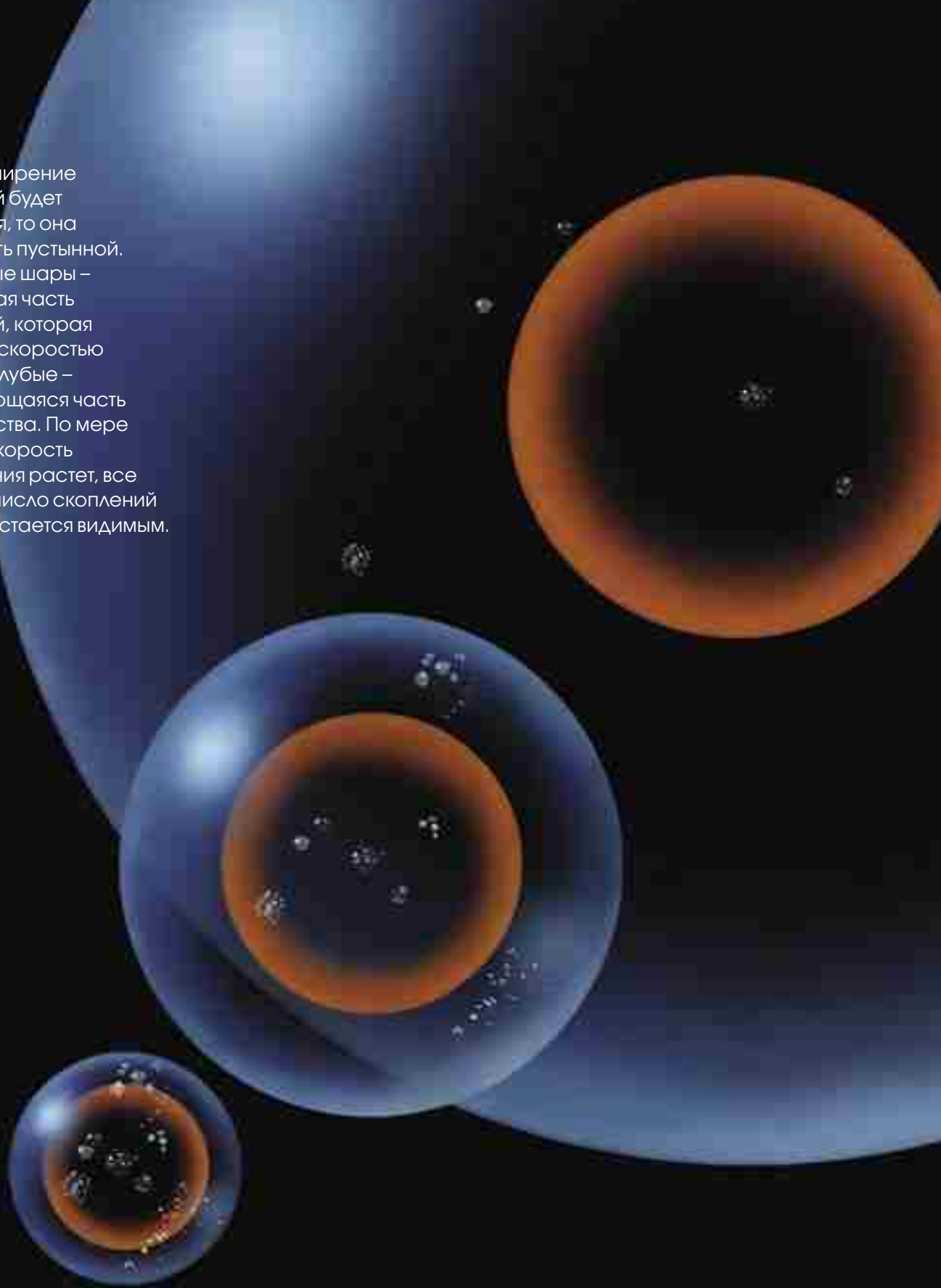
Вскоре физики подтвердили свою теорию (ферромагнетизм, обусловленный вращающимися на орбите электронами) блестящим экспериментом. Однако выдающийся результат подвергся критике – сначала осторожной, потом все более настойчивой. Оказалось, что измеренный ими магнитный момент на единицу углового момента отличался от истинного вдвое. Это расхождение никто не мог объяснить в течение многих лет, пока не была разработана квантовая механика и введено понятие спина (собственного момента вращения) электрона. Приверженность Эйнштейна своей теоретической модели сыграла важную роль. С одной стороны, она помогла ученому поставить изящный опыт. С другой – избранная им теоретическая модель облегчила понимание экспериментальных результатов, совпавших с расчетами, несмотря на многочисленные подводные камни, такие как влияние магнитного поля Земли и капризы хрупкой экспериментальной установки.

Однажды Эйнштейн заметил: «Никто не верит в теорию, кроме создавшего ее теоретика. Все доверяют эксперименту, кроме самого экспериментатора». ■

ЛИТЕРАТУРА:

Более подробный рассказ о работе Эйнштейна в патентном бюро и описание его эксперимента можно найти в книге П. Галисона «Чем заканчиваются эксперименты» (*Gallison, How Experiments End, University of Chicago Press, 1987*).

Если расширение Вселенной будет ускоряться, то она может стать пустынной. Оранжевые шары – это видимая часть Вселенной, которая растет со скоростью света, а голубые – расширяющаяся часть пространства. По мере того, как скорость расширения растет, все меньшее число скоплений галактик остается видимым.



Лоренс Кросс
Майкл Тэрнер

КОСМИЧЕСКАЯ загадка

«Есть только две бесконечные вещи: Вселенная и глупость. Хотя насчет Вселенной я не вполне уверен».

*Альберт
Эйнштейн*

В 1917 г., пытаясь согласовать общую теорию относительности с природой Вселенной, Эйнштейн столкнулся на первый взгляд с неразрешимой проблемой. Как и большинство его современников, он был уверен, что Вселенная должна быть стационарной (не расширяться и не сжиматься), но такое состояние было несовместимо с его уравнениями тяготения. Отчаявшись, Эйнштейн ввел дополнительный космологический член, который был призван обеспечить стационарность Вселенной, противодействуя гравитации.

Однако через 12 лет американский астроном Эдвин Хаббл (Edwin Hubble) обнаружил, что Вселенная отнюдь не стационарна. Он убедился, что далекие галактики быстро удаляются от нашей, причем скорости их движения прямо пропорциональны расстоянию от нас. Для объяснения расширяющейся Вселенной космологический член был не нужен, и Эйнштейн отказался от него. Американский физик российского происхождения Георгий Гамов писал: «...когда я обсуждал с Эйнштейном космологические проблемы, он заметил, что введение космологического члена было величайшей ошибкой в его жизни».

Однако космологическая постоянная, вновь появившись в уравнениях после того, как было доказано, что расширение Вселенной ускоряется,

по иронии судьбы, появилась в процессе изучения принципов квантовой механики – того направления физики, которое Эйнштейн так не любил. Сегодня многие ученые предполагают, что космологический член позволит выйти за рамки теории Эйнштейна, что приведет к более глубокому пониманию пространства, времени, гравитации, а возможно, квантовой теории, которая объединяет гравитацию с другими силами природы. Это может изменить наши представления о Вселенной.

Рождение постоянной

Общая теория относительности появилась как результат работы Эйнштейна по развитию его ключевого открытия в 1907 г. – эквивалентности гравитации и ускоренного движения. Эйнштейн показал, что физика в неподвижном лифте в гравитационном поле напряженностью g ничем не отличается от той, что в лифте, движущемся в пустом пространстве с постоянным ускорением g .

На Эйнштейна оказали большое влияние философские воззрения австрийского ученого Эрнста Маха (Ernst Mach), который отказался от идеи абсолютной системы отсчета для пространства-времени. В физике Ньютона инерция определяется как стремление тела двигаться с постоянной скоростью, если на него не действует сила. Понятие постоянной ▶

скорости требует инерциальной (т. е. не испытывающей ускорения) системы отсчета. Но ускорения по отношению к чему? Ньютон постулировал существование абсолютного пространства – неподвижной системы отсчета, определяющей все местные инерциальные, которые, по мнению Маха, определяются распределением

Это побудило Эйнштейна ввести в уравнения космологический член и получить стационарное решение, не имеющее границ, – его Вселенная искривлялась подобно поверхности шара (см. рис. на стр. 52). В масштабе Солнечной системы космологический член не поддавался физическому обнаружению, но в более крупных

ный и космологический члены так точно согласованы, малейшее возмущение должно привести к ее стремительному сжатию или расширению. В 1931 г., когда Хаббл убедительно доказал расширение Вселенной, Эйнштейн отказался от космологического члена.

Открытие Хаббла устранило необходимость в космологической постоянной для противодействия гравитации, которая в расширяющейся вселенной замедляет расширение. Но достаточно ли сильна гравитация, чтобы остановить расширение вселенной и заставить ее сжиматься и, в конце концов, коллапсировать? Или космос будет расширяться вечно? В моделях Фридмана ответ зависит от средней плотности материи: с высокой она коллапсирует, а с малой – будет расширяться вечно. Пограничным случаем станет вселенная критической плотности, которая будет расширяться, но с постоянно уменьшающейся скоростью. Поскольку в теории Эйнштейна средняя кривизна вселенной определяется средней плотностью материи, геометрия и конечная ее судьба связаны между собой. Вселенная высокой плотности имеет положительную кривизну, как поверхность шара, малой – отрицательную, как поверхность седла, а Вселенная критической плотности – пространственно плоская. В итоге космологи пришли к заключению, что определение геометрии Вселенной и ее плотности позволит судить о ее конечной судьбе.

Сегодня необходимость в космологическом члене вытекает не из теории относительности, а из квантовой механики.

материи в пространстве, и общая теория относительности вобрала в себя это представление.

Теория Эйнштейна стала первой концепцией, которая позволила бы дать согласованную картину Вселенной и описать не только то, как движутся тела в пространстве и времени, но и динамические изменения самих пространства и времени. Пытаясь использовать новую теорию для описания Вселенной, ученый хотел получить конечное стационарное решение, связанное с принципом Маха (например, конечное распределение материи, разлетающейся в пустом пространстве, не соответствовало представлению Маха о том, что для определения пространства необходима материя).

масштабах он должен был создавать космическое «расталкивание», препятствующее гравитационному притяжению удаленных тел.

Однако интерес Эйнштейна к космологическому члену быстро погас. В 1917 г. голландский ученый Виллем де Ситтер (Willem de Sitter) показал, что он может получить для пространства-времени решение с космологическим членом даже в отсутствие материи. В 1922 г. советский физик Александр Фридман построил модели расширяющейся и сжимающейся вселенных, обойдясь без космологической постоянной. В 1930 г. британский астрофизик Артур Эддингтон (Arthur Eddington) показал, что вселенная Эйнштейна не стационарна: раз гравитацион-

ОБЗОР

ВОЗВРАЩАЯСЬ К ПРОШЛОМУ

- Квантовая механика и теория относительности, а также полученные недавно свидетельства ускорения расширения Вселенной привели к тому, что ученые вновь вспомнили про космологический член, который сначала ввел, а потом отбросил Эйнштейн. Сегодня он представляет таинственную форму энергии, которая пронизывает пустое пространство и вызывает ускорение расширения Вселенной.
- Попытки понять природу загадочной энергии могут вывести физиков за пределы эйнштейновской теории, что может изменить наше представление о Вселенной.

Энергия пустоты

В течение 60 лет космологический член был выброшен из космологии (кроме периода, когда он был включен в предложенную в конце 40-х гг. теорию стационарной вселенной, решительно отвергнутую в 60-х гг.). Если бы Эйнштейн не ввел эту постоянную после разработки общей теории относительности, ее присутствие все равно было бы неизбежным. Сегодня космологический член возник не из теории относительности,

которая описывает природу в самых крупных масштабах, а из квантовой механики, физики самых малых масштабов.

Новая концепция космологического члена совершенно отлична от введенной Эйнштейном. Его первоначальное уравнение поля $G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$, где G – гравитационная постоянная, характеризующая интенсивность гравитационного поля, связывает кривизну $G_{\mu\nu}$ пространства с распределением $T_{\mu\nu}$ материи и энергии. Когда Эйнштейн добавил космологический член, он поместил его в левой части уравнения, считая его свойством самого пространства (см. *врез справа*). Но если переставить этот член в правую часть, он получит совершенно иное значение – то самое, которое ему приписывают сегодня. Теперь он представляет загадочную новую форму плотности энергии, которая остается постоянной даже при расширении Вселенной, а итоговая гравитация оказывается силой отталкивания, а не притяжения.

В соответствии с лоренц-инвариантностью, фундаментальной симметрией, связанной как с частной, так и с общей теориями относительности, такой вид энергии может существовать только в пустом пространстве. Поэтому космологический член представляется еще более загадочным. На вопрос, чему равна энергия пустого пространства, большинство людей ответит – ничему. В конце концов, это единственное интуитивно понятное значение.

К сожалению, квантовая механика отнюдь не интуитивна. В очень малых масштабах, где квантовые эффекты становятся ощутимыми, даже ▶

СМЕНА ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

В основе общей теории относительности лежит уравнение поля, которое утверждает, что геометрия пространства-времени (Эйнштейнов тензор кривизны $G_{\mu\nu}$) зависит от распределения вещества и энергии (тензора $T_{\mu\nu}$ энергии-импульса). (Тензор – это геометрическая или физическая величина, которая может быть представлена совокупностью (матрицей) чисел.) Иными словами, кривизну поля определяют вещество и энергия:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu},$$

где G – ньютоновская постоянная, определяющая интенсивность гравитационного поля.

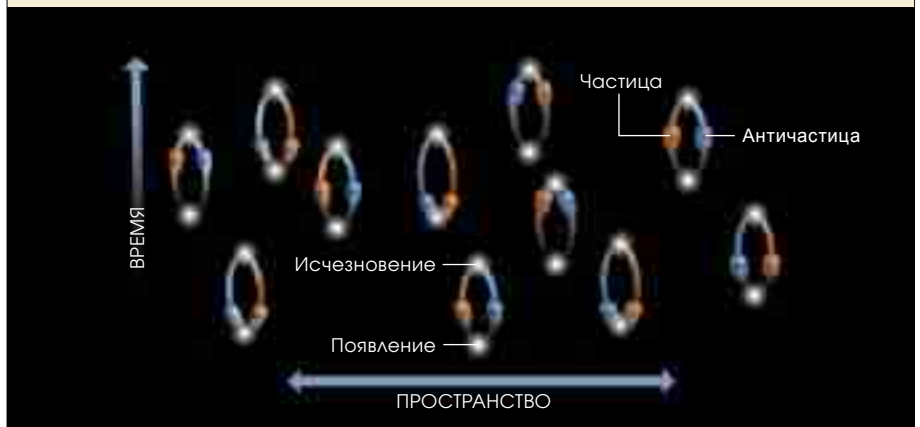
Чтобы получить модель стационарной Вселенной, Эйнштейн ввел космологическую постоянную Λ для компенсации гравитационного притяжения в космических масштабах. Он добавил ее (умноженную на метрический тензор $g_{\mu\nu}$, определяющий расстояния) к левой части уравнения поля, полагая, что эта постоянная является свойством самого пространства-времени:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}.$$

Когда выяснилось, что Вселенная расширяется, Эйнштейн отказался от нее. Необходимость в новой космологической постоянной, которую сегодня рассматривают физики, обусловлена квантовой теорией, согласно которой вакуум (пустое пространство) может обладать некоторой небольшой плотностью энергии. Плотность энергии вакуума ρ_{vac} , умноженная на $g_{\mu\nu}$, должна находиться в правой части уравнения вместе с другой формой энергии:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G(T_{\mu\nu} + \rho_{\text{vac}} g_{\mu\nu}).$$

Хотя в математическом отношении космологическая постоянная Эйнштейна и энергия вакуума эквивалентны, концептуально они различны: первая является свойством пространства, а вторая – формой энергии, обусловленной виртуальными парами частица-античастица. Квантовая теория утверждает, что частицы постоянно появляются в вакууме, существуют очень короткое время и исчезают (см. схему).



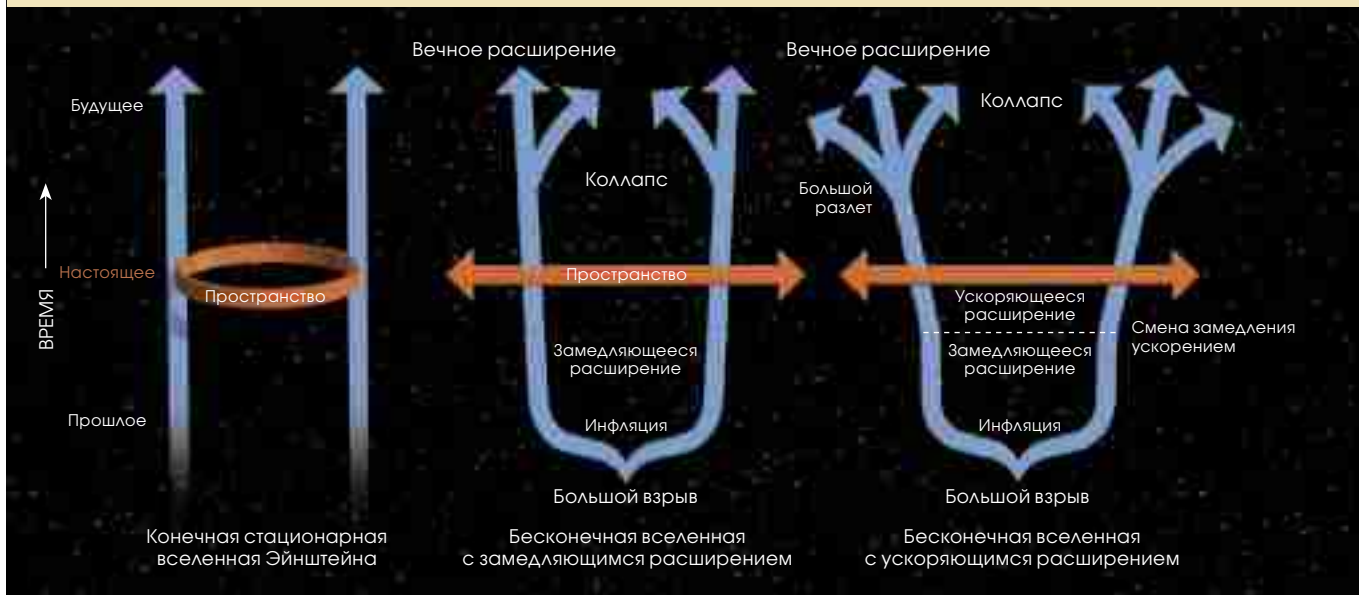
ОБ АВТОРАХ:

Лоренс Кросс (Lawrence M. Krauss) и **Майкл Тэрнер** (Michael S. Turner) первыми предположили, что во Вселенной доминирует космологический член. Их прогноз (1995 г.) об ускорении расширения Вселенной был подтвержден данными астрономических наблюдений. Декан физического факультета Университета Западного резервного района (Case Western Reserve University) в Кливленде (шт. Огайо), Кросс написал семь популярных книг, включая «физику звездного пути» (*The Physics of Star Trek*) и готовящуюся к печати «Спрятанные в зазеркалье: Тайнственное очарование дополнительных измерений» (*Hiding in the Mirror: The Mysterious Allure of Extra Dimensions*). Тэрнер, профессор Чикагского университета, работает заместителем директора Национального научного фонда США по математическим и физическим наукам.

МОДЕЛИ КОСМОСА: РАНЬШЕ И ТЕПЕРЬ

Космологическая модель Эйнштейна описывает конечную в пространстве, но бесконечную во времени вселенную. Ее размер постоянен, а пространственные границы отсутствуют. Она искривляется, замыкаясь подобно окружности (слева). После того как было обнаружено расширение Вселенной, космологи сосредоточились на модели бесконечной вселенной, расширение которой постоянно замедляется под действием сил тяготения (в середине).

В 1980-х гг. теоретики доработали модель, дополнив ее начальной фазой очень быстрого расширения (инфляцией). Наблюдения последних шести лет показали, что около 5 млрд. лет назад расширение Вселенной начало ускоряться (справа). Что ждет Вселенную в конечном итоге – продолжение расширения, коллапс или сверхбыстрое расширение, называемое Большим разлетом, – зависит от природы таинственной темной энергии, ускоряющей расширение Вселенной.



пустое пространство не является таковым. В нем из вакуума появляются виртуальные пары частица-античастица, пролетают небольшое расстояние и вновь исчезают, причем все это происходит в столь незначительном промежутке времени, что их невозможно наблюдать. Однако косвенные эффекты очень важны и могут быть измерены. В частности, виртуальные частицы влияют на спектр водорода, причем расчеты экспериментально подтверждены.

Приняв данное положение, мы должны рассмотреть возможность того, что виртуальные частицы могут наделять пустое пространство некоторой ненулевой энергией. Таким образом, квантовая механика заставляет учитывать эйнштейновскую космологическую постоянную, которая не может быть отвергнута как «теоретически неудовлетворительная». Однако все расчеты и оценки вели-

чины энергии пустого пространства приводят к абсурдно большим значениям – на 55–120 порядков превышающим энергию всей материи и излучения в наблюдаемой области Вселенной. Будь плотность энергии вакуума действительно столь большой, все вещество во Вселенной мгновенно разлетелось бы в разные стороны.

Эта проблема появилась еще в 30-х гг., когда были проведены первые расчеты свойств виртуальных частиц. Однако во всех областях физики, не связанных с гравитацией, абсолютная энергия системы не имеет значения, существенна только разность энергий различных состояний. Если ко всем значениям энергии добавить некоторую константу, из результатов вычислений она выпадет, так что ею легко пренебречь. Кроме того, в те времена немногие физики относились к космологии настолько

серьезно, чтобы подумать о приложении к ней квантовой теории.

Однако теория относительности требует, чтобы в качестве источников гравитации рассматривались все формы энергии, включая энергию пустоты. В конце 60-х гг. советский физик Яков Борисович Зельдович предпринял первые попытки оценить плотность энергии вакуума. С тех пор теоретики и бьются над вопросом, почему их расчеты дают такие абсурдно большие значения энергии. Они полагают, что подавляющую часть энергии, если не всю ее, должен аннулировать какой-то механизм. Они считают, что самым правдоподобным значением плотности энергии вакуума должен быть ноль: ничто, даже квантовое, не должно ни на что влиять.

Пока теоретики в глубине души верили, что такой механизм компенсации энергии может существовать, они могли отложить решение пробле-

мы космологической постоянной на будущее, так как ею можно было пренебречь. Однако вмешалась природа.

Шаг назад

Первое свидетельство неких несообразностей было получено в результате исследований замедления расширения Вселенной. Как мы помним, Хаббл обнаружил, что относительные скорости удаления далеких галактик пропорциональны их расстояниям от нашей Галактики. С точки зрения общей теории относительности, соотношение обусловлено расширением самого пространства, которое должно замедляться из-за гравитационного притяжения. Но поскольку очень далекие галактики видны такими, какими они были миллиарды лет назад, замедление должно приводить к нарушению линейности соотношения Хаббла. Наиболее далекие галактики должны удаляться быстрее, чем предсказывает его закон. Сложность, однако, представляют точные измерения расстояний до очень далеких вселенных и их скоростей.

Данные вычисления основываются на поиске эталонных «свечей» – объектов известной собственной светимости, достаточно ярких, чтобы их можно было видеть через всю Вселенную. Прорыв наступил в 1990-х гг. в результате калибровки сверхновых типа Ia, которые считаются взрывами белых карликов с массами около 1,4 массы Солнца. Для измерения замедления расширения Вселенной были созданы: Космологический проект «Сверхновая» во главе с Солом Перлмутером (Saul Perlmutter) в Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли и Группа поиска сверхновых с большими Z, возглавляемая Брайаном Шмидтом (Brian Schmidt) в обсерваториях Маунт-Стромло и Сайдинг-Спринг. В начале 1998 г. обе группы сделали одно и то же открытие: последние 5 млрд. лет расширение Вселенной не замедлялось, а ускорялось. Выяснилось, что до нынешней была фаза замедления

(см. «От замедления к ускорению», «В мире науки», № 5, 2004).

Однако на существование некоей неизвестной формы энергии, обуславливающей расширение Вселенной, указывают не только данные наблюдений сверхновых. Сегодня самую точную картину ранней Вселенной дали измерения космического микроволнового фона (КМФ) – остаточного излучения Большого взрыва, которое позволяет выявить свойства Вселенной в возрасте около 400 тыс. лет. К 2000 г. измерения угловых размеров неоднородностей КМФ достигли точности, которая позволила ученым установить, что геометрия Вселенной является плоской. Открытие было подтверждено дан-

Есть еще и третий ряд доводов в пользу того, что ускорение расширения Вселенной было недостающей частью космологической головоломки. В течение двух десятков лет основным объяснением структуры Вселенной были парадигма инфляции в сочетании с холодным темным веществом. Теория инфляции утверждает, что в первые моменты своего существования Вселенная мгновенно расширилась до огромных размеров, что обусловило плоскостность ее геометрии и вызвало квантовые флуктуации плотности энергии в масштабах от субатомного до космического. Быстрое расширение привело к наблюдаемой неоднородности КМФ и способствовало

Космологические наблюдения позволяют выявить связи гравитации с квантовой механикой на фундаментальном уровне.

ными космического аппарата *WMAP* (Уилкинсоновский зонд анизотропии микроволн) и другими экспериментами, проведенными в 2003 г.

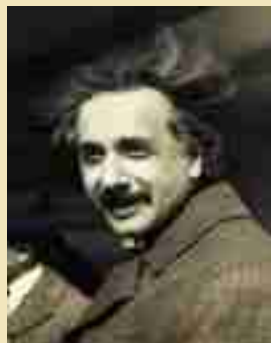
Чтобы геометрия вселенной была пространственно плоской, средняя плотность материи в ней должна быть равна критической. Однако многочисленные измерения всех ее форм, включая гипотетическое холодное темное вещество – море медленных частиц, которые не испускают свет, но обладают гравитационным притяжением, – показали, что плотность материи составляет лишь 30% критической. Для того чтобы вселенная была плоской, необходимо существование иной формы однородно распределенной энергии, не оказывающей заметного влияния на местную кластеризацию, но способной составить недостающие 70% критической плотности. Нужный эффект может дать энергия вакуума или что-то подобное.

формированию нынешней структуры Вселенной. Образованием этих структур управляла гравитация холодного темного вещества, которого намного больше, чем обычного.

Однако к середине 90-х гг. данные наблюдений поставили эту парадигму под сомнение. Предсказанный уровень кластеризации вещества значительно отличался от измеренного, и Вселенная оказалась младше самых старых звезд. В 1995 г. авторы данной статьи указали, что расхождения исчезают, если принять, что около 2/3 критической плотности составляет энергия вакуума. (Предложенная модель отличается от замкнутой Вселенной Эйнштейна, в которой значение плотности космологической постоянной составляла половину плотности вещества.) Наше предположение было по меньшей мере дерзким.

Однако теперь, спустя почти 10 лет, все сошлось. Возрожденная ▶

90 лет назад Эйнштейн впервые ввел космологическую постоянную, затем она была отвергнута, модифицирована и воскрешена.



ФЕВРАЛЬ 1917 г.:
Эйнштейн ввел космологический член для компенсации гравитационного притяжения, что позволило ему построить теоретическую модель конечной стационарной Вселенной.



МАРТ 1917 г.:
Голландский космолог Виллем де Ситтер предложил иную модель с космологическим членом. Позднее было показано, что ей соответствует ускоряющееся расширение Вселенной.



1922 г.:
Советский физик Александр Фридман построил модели расширяющейся и сжимающейся вселенных без использования космологической постоянной.

космологическая постоянная позволила не только объяснить нынешнее ускорение расширения Вселенной и предшествовавшее ему замедление, но и увеличить возраст Вселенной до 14 млрд. лет и добавить ровно столько энергии, чтобы довести ее плотность до критического значения. Однако физики все еще не знают, действительно ли источником такой энергии служит квантовый вакуум. Поскольку необходимо было установить природу космологической постоянной, ученые стали заниматься количественным опре-

сительности с теорией гравитации Ньютона, сделал открытие. Так же и современные физики, рассматривая теорию Эйнштейна, стремятся включить в нее законы квантовой механики. Возможно, космологические наблюдения позволят выявить связи гравитации с квантовой механикой. Эйнштейну помогла эквивалентность гравитации и физики ускоренных систем отсчета. Возможно, что сегодня путеводной звездой станет другой вид ускорения – ускорение расширения Вселенной.

где проявляется суперсимметрия, массы частицы и ее партнеры должны быть одинаковыми. Например, суперсимметричный электрон (сэлектрон) должен быть таким же легким, как электрон, и т.д. Кроме того, можно доказать, что в «супермире» квантовое ничто не будет иметь никакой массы, а вакуум должен иметь нулевую энергию. Предполагается, что в реальном мире сэлектрона с массой, равной массе электрона, не существует, иначе физики бы его обнаружили. Теоретики считают, что частицы-суперпартнеры в миллионы раз тяжелее электрона и поэтому, чтобы их обнаружить, нужны супермощные ускорители элементарных частиц. Возможно, что суперсимметрия – это нарушенная симметрия, при которой квантовое ничто может иметь некоторую массу.

Физики построили модели нарушенной суперсимметрии, в которых плотность энергии вакуума намного меньше абсурдно завышенных оценок, полученных ранее. Но даже эти значения намного больше тех, на которые указывают данные космологических наблюдений. Недавно выяснилось, что *M*-теория допускает бесконечное множество различных решений, которые приводят к слишком большим значениям плотности энергии вакуума. Но есть и такие, при которых она оказывается достаточно малой, чтобы согласовать ее с результатами космологических

Понятие об ускоренном расширении вселенной навсегда изменило наши представления о будущем. Мы больше не связываем конечную судьбу мира с геометрией.

делением энергии вакуума, и головоломка стала еще более запутанной, чем тогда, когда физики пытались построить теорию, которая исключала бы энергию вакуума. Сегодня ученым необходимо понять, почему она может быть отличной от нуля, но настолько малой, что ее влияние на космос стало существенным лишь несколько миллиардов лет назад.

Эйнштейн, рассматривая несовместимость частной теории отно-

Мир суперсимметрии

Многие физики считают, что объединить квантовую механику с гравитацией может теория струн (*M*-теория). Одно из ее основных положений – существование суперсимметрии, т.е. симметрии между частицами с полуполным спином (такие фермионы, как кварки и лептоны) и частицами с целочисленным спином (такие бозоны, как фотоны, глюоны и другие носители сил взаимодействия). Там,



1929 г.:

Американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил, что Вселенная расширяется. Два года спустя Эйнштейн отказался от космологического члена, назвав его «теоретически неудовлетворительным».

1967 г.:

Советский физик Яков Борисович Зельдович оценил плотность энергии квантового вакуума и нашел, что ей соответствует колоссальный космологический член.



1998 г.:

Две группы охотников за сверхновыми, возглавляемые Солом Перлмутером (слева) и Брайаном Шмидтом (справа), сообщили, что расширение Вселенной ускоряется. Этот эффект мог быть описан модифицированным космологическим членом. После 1998 г. были получены более весомые подтверждения ускорения расширения Вселенной.



наблюдений (см. «Ландшафт теории струн»).

Еще одна особенность теории суперструн – постулирование существования большого числа пространственных измерений. К трем обычным измерениям добавляются еще 6 или 7 скрытых, и появляется еще одно объяснение ускорения расширения Вселенной. Георгий Двали (Georgi Dvali) из Нью-Йоркского университета и его коллеги предположили, что влияние этих дополнительных измерений может проявляться в виде дополнительного члена в эйнштейновском уравнении поля, который и может обуславливать ускорение расширения Вселенной. Ранее считалось, что различия между общей теорией относительности и последующими теориями проявляются в условиях малых, а не космических расстояний. Подход Двали противоречит этому мнению.

Возможно, что объяснение ускорения расширения Вселенной никак не будет связано с тем, что космологический член так мал, или с обобщением теории Эйнштейна для включения в нее квантовой механики. Общая теория относительности утверждает, что гравитация объекта пропорциональна сумме плотности его энергии и утроенного внутреннего давления. Любой форме энергии с отрицательным внутренним давлением соответствует расталкивающая гравита-

ция. Поэтому ускорение расширения Вселенной может быть вызвано просто существованием необычного вида энергии, называемого темной энергией, которая не предсказывается ни квантовой механикой, ни теорией суперструн.

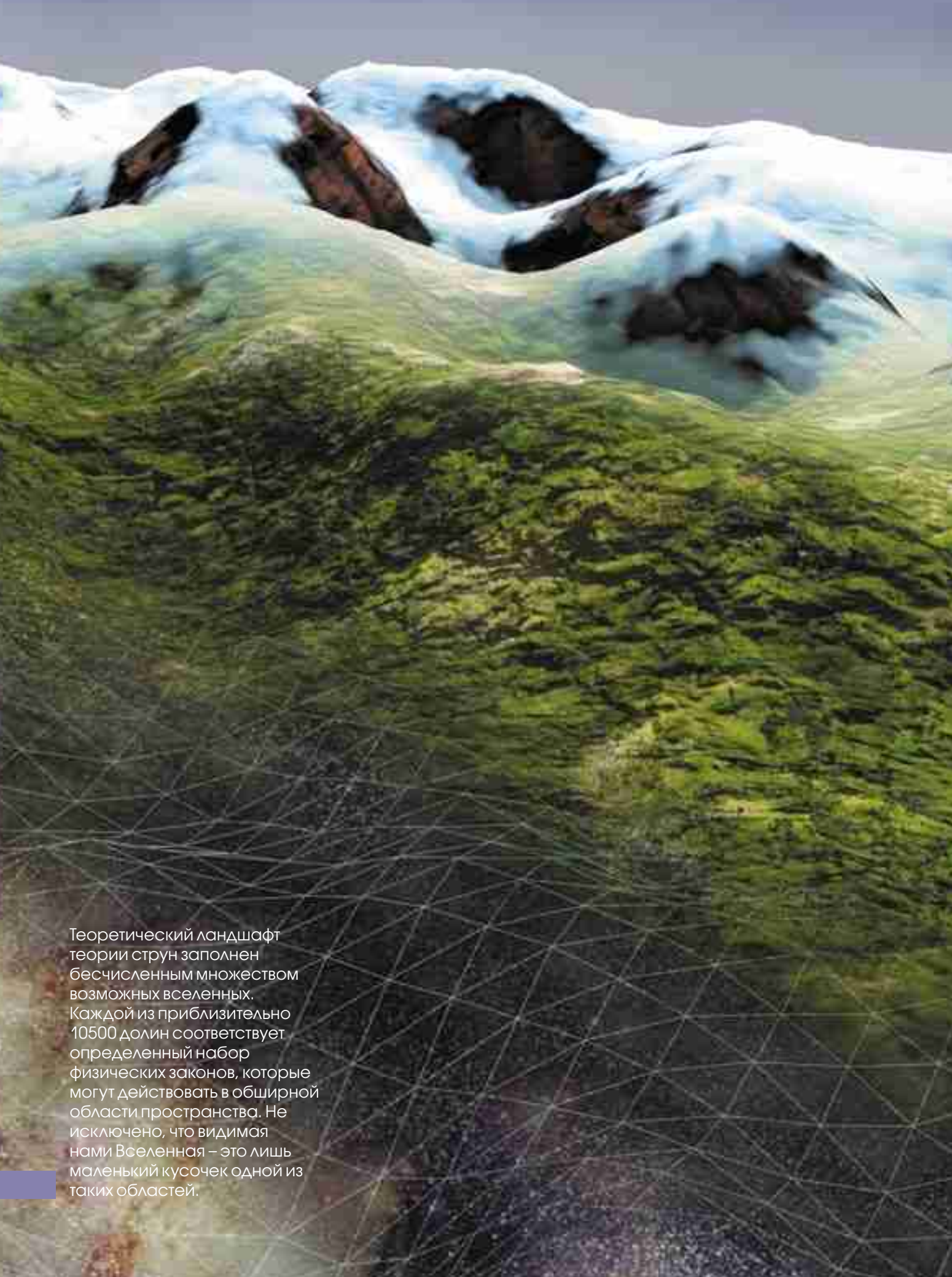
Геометрия и конечная судьба Вселенной

Как бы то ни было, факт ускоренного расширения Вселенной навсегда изменил наши представления о будущем. Мы больше не связываем конечную судьбу мира с геометрией. Плоская вселенная, в которой доминирует положительная энергия вакуума, будет расширяться вечно и со все увеличивающейся скоростью (см. рис. на стр. 48), а вселенная, в которой преобладает отрицательная энергия вакуума, в конце концов коллапсирует. Если же темная энергия вообще не является энергией вакуума, ее влияние на расширение Вселенной остается неясным. Возможно, что, в отличие от космологической постоянной, плотность темной энергии может со временем расти или уменьшаться. Если она будет увеличиваться, расширение Вселенной будет ускоряться, разрывая на части сначала галактики, потом планетные системы звезд, затем планеты и в конце концов атомы. Если же плотность темной энергии уменьшится, ускорение расширения может пре-

кратиться. А если эта плотность станет отрицательной, Вселенная рано или поздно коллапсирует. Без знания деталей происхождения энергии, вызывающей расширение Вселенной, никакая совокупность космологических наблюдений не позволит определить ее конечную судьбу.

Будущее нашей Вселенной будет определять физика пустого пространства. Потребуется новое измерение расширения Вселенной и космологических структур, которые укажут теоретикам направления работы. Планируются эксперименты, в том числе с использованием космического телескопа, предназначенного для наблюдения далеких сверхновых, и наземных телескопов для исследования темной энергии, а также ее влияния на крупномасштабные структуры.

Туман неизвестности привел Эйнштейна к тому, что он, пытаясь построить стационарную маховскую Вселенную, стал рассматривать космологический член. Сегодня неразбериха в отношении ускорения расширения Вселенной побуждает физиков использовать все возможные пути, чтобы понять природу энергии, ускоряющей расширение. Утешает лишь факт, что в итоге это может привести исследователей к объединению сил гравитации с другими силами природы, что и было самой заветной мечтой Эйнштейна. ■



Теоретический ландшафт теории струн заполнен бесчисленным множеством возможных вселенных. Каждой из приблизительно 10500 долин соответствует определенный набор физических законов, которые могут действовать в обширной области пространства. Не исключено, что видимая нами Вселенная – это лишь маленький кусочек одной из таких областей.

Рафаэль Буссо
Йозеф Полчински

ландшафт ТЕОРИИ СТРУН

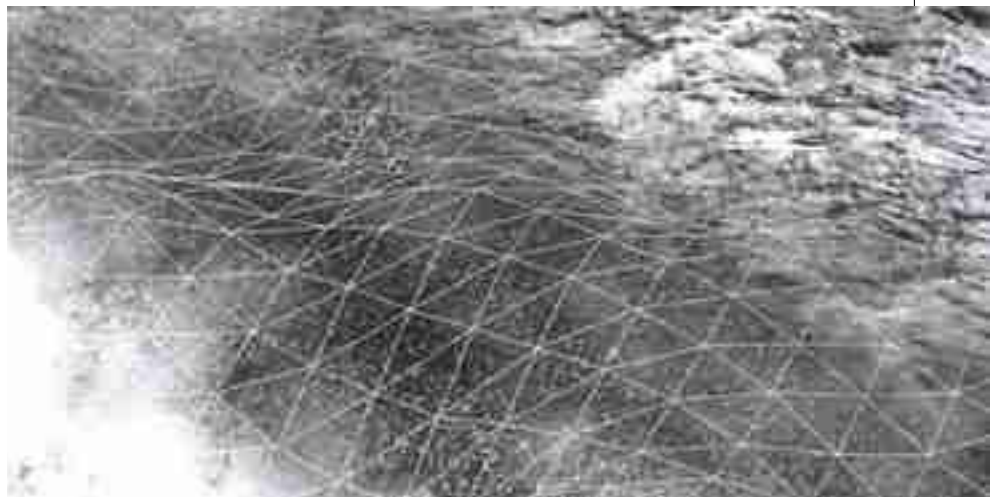
«В физике часто случалось, что существенный успех был достигнут проведением последовательной аналогии между несвязанными по виду явлениями».

*Альберт
Эйнштейн*

Согласно общей теории относительности, гравитация обусловлена геометрией пространства-времени. Любое массивное тело оставляет на нем свой отпечаток в соответствии с уравнением, которое Эйнштейн сформулировал в 1915 г. Например, для яблока на ветке время бежит быстрее, чем для физика, работающего в тени яблони. Падая, яблоко реагирует на искажение времени, обусловленное массой Земли. Искривление пространства-времени удерживает планеты на их орбитах и приводит к тому, что галактики все дальше разбегаются друг от друга. Эта элегантная теория подтверждена множеством точных экспериментов.

Раз уж гравитацию удалось заменить динамикой пространства

и времени, почему бы не поискать геометрическое объяснение других сил природы и элементарных частиц? Именно этому Эйнштейн посвятил большую часть своей жизни. Особое внимание он обратил на работу Теодора Калуцы (Theodor Kaluza) и Оскара Клейна (Oskar Klein), которые предположили, что если гравитация отражает форму четырех знакомых нам измерений пространства-времени, то электромагнетизм обусловлен геометрией дополнительного, пятого измерения, которое слишком мало, чтобы наблюдать его непосредственно (по крайней мере, пока). К сожалению, попытка Эйнштейна разработать единую теорию физики была преждевременной: лишь к 70-м гг. XX в. ученые разобрались в природе ▶



ядерных сил и осознали роль квантовой теории поля в описании физических явлений.

Как и предвидел Эйнштейн, сегодня в поиске единой теории ключевую роль играют геометрические понятия. Идея Калуцы–Клейна возрождена, дополнена и включена в теорию струн, претендующую на объединение квантовой механики, общей теории относительности и физики

только два вида взаимодействия – электромагнитное и гравитационное. Сила обоих обратно пропорциональна квадрату расстояния, поэтому возникло предположение, что они каким-то образом связаны. Калуца и Клейн заметили, что геометрическая теория гравитации Эйнштейна могла бы объяснить эту связь, если бы пространство-время было пятимерным.

Тогда общая теория относительно-сти описывала бы геометрию пятимерного пространства-времени, состоящую из трех элементов: формы четырех протяженных измерений, угла, под которым расположено малое измерение, и длины окружности, в которую оно свернуто. Большое пространство-время ведет себя согласно обычной четырехмерной общей теории относительности. В каждой точке пространства-времени угол и длина окружности имеют определенные значения – совсем как два пронизывающих его поля. Интересно, что поле углов похоже на существующее в четырехмерном мире электромагнитное: уравнения, описывающие их, идентичны. Длина окружности, в свою очередь, определяет отношение электромагнитных и гравитационных сил в данной точке. Таким образом, из одной пятимерной теории гравитации мы получаем две четырехмерные теории: тяготения и электромагнетизма.

Более того, дополнительные измерения могут сыграть ключевую роль в объединении общей теории относительности и квантовой механики. В столь модной сегодня теории струн частицы рассматриваются как одномерные объекты – крошечные вибрирующие отрезки и петли. Типичный размер струны соизмерим с длиной Планка и составляет около 10^{-35} м (меньше, чем одна миллиардная одной миллиардной диаметра атомного ядра). Следовательно, при любых масштабах меньше планковского струна выглядит как точка.

Чтобы уравнения теории были математически согласованными, струна должна колебаться в 10 измерениях. Значит, существуют шесть дополнительных измерений, которые слишком малы, чтобы их обнаружить. Кроме струн в пространстве-времени могут располагаться так называемые мембраны – поверхности различной размерности. В исходной гипотезе

Согласно теории струн, существуют шесть дополнительных измерений, которые настолько малы, что мы не можем их обнаружить (по крайней мере пока).

элементарных частиц. И в гипотезе Калуцы–Клейна, и в теории струн наблюдаемые нами законы физики определяются конфигурацией дополнительных микроскопических измерений. От чего же зависят их размеры и форма? Результаты последних экспериментальных и теоретических исследований удивительны и противоречивы: возможно, нам придется изменить наше представление о Вселенной.

Теория Калуцы–Клейна и теория струн

Калуца и Клейн выдвинули концепцию пятого измерения в начале XX в., когда ученым были известны

Дополнительное пространственное измерение, свернутое в маленькое колечко, без труда может ускользнуть от самых мощных ускорителей частиц (см. рис. на стр. 59). Кроме того, из общей теории относительности мы знаем, что пространство эластично. Доступные нам три измерения когда-то были намного меньше – они до сих пор расширяются. Поэтому не так уж сложно вообразить, что есть еще одно измерение, которое остается малым и поныне.

Хотя нам не дано непосредственно наблюдать дополнительное измерение, мы все же могли бы обнаружить его по косвенным признакам.

ОБЗОР

- Согласно теории струн, наблюдаемые нами законы физики зависят от того, как свернуты дополнительные измерения пространства.
- Многомерная карта всех возможных конфигураций дополнительных измерений представляет собой ландшафт, каждая долина которого соответствует устойчивому набору физических законов.
- Видимая нами Вселенная случайно оказалась в той области пространства, где законы физики пригодны для развития жизни.

Калуцы–Клейна квантовые волновые функции обычных частиц заполняют дополнительное измерение, и они как бы размазываются по нему. Некоторые струны, наоборот, могут располагаться только на мембране. В теории струн также рассматриваются потоки – силы, которые можно представить силовыми линиями точно так же, как это делается в классической (неквантовой) теории электромагнетизма.

В целом теория струн выглядит более сложной и запутанной, чем предположение Калуцы–Клейна, но ее математическая структура выгодно отличается большей полнотой и целостностью. При этом в ней нашла свое отражение и основная идея Калуцы и Клейна: физические законы зависят от геометрии скрытых дополнительных измерений.

Слишком много решений?

Согласно общей теории относительности, пространство-время должно удовлетворять уравнениям Эйнштейна. Иными словами, материя указывает пространству-времени, как изогнуться, а оно говорит материи, как двигаться. Но у уравнений нет однозначного решения: им удовлетворяет множество различных геометрий. Например, в пятимерной геометрии Калуцы–Клейна размер малого измерения может быть каким угодно: в отсутствие материи четыре больших плоских измерения и окружность любого диаметра представляют собой решение уравнений Эйнштейна. (Подобные множественные решения имеются и при наличии материи.)

В теории струн несколько дополнительных измерений и, следовательно, намного больше свободных параметров. Одно дополнительное измерение можно свернуть только в окружность, но когда их целая связка, то они могут принимать различные формы (топологии) вроде сферы, бублика (тора), двух соединенных торов и т.д. Каждая петля бублика (ручка) характеризуется ▶

СТРУНЫ И ТРУБКИ

В теории Калуцы–Клейна и теории струн постулируется существование дополнительных малых пространственных измерений. Чтобы представить их, рассмотрим пространство, которое состоит из длинной, очень тонкой трубки. Издалека трубка выглядит как одномерная линия, а ее цилиндрическая форма становится очевидной только вблизи. Каждая точка на линии оказывается окружностью – сечением трубки. В исходной теории Калуцы–Клейна каждая точка нашего трехмерного пространства представляет собой крошечную окружность.



Предполагается, что частицы, кажущиеся нам точечными объектами, на самом деле являются крошечными струнами. Кроме того, теория струн предсказывает существование многомерных мембран (зеленая). Концы незамкнутых струн (синяя) всегда располагаются на мембране. Струны в виде петель (красные) свободны от этого ограничения.



Теория струн включает в себя и гипотезу Калуцы–Клейна. Изображенная на рисунке линия пространства фактически представляет собой трубку, в которой содержится одномерная мембрана и множество струн. Некоторые из них как бы намотаны на трубку в один или несколько витков. При меньшем увеличении струны выглядят как точечные частицы, а дополнительное измерение и мембрана попросту видны.



длиной и радиусом образующей окружности, так что набор возможных конфигураций малых измерений огромен. Кроме того, есть параметры, определяющие местоположение мембран и количество потоков, закрученных вокруг каждой петли (см. врез на стр. 61).

Однако не все решения равноценны: каждая конфигурация имеет свою потенциальную энергию, создаваемую потоками, мембранами и кривизной свернутых измерений. Это так называемая энергия вакуума, которой обладает простран-

ствах энергия велика, поэтому кривая начинается высоко слева. Затем, слева направо, она снижается и образует три впадины, каждая следующая ниже предыдущей. Наконец, справа, после подъема из последней долины, кривая плавно спадает, стремясь к постоянной величине. Дно самой левой впадины лежит выше нулевого значения, дно средней – точно на нуле, а правой – ниже нуля.

Поведение скрытого измерения зависит от начальных условий, т.е. от того, откуда стартует олицетворяющий его шар. Если он начнет

непостоянно. Таким образом, мы находимся в минимуме, которому, по-видимому, соответствует положительная энергия вакуума.

Поскольку на самом деле параметров много, рассмотренную кривую энергии вакуума следует считать сечением сложной, многомерной поверхности, которую Леонард Зюскинд из Стэнфордского университета окрестил ландшафтом теории струн (см. врез на стр. 63). Дно впадин, куда может скатиться шар, соответствует устойчивым конфигурациям пространства-времени (включая мембраны и потоки), которые называют стабильным состоянием вакуума.

Мы привыкли к тому, что есть только два независимых направления: север–юг и восток–запад. Но ландшафт теории струн намного сложнее. Он простирается в сотни независимых направлений. Измерения ландшафта не следует путать с пространственными измерениями: по осям откладываются не координаты в физическом пространстве, а некие характеристики геометрии, например, размер ручек или положение мембран.

Ландшафт теории струн изучен еще не полностью. Вычисление энергии вакуума – нелегкая задача, и обычно ее решение сводится к поиску подходящих приближений. В 2003 г. Шамит Кахру (Shamit Kachru), Рената Каллош (Renata Kallosh) и Андрей Линде из Стэнфордского университета и Сандип Триведи (Sandip Trivedi) из Института фундаментальных исследований в Мумбаи (Индия) доказали, что ландшафт действительно имеет минимумы, в которых могут располагаться устойчивые вселенные.

Пока нельзя с уверенностью назвать количество устойчивых состояний вакуума, т.е. точек, в которых шар будет останавливаться. Но их может быть очень много: результаты исследований свидетельствуют о том, что есть решения, соответствующие приблизительно 500 руч-

Каждому решению соответствует определенный набор частиц, сил и законов макроскопического мира.

ство-время, когда четыре больших измерения полностью лишены материи и полей. Малые измерения стремятся принять такую конфигурацию, при которой энергия вакуума минимальна. Точно так же шар скатывается по склону холма, устремляясь к наиболее низкому положению.

Чтобы разобраться в последствиях такой минимизации, сосредоточимся сначала на одном параметре – общем размере скрытого пространства. Мы можем построить кривую, показывающую, как от него зависит энергия вакуума (см. врез на стр. 63). При очень малых разме-

движение справа от последнего пика, то будет бесконечно катиться вправо, и размер скрытого пространства будет неограниченно расти (в конце концов оно станет явным). В ином случае шар остановится на дне одной из впадин, т.е. размер скрытого пространства будет соответствовать наименьшей энергии. Три локальных минимума отличаются окончательным значением энергии вакуума – положительным, отрицательным или нулевым. В нашей Вселенной размер скрытых измерений с течением времени не изменяется, иначе физические константы были бы

ОБ АВТОРАХ:

Совместная деятельность **Рафаэля Буссо** (Raphael Bousso) и **Йозефа Полчински** (Joseph Polchinski) началась на семинаре, посвященном дуальности теории струн. Специалист по квантовой гравитации и инфляционной космологии, Буссо является доцентом кафедры физики в Калифорнийском университете в Беркли и занимается разработкой обобщенного голографического принципа, связывающего геометрию пространства-времени с его информационным содержанием. Полчински занимает должность профессора в Институте теоретической физики им. Кавли при Калифорнийском университете. В его работах по теории струн особое внимание уделено мембранам и их свойствам.

СКРЫТОЕ ПРОСТРАНСТВО

Каждое решение уравнений теории струн представляет определенную конфигурацию пространства и времени, т.е. расположение малых измерений, связанных с ними мембран (зеленые) и линий потока (оранжевые). В нашем мире существуют шесть дополнительных измерений, так что в каждой точке обычного трехмерного пространства скрывается крошечное шестимерное пространство (шестимерное многообразие) – аналог окружности, изображенной сверху на стр. 59. Физические законы, действующие в трех больших измерениях, зависят от размеров и структуры многообразия: от количества и взаимного расположения составляющих его «бубликов» и находящихся в них мембран и линий потока.



кам. Вокруг каждой из них можно обернуть несколько линий потока, но если их будет слишком много, пространство станет неустойчивым, как в правой части кривой на рисунке. Если предположить, что каждая ручка имеет от 0 до 9 линий потока (10 возможных значений), то можно говорить о 10^{500} конфигураций.

Каждому решению соответствует не только конкретная энергия вакуума, но и набор законов, действующих в четырехмерном макроскопическом мире и определяющих, какие существуют частицы и как они взаимодействуют. Теория струн может описать фундаментальные основы мироздания, но законы физики, с которыми мы сталкиваемся в макроскопическом мире, будут зависеть от геометрии дополнительных измерений.

Многие ученые надеются, что физика в конечном счете объяснит, почему наша Вселенная именно такова, какой мы привыкли ее видеть. Но прежде нужно ответить на многие серьезные вопросы, касающиеся ландшафта теории струн. Каким из устойчивых состояний вакуума описывается наш физический мир? Почему природа выбрала

именно это состояние вакуума, а не какое-либо другое? Можно ли считать все остальные решения просто абстрактными математическими возможностями, которым не дано стать реальностью? Неужели теория струн, предполагающая существование множества миров, лишь одному из них предоставляет привилегию реализации в действительности?

Чтобы не сводить целый ландшафт к единственному выбранному виду вакуума, мы выдвинули два важных предположения. Первое: иногда в результате квантовых процессов конфигурация малых измерений может скачкообразно изменяться. Второе: согласно общей теории относительности Вселенная способна расти настолько быстро, что различные конфигурации могут сосуществовать бок о бок, образуя соседствующие подвселенные. Находясь в одной из них, мы скорее всего просто не догадываемся о наличии других.

Тропа через ландшафт

Итак, каждое устойчивое состояние вакуума характеризуется определенным количеством ручек, мембран и квантов потока. Но любой из

этих элементов может спонтанно возникнуть или исчезнуть, в результате чего эпоха стабильности закончится перескоком мира в новую конфигурацию. На картине ландшафта исчезновение линии потока или другое изменение топологии выглядит как квантовый скачок через горный хребет в более глубокую долину.

Следовательно, со временем могут возникать различные состояния вакуума. Предположим, что сначала каждую из 500 ручек окружают девять единиц потока. Одна за другой все эти 4500 квантов потока будут распадаться, пока не будет исчерпана вся энергия, запасенная в них. Мы начинаем в высокой горной долине и, хаотично перепрыгивая смежные горные хребты, последовательно посещаем 4500 все более низких долин.

Путешествуя таким образом, мы обошли лишь мизерную часть всех 10^{500} возможных решений. Тем не менее теперь у нас есть представление о том, как энергия вакуума влияет на развитие Вселенной. Звезды и галактики замедляют расширение Вселенной, стремясь вызвать ее стягивание (коллапс). ▶

Но положительная вакуумная энергия действует подобно антигравитации: согласно уравнениям Эйнштейна она вызывает все более быстрый рост наблюдаемых нами трех измерений.

Не будем забывать, что в каждой точке нашего трехмерного пространства находится маленькое шестимерное, которому соответствует некоторая точка ландшафта. Это крошечное пространство переоскакивает в новую конфигурацию

способами в далеких друг от друга областях, теряющих потоки, связанные с различными ручками. Таким образом, каждый пузырь становится источником многих новых решений. Вселенная испытывает все возможные последовательности, приводящие к некоторой иерархии вложенных пузырей – подвселенных. Похожий сценарий вечной инфляции предложили Алан Гус (Alan Guth) из Массачусетского технологического института, Александр

связанной с энергией вакуума. Для Эйнштейна энергия вакуума – это космологическая постоянная, которую следовало добавить к уравнению общей теории относительности, чтобы согласовать ее с концепцией стационарной Вселенной (см. «Космическая загадка»). Однако великий физик оставил эту идею после того, как было доказано, что Вселенная расширяется.

С появлением квантовой теории поля пустое пространство (вакуум) заполнилось непрерывно возникающими и исчезающими виртуальными частицами и полями, которые обладают положительной или отрицательной энергией. Несложно подсчитать, что ее плотность в целом должна быть огромной – приблизительно 10^{97} кг/м³, или одна масса Планка на куб длины Планка. Мы обозначаем эту величину значком Λ_P . Этот результат называют самым неправильным физическим предсказанием: согласно экспериментальным данным, энергия вакуума не превышает $10^{-120} \Lambda_P$.

Вот уже три десятилетия ученые пытаются найти причину столь большого несоответствия, но ни одна из гипотез так и не получила широкого признания. Часто предполагалось, что вакуумная энергия равна нулю. Оставалось только объяснить, каким образом получилось точно нулевое значение. Возникла мысль, что энергия вакуума сама стремится к нулю. Но пока физики не смогли ответить, из-за чего это происходит и почему конечный результат оказался вблизи нуля.

В 2000 г. мы попытались решить эти вопросы и объединили богатство решений теории струн и их космологическую динамику с соображениями, высказанными в 1987 г. Стивеном Вейнбергом (Steven Weinberg) из Техасского университета.

Сначала рассмотрим изобилие решений. Вакуумная энергия – это высота точек нашего ландшафта.

Ландшафт теории струн представляет собой сложный, многомерный горный массив с сотнями независимых направлений.

не сразу повсеместно: сначала метаморфоза происходит в одном месте трехмерной Вселенной, а затем пузырь новой конфигурации с меньшей энергией быстро расширяется (см. врез на стр. 64). Если бы три больших измерения не росли, он в конце концов вообрал бы в себя каждую точку Вселенной. Но не исключено, что область старой конфигурации увеличивается быстрее.

Таким образом, и новые и старые области увеличиваются в размерах, но первые никогда полностью не уничтожают последних. Всеминой динамическая геометрия Эйнштейна: пространство растягивается, и поэтому в нем хватает места и для нового, и для старого вакуума. Когда новое состояние тоже начнет распадаться, в нем появится растущий пузырь вакуума с еще более низкой энергией.

Исходная конфигурация продолжает расти, и когда-нибудь она распадется в ином месте, переходя в другой близлежащий минимум ландшафта. Процесс повторяется бесконечно много раз, распады происходят всеми возможными

Виленкин из Университета Тафта и Андрей Линде.

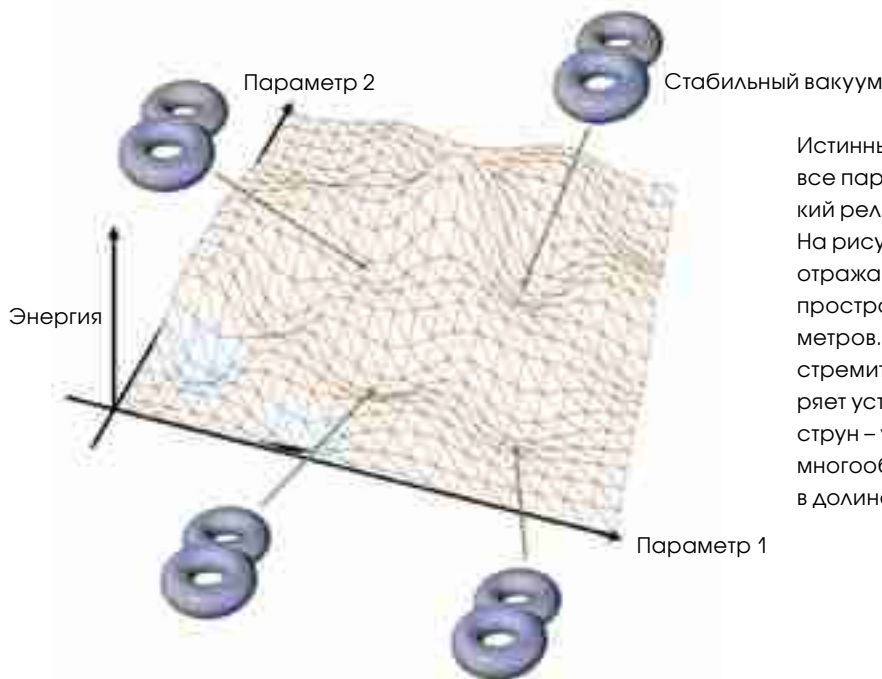
В каждом пузыре наблюдатель, проводящий эксперименты при низких энергиях (как это делаем мы), будет видеть определенную четырехмерную Вселенную с присущими ей законами физики. Информация извне в пузырь не попадает, т.к. промежуточное пространство расширяется слишком быстро и свет просто не может преодолеть его. Возможно, Большой взрыв – не более чем последний переход скрытых измерений в новую конфигурацию, которая теперь распространяется на многие миллиарды световых лет. И однажды (скорее всего в очень далеком будущем) наша часть мира вновь испытает такой переход.

Энергетический кризис в вакууме

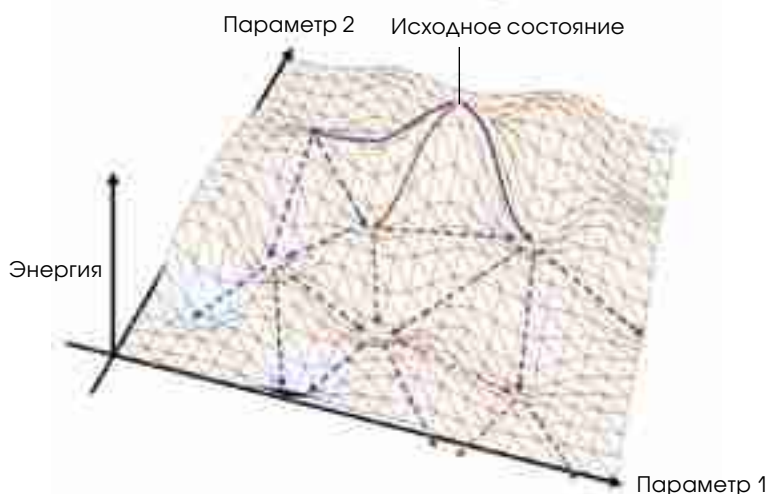
Мы описали, как во Вселенной возникают различные устойчивые состояния вакуума, образующие бесчисленное множество подвселенных, и плавно подошли к важнейшей теоретической проблеме,

ТОПОГРАФИЯ ЭНЕРГИИ

Ландшафт отражает зависимость энергии вакуума от параметров, которые определяют конфигурацию шестимерного многообразия. Если меняется только один параметр, скажем, общий размер скрытого пространства, ландшафт представляет собой обычную кривую. Ее впадинам (локальным минимумам энергии) соответствуют три конкретные значения параметра, соизмеримые с длиной Планка. Словно шар на склоне холма, многообразие будет растягиваться или сжиматься до тех пор, пока не окажется в одном из трех минимумов (в правой части графика наш шар может укатиться в бесконечность).



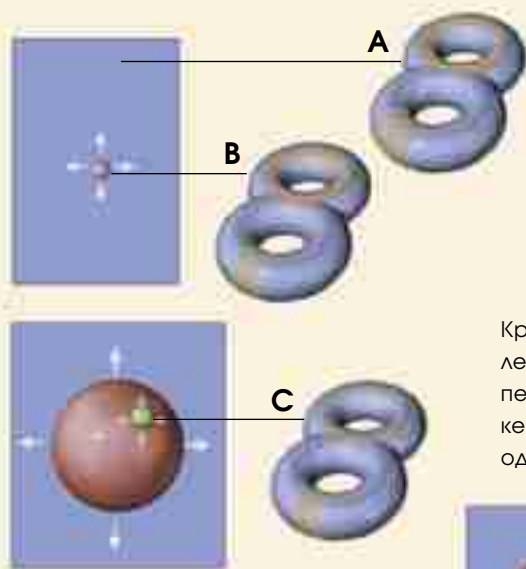
Истинный ландшафт теории струн отражает все параметры и выглядит как топографический рельеф с огромным числом измерений. На рисунке мы изображаем поверхность, отражающую зависимость энергии пустого пространства всего лишь от двух параметров. Многообразие малых измерений стремится ко дну долины, которое олицетворяет устойчивое решение уравнений теории струн – устойчивый вакуум. Таким образом, многообразие склонно надолго оставаться в долине. Энергия синих участков ниже нуля.



Квантовые эффекты позволяют многообразию внезапно изменять свое состояние и мгновенно перескакивать в близлежащую более низкую долину. Красными стрелками показан возможный сценарий развития одной из областей Вселенной. Стартовав на вершине горы, она скатывается в близлежащую долину (вакуум А), затем туннелирует в другую, более низкую (вакуум В), и т.д. Различные области Вселенной будут следовать случайными маршрутами, посещающими все возможные долины ландшафта (синие стрелки).

ПУЗЫРИ РЕАЛЬНОСТИ

Если учесть возможность перехода вакуума от одного состояния к другому, то можно построить радикально новую картину Вселенной.



Туннельный переход от одного устойчивого вакуума к другому происходит не сразу во всей Вселенной, а сначала в некоторой точке, которая превращается в расширяющийся пузырь пространства с новым видом вакуума (стрелки). Область, отмеченная синим, содержит вакуум А, многообразие дополнительных измерений которого состоит из двух бубликов, вокруг которых обернуты две и четыре линии потока соответственно. Красная область – вакуум В – появляется в момент распада одной из четырех линий потока. Поскольку этим двум областям соответствуют разные многообразия, в каждой из них будут существовать свои частицы и силы, а значит, и свои уникальные законы физики.

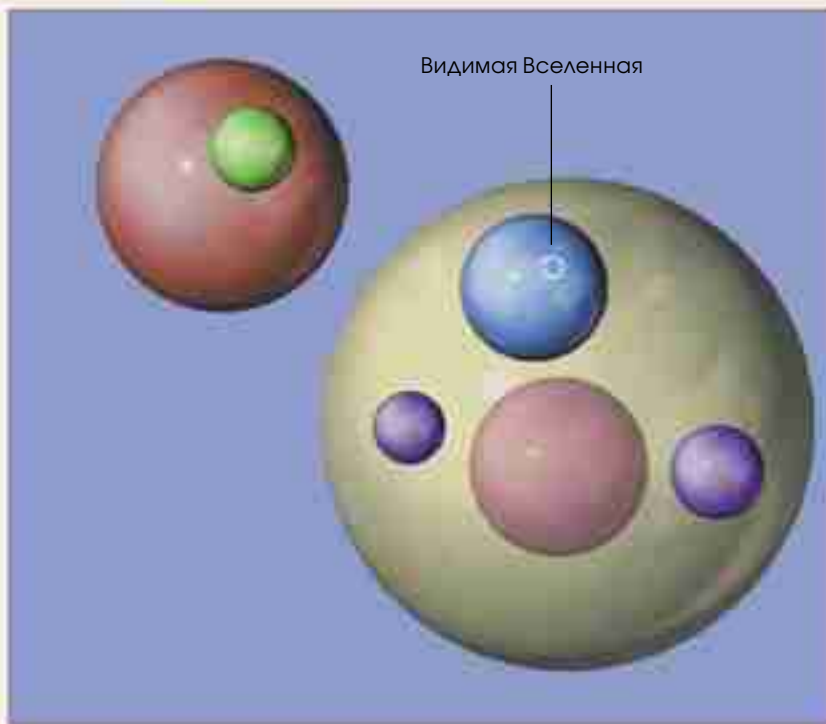
Красная область стремительно разрастается до миллиардов световых лет в диаметре. Затем в пределах красной области происходит другой переход, на этот раз в связи с распадом линии потока в другом бублике. Так возникает зеленая область, которая содержит вакуум С и еще один неповторимый набор частиц, сил и законов.



Зеленая область также быстро растет, но ей не суждено догнать красную, которая, в свою очередь, никогда не сможет целиком заполнить исходный вакуум, обозначенный синим.

Поскольку квантовые переходы носят случайный характер, удаленные друг от друга области Вселенной переходят от одного состояния вакуума к другому в разной последовательности. Таким образом, каждое устойчивое состояние вакуума реализуется во многих уголках Вселенной.

В целом Вселенная представляет собой пену из вложенных друг в друга расширяющихся пузырей. Далекое не в каждом из них законы физики подходят для формирования галактик и зарождения жизни. Видимая нами Вселенная (более 20 млрд. световых лет в диаметре) – лишь относительно малая область в пределах одного из пузырей.



Она может принимать значения в пределах от $+A_P$ на «горных вершинах» до $-A_P$ в «океанских впадинах». Допустим, имеется 10^{500} минимумов, высоты которых распределены случайным образом. Средняя разница высот составит $10^{-500}A_P$. Многие значения попадут в интервал от 0 до $10^{-120}A_P$. Этим объясняется, как появляются столь малые значения.

Общая идея не нова. Еще в 1984 г. советский физик Андрей Сахаров предположил, что сложная геометрия скрытых измерений могла бы обуславливать существование целого спектра энергий вакуума,

ше $-10^{-120}A_P$, мы просто не могли бы здесь существовать.

В узенькую «комфортную» зону попадает множество минимумов – приблизительно 10^{380} вариантов вакуума, но только у ничтожной их части энергия будет точно равна нулю. Если благоприятные для жизни виды вакуума распределены полностью случайно, то энергия 90% из них лежит в диапазоне от $10^{-119}A_P$ до $10^{-118}A_P$. Поэтому наблюдаемая нами энергия вакуума вероятнее всего должна быть ненамного меньше $10^{-118}A_P$. Результаты наблюдений взрывов отдаленных сверхновых свидетельствуют об

тика не оставляет нам никакого выбора. А вот наблюдаемые нами законы природы зависят от формы скрытых измерений, т.е. от того, в каком из множества вселенских пузырей мы находимся.

На карте ландшафта теории струн есть еще много белых пятен. Нам пока не удалось определить местонахождение устойчивого вакуума, который воспроизводит законы физики нашего четырехмерного пространства-времени. Возможно, когда-нибудь ученые будут непосредственно изучать физические законы для большего числа измерений с помощью струн, черных дыр или частиц Калуцы–Клейна в сверхмощных ускорителях. А может быть, астрономам посчастливится наблюдать струны космических размеров, возникшие при Большом взрыве и затем расширившиеся вместе со Вселенной.

В отличие от общей теории относительности, где есть точные уравнения, основанные на понятных физических принципах, теория струн еще окончательно не сформировалась. Возможно, со временем появятся новые концепции, которые полностью изменят ландшафт теории струн или даже заставят нас отказаться от него. Поэтому пока рано прекращать поиск других гипотез, объясняющих существование небольшой положительной вакуумной энергии. А пока мы вправе считать себя обитателями одного из самых спокойных уголков Вселенной, более разнообразной, чем все пейзажи нашей родной планеты. ■

В каждом пузыре перед наблюдателем предстает четырехмерная Вселенная с уникальными законами физики.

в который попадают значения, полученные опытным путем. Были и другие предложения, которые не вписываются в теорию струн.

Итак, перед нами предстала сложная картина Вселенной, состоящей из пузырей с различной величиной вакуумной энергии. В каком из них находимся мы? Почему энергия нашего вакуума так близка к нулю? Конечно, не обошлось без элемента случайности, но большинство точек ландшафта просто неприемлемы для жизни. Вас ведь не удивляет, что вы родились не в Антарктиде, не на дне Марианской впадины и не в безвоздушных пустынях Луны. Области Вселенной с большой положительной вакуумной энергией настолько стремительно расширяются, что условия в них, пожалуй, даже жестче, чем в окрестностях взрыва сверхновой. Районы с большой отрицательной вакуумной энергией быстро сжимаются и исчезают. Если бы энергия вакуума в нашем пузыре была больше $10^{-118}A_P$ или мень-

ускорении расширения Вселенной – явный признак того, что энергия вакуума положительна. По величине ускорения было определено ее значение – примерно $10^{-120}A_P$.

Концепция ландшафта теории струн сводит на нет проблему энергии вакуума. В свое время Эйнштейн пытался выяснить, могли Всевышний выбирать, как ему построить Вселенную, или же ее законы жестко определяются неким фундаментальным принципом. Нам, физикам, хочется надеяться на последнее. И хотя ученые все еще дорабатывают теорию струн, судя по всему, ее основные положения абсолютны и неизбежны: математический принцип выбора вакуума – явный признак того, что энергия вакуума положительна. По величине ускорения было определено ее значение – примерно $10^{-120}A_P$.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- The Elegant Universe. Brian Greene. W.W. Norton, 1999.
- A First Course in String Theory. Barton Zwiebach. Cambridge University Press, 2004.
- The Cosmological Constant Problem. Thomas Banks in Physics Today, vol. 57, No. 3, pp. 46-51.
- Официальный сайт теории струн: www.superstringtheory.com

Джордж Массер

прав ли ЭЙНШТЕЙН?

«Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины. Однако я не думаю, что квантовая механика является исходной точкой для поисков будущей теоретической основы, точно так же, как нельзя, исходя из термодинамики, прийти к основам механики».

Альберт Эйнштейн

Безусловно, авторитет Эйнштейна непререкаем, и предположение о том, что он мог заблуждаться, для обывателей звучит кощунственно. Даже пресловутая «большая ошибка» только укрепила веру в его непогрешимость: оказалось, что с ее помощью можно объяснить результаты последних астрономических наблюдений (см. «Космическая загадка»). И тем не менее многие физики-теоретики были

бы обескуражены, если бы великий ученый оказался прав.

В 1905 г. Эйнштейн ввел в употребление основные понятия квантовой теории, но во время квантовой революции 1920–1930-х гг. постарался опровергнуть ее. Его научная рациональность, казалось, сменилась реакционным мистицизмом, нашедшим отражение в знаменитой фразе: «Господь Бог не играет в кости».



Неужели квантовая механика – лишь фасад? Эйнштейн полагал, что за наблюдаемым нами причудливым квантовым поведением частиц стоят интуитивные принципы классической физики.

Потеряв интерес к квантовой механике, Эйнштейн посвятил последние десятилетия своей жизни попытке создать единую теорию физики. Его последователи избрали иной путь, решив, что, когда общая теория относительности, описывающая гравитацию, объединится с квантовой механикой, которая занимается всем остальным, первая уступит дорогу последней. Тогда творение Эйнштейна, строго говоря, не такое уж неправильное, будет рассматриваться просто как частный случай общей теории.

Крушение теорий

Однако в последние годы многие физики, стремящиеся к более глубокому пониманию квантовой теории, встают на сторону Эйнштейна. Так, Кристофер Фукс (Christopher Fuchs) из *Bell Labs* отмечает, что великий физик исследовал ключевые проблемы квантовой механики гораздо серьезнее, чем принято считать. Некоторые даже соглашались с тем, что в конечном итоге ей на смену придет более фундаментальная теория. Вряд ли квантовая теория при этом останется неизменной, полагает Рафаэль Буссо (Raphael Bousso) из Калифорнийского университета в Беркли.

Весьма серьезное заявление, если учесть, что квантовая механика – самое успешное теоретическое направление в истории науки. С ней не сравнится ни одна классическая теория, не считая общей теории относительности, и большинство физиков уверены, что ее полная победа – вопрос времени. В конце концов, теория Эйнштейна буквально пронизана дырами – черными дырами. Она предсказывает, что звезды могут сжиматься в бесконечно малые точки, но не в состоянии объяснить, что происходит дальше. Естественный способ придать ей целостность – интегрировать ее в квантовую теорию гравитации, например, в теорию струн.

Впрочем, и в царстве квантов не все в порядке. Эйнштейн одним из первых понял, что квантовая механика небезупречна: она не имеет бесспорных концептуальных основ, не может объяснить, почему происходят отдельные физические события и чем обусловлены внутренние свойства объектов. Кроме того, квантовая теория возвращает нас к до-эйнштейновской концепции пространства и времени. Например, она утверждает, что емкость восьмилитрового ведра в восемь раз больше, чем однолитрового. В повседневной жизни это так, но, согласно теории относительности, в определенных условиях восьмилитровый сосуд может содержать лишь в четыре раза больше материи, чем однолитровый. Т.е. истинная вместимость пропорциональна площади поверхности, а не объему. Речь идет о так называемом голографическом пределе: когда содержимое ведра становится достаточно плотным, происходит катастрофическое стягивание вещества в черную дыру. Таким образом, черные дыры предвещают крах не только теории относительности, но и квантовой теории (не говоря уже о ведрах).

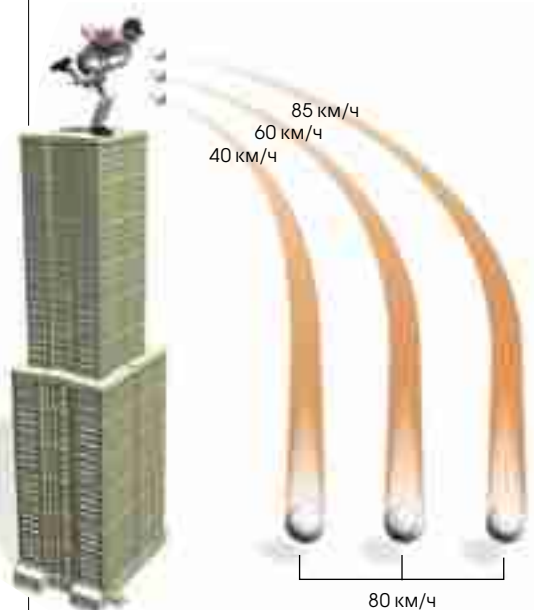
В 1920-х гг. ученые предложили дополнить квантовую механику так называемыми скрытыми переменными. Идея состоит в том, что квантовая механика происходит от классической, а не наоборот. Частицы имеют определенные координаты и скорости и подчиняются законам Ньютона или их релятивистской версии. Нам кажется, что они ведут себя странным квантовым образом просто потому, что мы не замечаем (или не можем заметить) истинную причину такого поведения. Карстен Вандебрук (Carsten van de Bruck) из Шеффилдского университета в Англии считает, что все происходящее в квантовом мире похоже на бросание монеты: то, что выглядит случай-

ным, в действительности таковым не является, поскольку может быть описано детерминистскими уравнениями.

Созидающее трение

Рассмотрим броуновское движение. Пляска частичек пыли в воздухе выглядит хаотичной, но, как показал сам Эйнштейн, она вызвана ударами невидимых молекул, движение которых подчиняется классическим законам. Уравнения квантовой механики поразительно похожи на уравнения молекулярно-кинетической теории и статистической механики. В некоторых формулах постоянная Планка (основной коэффициент квантовой теории) выступает в качестве математического аналога температуры. Все выглядит так, как если бы квантовая механика описывала некий газ или ансамбль «молекул» – хаотичную смесь примитивных объектов.

Ценность гипотезы, которую нельзя проверить экспериментально, определяют по ее интеллектуальной плодотворности. Теория струн, например, породила новые физические принципы и даже целые математические дисциплины. Поэтому ее нельзя считать бесполезной, даже если она не будет подтверждена эмпирически. С этой точки зрения концепция скрытых переменных менее удачна. Основанные на ней теории не предсказали новых явлений, не выявили никаких бесспорных принципов и не справились со своей главной задачей – избавить квантовую теорию от нелепостей вроде действия на расстоянии. Эйнштейн тоже когда-то увлекался скрытыми переменными, но в конце концов счел их недостойными внимания. Он пришел к выводу, что квантовую механику нельзя доработать с помощью классической теории; окончательное решение может быть получено только в результате тщательного пересмотра фундаментальной физики. ▶



Для объяснения квантовой механики в классических терминах предлагается использовать трение и потерю информации. Из-за трения о воздух все мячи, падающие с небоскреба, достигают одной и той же конечной скорости. Для наблюдателя, стоящего на земле, любые различия в начальных скоростях мячей теряются. Если во Вселенной действует некий неизвестный нам тип трения, квантовая механика просто отражает тот факт, что результаты событий стремятся к дискретным величинам вместо того, чтобы заполнять весь диапазон возможных значений.

классические системы в квантовые, каким-то образом связано с гравитацией.

Петли времени

Другой подход к скрытым переменным также основан на махинациях с размерностями, а точнее – со временем. Возможно, квантовая механика кажется нам странной из-за нашей уверенности в том, что настоящее определяется только прошлым. А что если и будущим? Тогда вероятностная природа квантовой теории просто отражает нашу неосведомленность о еще не наступивших событиях. В этом направлении работает Марк Хедли (Mark Hadley) из Уорвикского университета в Англии. Он указывает, что в общей теории относительности будущее так же реально, как и прошлое, поэтому они оба могут влиять на настоящее. Наблюдение, которое будет проведено в будущем, рассматривается как одна из скрытых переменных.

Хедли утверждает, что базовая логика квантовой механики является следствием теории относительности. Он также возродил идею, над которой Эйнштейн работал в 1930-х гг.: элементарные частицы не расположены в пространстве-времени, а скорее сами образуют пространство-время; они – не волокна, цепляющиеся за ткань, а ее маленькие узлы. Раньше к такой концепции относились скептически, поскольку она не объясняет особую вращательную симметрию квантовых частиц, но Хедли утверждает, что ему удалось справиться с этой проблемой.

Гипотезы Хофта и Хедли заслуживают внимания по двум причинам. Во-первых, связь между наблюдаемой квантовой действительностью и более глубокой классической трудно представить наглядно. Физикам это нравится: фундаментальная теория *обязана* быть трудной. Концепция должна быть изящной и настолько тонкой, чтобы никто не мог похвастаться полным пониманием всего, что из нее следует. Во-вторых, обе гипотезы предсказыва-

Но лет пять назад скрытые переменные воскресли из мертвых, в основном благодаря нобелевскому лауреату Герардусу Хофту (Gerardus 't Hooft) из Утрехтского университета в Нидерландах. Он утверждает, что существенное различие между квантовой и классической механикой состоит в потере информации. Классическая система содержит больше информации, чем квантовая, потому что классические переменные могут иметь любую величину, тогда как квантовые – дискретны. Чтобы стать квантовой, классическая система должна потерять информацию. Естественным путем это может произойти за счет трения или других диссипативных сил.

Если с крыши небоскреба бросить две монеты, то из-за трения о воздух их конечная скорость у земли будет одинакова. Человек, стоящий на тротуаре, не сможет назвать их точную начальную скорость; эта информация – скрытая переменная. Во многих подобных ситуациях широкий диапазон стартовых условий приводит к одинаковому долгосрочному поведению, известному как аттрактор. Аттракторы дискретны – точно так же, как квантовые состояния. Законы, которым они подчиняются,

имеют классические корни, но, по утверждению Хофта, описывают не что иное, как квантовую механику. Поэтому природа, будучи по сути классической, может выглядеть квантовомеханической благодаря рассеянию энергии. Массимо Блазоне (Massimo Blasone) из Салернского университета в Италии не исключает, что квантовая механика могла бы быть предельным случаем некоторой фундаментальной теории при малых энергиях.

Блазоне и его коллеги показали, что квантовый линейный гармонический осциллятор (квантовая версия простого маятника) в принципе обладает теми же свойствами, что и пара обычных осцилляторов с трением. Последние повинуются классическим законам, однако их совместное поведение следует квантовым правилам. Берндт Мюллер (Berndt Müller) из Университета Дьюка показал, что классическая система, действующая в пяти измерениях, может показаться квантовой, если наблюдать ее в четырех. Удивительное квантовое поведение обусловлено многообразием взаимосвязей, допускаемых дополнительными измерениями (скрытыми переменными). Вандебрук не исключает, что трение, превращающее

вают новые явления, которые в принципе можно наблюдать. Например, Вандебрук предполагает, что сильные гравитационные поля могут влиять на законы квантовой механики.

Любопытно, что подобные предположения возникают и в рамках господствующих теорий. Так, в теории струн квантовая система может быть математически эквивалентна, или двойственна, классической. В некоторых двойственностях участвуют системы статистической механики, родственные тем, что изучали Мюллер и его коллеги. Мало кто из специалистов по теории струн зашел бы настолько далеко, чтобы сказать, что квантовая система буквально является классической. Вместе с тем Брайан Грини (Brian Greene) из Колумбийского университета полагает, что исследование таких двойственностей поможет определить, в чем главное различие двух великих теорий и, следовательно, какие принципы лежат в основе квантовой механики. Можно ли получить квантовую теорию из теории относительности? Недавно Буссо вывел принцип неопределенности Гейзенберга из голографического предела.

Большинство физиков по-прежнему относятся к гипотезам скрытых переменных как к теоретическим наброскам. Квантовая механика похожа на тропическую чащу, по которой можно бродить бесконечно. Поэтому попытка свести ее к классической физике похожа на стремление вырастить амазонскую сельву на голых скалах. Прежде чем взяться за радикальную переделку теории, сначала хорошо бы досконально разобраться в ней.

Фукс и его единомышленники, стремящиеся проникнуть в сущность фундаментальных основ квантовой механики, обнаружили, что она во многом субъективна, так как описывает не объективные свойства физических систем, а информацию, которую получает исследующий их наблюдатель. Эйнштейн пришел к такому же заключению, когда критиковал понятие квантовой сцеплен-

ности – таинственной связи между двумя удаленными частицами. То, что выглядит как физическое взаимодействие, фактически является переплетением знаний наблюдателя об обеих частицах. В конце концов, если бы такая связь действительно существовала, ученые научились бы посылать сигналы быстрее света, а это пока не удается. Раньше физики предполагали, что измерение параметров квантовой системы заставляет ее коллапсировать из диапазона возможностей в единственную действительность. Фукс же утверждает, что разрушается только неопределенность наших знаний о системе.

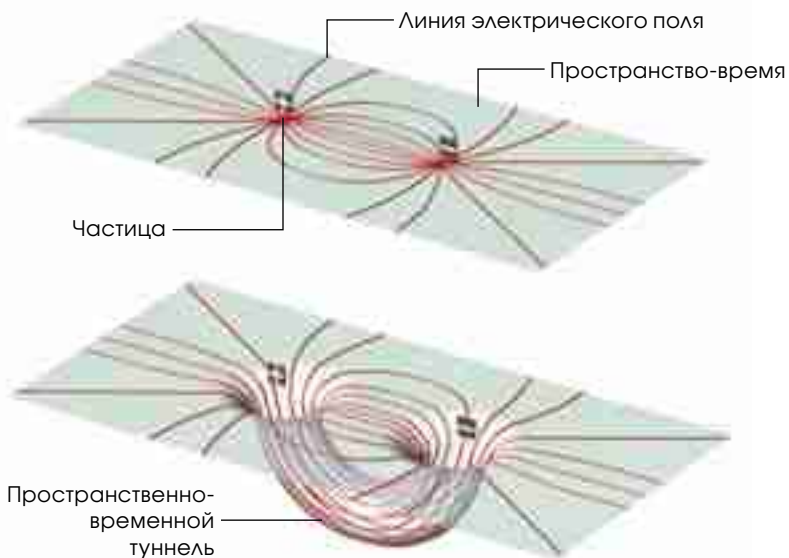
Задача состоит в том, чтобы убрать субъективные аспекты теории и выделить объективную реальность. Неопределенность в квантовой системе значительно отличается от неопределенности в классической. Это различие, возможно, поможет понять, что же происходит в действительности.

Рассмотрим шредингеровского кота в мешке. Классически зверь или жив, или мертв, а неопределенность

означает, что вы этого не знаете до тех пор, пока не заглянули в мешок. Квантовомеханически кот ни жив, ни мертв. Увидев животное, вы с одинаковой вероятностью вынуждаете его стать либо живым, либо мертвым. Эйнштейн считал это произволом. Скрытые переменные должны были бы устранить подобные безобразия. Или не должны? Ведь в действительности классическая Вселенная не менее произвольна, чем квантовая. Различие в том, где и как это проявляется.

Согласно классической физике, в самом начале времен только что возникшая Вселенная сама для себя была планом развития. В квантовой механике мироздание строится по ходу дела, в том числе через вмешательство наблюдателей. Фукс называет эту идею «сексуальной интерпретацией квантовой механики» и считает, что «нет какого-то единственного бытия, потому что мир все еще находится в процессе созидания, он все еще должен быть выкован». То же самое можно сказать о нашем понимании квантовой действительности. ■

Узлы пространства-времени помогают еще одним способом объяснить квантовую механику с позиций классической физики. Например, электрически заряженные частицы могут оказаться не материальными объектами, из которых исходят линии электромагнитного поля (вверху), а иллюзией, обусловленной наличием пространственно-временного туннеля (внизу).





Алан Костелецки

поиск нарушений

ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

«Никаким количеством экспериментов доказать теорию нельзя, но достаточно одного, чтобы ее опровергнуть».

Альберт Эйнштейн

Одно из основных положений теории относительности Эйнштейна заключается в том, что физические законы одинаковы для всех наблюдателей, движущихся с постоянной скоростью в любом направлении. Постоянство скорости света, замедление хода времени, уменьшение длины движущихся тел, эквивалентность массы и энергии ($E=mc^2$) подтверждены многими высокоточными экспериментами. Более того, на теории относительности зиждется современная экспериментальная физика: в коллайдерах (ускорителях на встречных пучках) используется увеличение массы и времени жизни быстрых частиц, опыты с радиоактивными изотопами основаны на преобразовании массы в энергию и т.д. Даже в бытовой электронике, например, приемниках глобальной навигационной системы (GPS), необходимо учитывать замедление времени на космических спутниках. Однако некоторые ученые пытаются экспериментально обнаружить нарушения теории относительности, которые могли бы стать провозвестниками единой теории всех известных сил и частиц.

Неизменность (инвариантность) физических законов для различных наблюдателей, движущихся с постоянной скоростью в любом направлении, отражает симметрию пространства и времени (пространства-времени). В 1890-х гг. ее изучал голландский физик Хендрик Антон Лоренц (Hendrik Antoon Lorentz), поэтому она так и называется – лоренцева симметрия. Пример обычной симметрии – симметрия вращения, присущая обычной сфере: как ее ни поворачивай, она выглядит всегда одинаково. Лоренцева симметрия касается не геометрических фигур, а физических законов, которые остаются одними и теми же, как бы ни был ориентирован наблюдатель и с какой бы постоянной скоростью он ни перемещался. Если лоренцева симметрия справедлива, пространство изотропно, т. е. все направления и все равномерные прямолинейные движения в нем эквивалентны – ни одно из них не может быть выделено как особое.

Лоренцева симметрия пространства-времени – это основа теории относительности. С ней связаны все релятивистские эффекты. Соответствующие им уравнения ►

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ВЕРНА



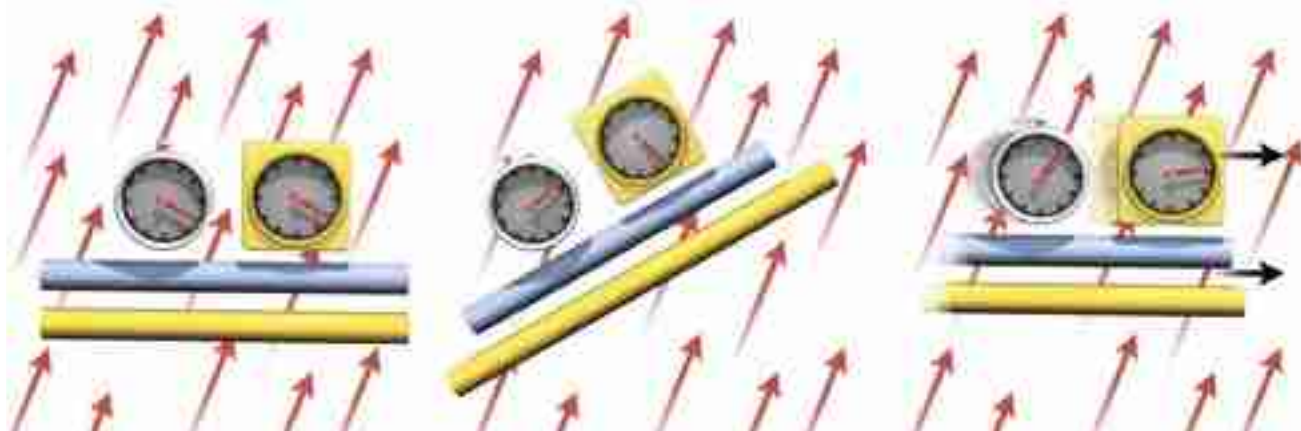
Лоренцева симметрия является фундаментальным свойством мира. Ее можно разделить на две компоненты: симметрию вращения и симметрию скоростей. Представим два стержня одинаковой длины из различных материалов и двое часов с различными механизмами, но одинаковой скоростью хода (а). Из условия симметрии вращения следует, что если одну пару «стержень-часы» повернуть относительно другой, то длины стержней останутся неизменными, а часы будут идти синхронно (b). В положении о симметрии скоростей рассматривается, что произойдет, если одна пара будет двигаться с постоянной скоростью относительно другой. В этом случае движущийся стержень укоротится, а ход движущихся часов замедлится, причем величины изменений будут зависеть от скорости движения (c). Когда пространство и время рассматриваются как единое пространство-время, оба вида симметрии математически почти идентичны. С лоренцевой симметрией тесно связана CPT-симметрия (C – зарядовое сопряжение, P – обращение четности, T – обращение времени). При замене одних часов часами из антивещества (зарядовое сопряжение), которые будут зеркально отражены (обращение четности) и будут идти в обратную сторону (обращение времени), синхронность хода сохранится (a). Согласно математическим уравнениям в квантовой теории поля лоренцева симметрия обеспечивает CPT-симметрию.



Часы

Часы из антивещества с обращенной четностью

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ НАРУШЕНА



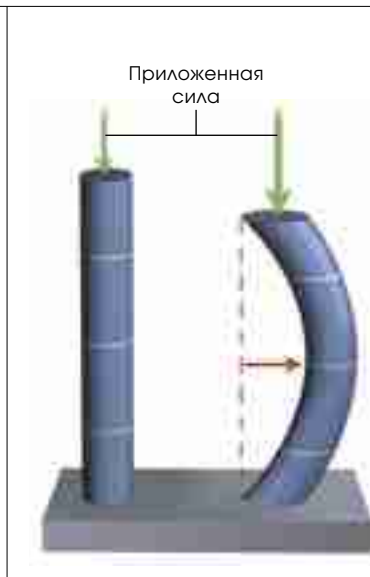
Нарушение лоренцевой симметрии может быть представлено векторным полем (показано стрелками). Частицы и силы взаимодействуют с ним так же, как заряженные частицы взаимодействуют с электромагнитным полем. В итоге лоренцева симметрия искажается: не все направления и не все скорости оказываются эквивалентными. Длины двух стержней из разных материалов, одинаковые при

одной ориентации относительно векторного поля (слева), могут оказаться различными при другой (в середине). Аналогично двое разнородных часов, синхронных при одной ориентации, могут замедлить или ускорить свой ход при другой. Кроме того, при движении и длина стержней, и скорость хода часов могут изменяться по-разному в зависимости от направления и скорости движения (справа).

были сформулированы еще до публикации эйнштейновской статьи в 1905 г., но ученые обычно истолковывали их как изменение физических свойств объектов: например, укорочение движущихся предметов объяснялось сокращением длины межатомных связей. Заслуга Эйнштейна в том, что он свел все детали в целостную картину, осознал тесную взаимосвязь изменения размеров и времени, а также рассмотрел пространство и время как единую сущность – пространство-время.

В Стандартной модели физики элементарных частиц – релятивистской квантовой теории поля – все частицы, а также электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия описываются полями, пронизывающими пространство-время и обладающими лоренцевой симметрией. Например, каждая частица (электрон, фотон и т.д.) представляет собой локализованное возбуждение соответствующего поля. Лоренцева симметрия налагает строгие ограничения на поведение и взаимодействие полей. Многие взаимодействия были исключены из этой теории именно потому, что они не отвечали лоренцевой симметрии.

Стандартная модель не охватывает гравитационное взаимодействие. Ему посвящена общая теория относительности, которая также основана на лоренцевой симметрии. (В частной теории относительности тяготение не рассматривается.) Как и в частной, в общей теории относительности физические законы одинаковы для любых направлений и скоростей наблюдателя, но гравитация усложняет сопоставление результатов экспериментов, проводимых в разных местах. Общая теория относительности является классической, т.е. некантовой, и пока никто не знает, как органично объединить ее со Стандартной моделью. Однако частичное объединение возможно в рамках так называемой Стандартной модели с гравитацией, описывающей все частицы и все четыре взаимодействия.



Спонтанное нарушение симметрии происходит в том случае, когда полностью симметричная совокупность условий или определяющих их уравнений приводит к асимметричному результату. Если сила приложена к концу цилиндрического стержня и направлена вертикально вниз (слева), то система полностью симметрична относительно его оси вращения. Но когда сила становится достаточно большой, система теряет устойчивость и стержень изгибается (справа). Нарушение симметрии можно представить в виде вектора (красная стрелка), характеризующего величину и направление изгиба. Нарушения лоренцевой симметрии обуславливаются наличием в пространстве подобных векторных величин.

Объединение и масштаб Планка

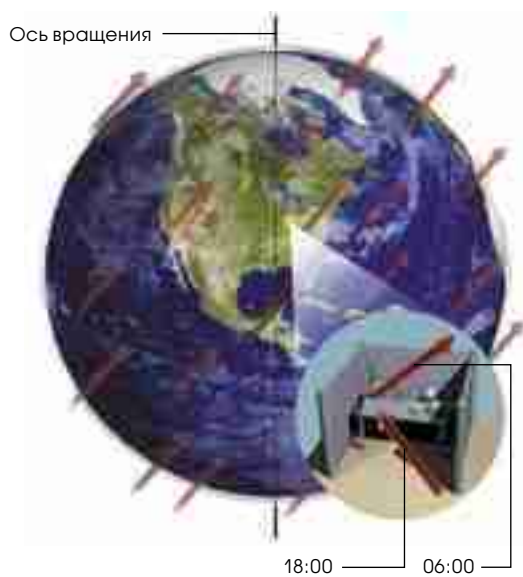
Сочетание стандартной модели и общей теории относительности удивительно хорошо описывает все фундаментальные явления и результаты экспериментов. Вместе с тем никаких опытных данных, выходящих за его рамки, до сих пор не получено (см. «Заря новой эры», «В мире науки», №9, 2003 г.). Тем не менее многие физики считают такое объединение неудовлетворительным. Дело в том, что изящные формулировки квантовой физики и общей теории относительности математически несовместимы. В случаях, когда существенно важны и тяготение, и квантовые эффекты (например, в классическом эксперименте с холодными нейтронами, поднимающимися в поле тяготения), гравитация выступает в качестве внешней силы. Такое представление хорошо согласуется с результатами

опыта, но на роль целостного фундаментального описания оно не годится. Допустим, человек поднимает тяжелый груз, а мы пытаемся смоделировать этот процесс. При этом механическую прочность и другие свойства костей описываем детально вплоть до молекулярного уровня, а мышцы представляем как «черные ящики» – устройства неизвестной конструкции, способные создавать усилия в определенном диапазоне значений.

Таким образом, многие физики-теоретики считают возможным и необходимым создание всеобъемлющей теории – полного и единого описания природы, в котором квантовая механика и тяготение сочетаются гармонично. Эйнштейн был одним из первых, кто занялся разработкой единой теории, которая включала бы в себя не только гравитацию, но и электромагнетизм. ▶

ОБЗОР

- Частная теория относительности прекрасно согласуется с результатами экспериментов. Однако согласно новым теориям, объединяющим квантовую механику и теорию тяготения, ее законы могут быть нарушены.
- До сих пор ученым ни разу не удалось экспериментально обнаружить нарушения теории относительности. Возможно, современная аппаратура просто недостаточно чувствительна.



Лаборатория (желтая точка) вращается вместе с Землей. Допустим, пространство заполнено векторным полем (стрелки), которое обуславливает нарушение законов теории относительности. В течение суток направление поля в лабораторной системе координат изменяется. Это позволяет обнаружить искажение лоренцевой симметрии, например, измеряя соотношение масс двух предметов, изготовленных из различных материалов.

с изображением на телеэкране, состоящим из множества отдельных светящихся пятнышек – пикселей. Размеры пикселей ничтожны по сравнению с расстоянием, с которого мы смотрим телевизор, поэтому они неразличимы. Но если телеведущий носит галстук в мелкую полоску, то на экране появляется муар, и существование пикселей становится очевидным. Нарушения теории относительности, словно муаровая картинка, могли бы выявить истинную структуру пространства-времени. Внешне оно выглядит лоренц-инвариантным, однако в достаточно малых масштабах могло бы проявиться искажение лоренцевой симметрии.

Обнаружить эти нарушения можно в диапазоне расстояний от 10^{-34} м до 10^{-17} м. Чтобы дать вам представление о порядке величин, отметим, что толщина человеческого волоса примерно в 1030 раз меньше размера видимой Вселенной и в 10^{17} меньше диаметра орбиты Нептуна. Поэтому для регистрации нарушений теории относительности необходимо ставить чрезвычайно точные эксперименты.

Другая фундаментальная симметрия пространства-времени, которая может искажаться, – это так называемая *CPT*-симметрия, т.е. инвариантность по отношению к одновременной замене частицы античастицей (зарядовое сопряжение, *C*), зеркальному отражению (обращение четности, *P*) и обращению времени (*T*). В Стандартной модели *CPT*-симметрия соблюдается, но нарушения теории относительности могут исказить ее.

Спонтанные нарушения

Из-за чего же в окончательной теории могли бы возникать нарушения теории относительности? Например, из-за спонтанного нарушения лоренцевой симметрии. Оно в чем-то схоже со спонтанными нарушениями других видов симметрии, происходящими, когда лежащие в основе явления физические законы симметричны, а реальная система – нет.

К сожалению, он взялся за эту задачу слишком рано. Сегодня мы знаем, что электромагнетизм тесно связан с сильным и слабым взаимодействиями. Экспериментальные данные, которые позволили охарактеризовать их, были получены уже после смерти Эйнштейна.

Одним из многообещающих претендентов на звание единой теории является теория струн, согласно которой все частицы и силы – это сочетание одномерных струн и многомерных мембран (см. *«Ландшафт теории струн»*). Конкурирующая теория – петлевая квантовая гравитация – представляет собой квантовую интерпретацию общей теории относительности. В ней пространство рассматривается как мозаика дискретных кусочков (квантов) объема и площади (см. *«Атомы пространства и времени»*, *«Мир науки»*, №4, 2003 г.).

Какой бы ни оказалась окончательная теория, ожидается, что квантовая физика и гравитация окажутся неразрывно связанными лишь в масштабах длины Планка (порядка 10^{-35} м). Объекты таких размеров слишком малы, чтобы их можно было «увидеть» не только с помощью электронных микроскопов, но даже с помощью мощнейших коллайдеров, способных «прощупывать» пространство лишь до расстояний порядка 10^{-19} м. Таким образом, и без того нелегкая задача создания единой теории сильно осложняется тем, что объекты, которые она будет описывать, невозможно наблюдать непосредственно.

И все же в сверхточных экспериментах, возможно, удастся обнаружить небольшие косвенные эффекты, отражающие новую физику единой теории. Можно провести аналогию

ОБ АВТОРЕ:

Алан Костелецки (Alan Kostelecký) – профессор теоретической физики из Индианского университета. В его работах рассматривается широкий спектр проблем в области физики элементарных частиц, гравитации, теории струн, математической и атомной физики. Исследования лоренцевой и *CPT*-симметрии, проведенные ученым, легли в основу многих экспериментов по поиску нарушений теории относительности.

Представьте тонкий длинный цилиндрический стержень, вертикально стоящий на полу (см. рис. на стр. 73). Допустим, на верхний конец стержня действует направленная вниз сила. Рассматриваемая система и описывающие ее физические уравнения полностью симметричны по отношению к вращению относительно оси стержня: он имеет цилиндрическую форму, а сила направлена вертикально вниз. Но если она будет достаточно велика, стержень непременно изогнется в какую-нибудь сторону, и вращательная симметрия будет нарушена.

Когда речь идет о нарушении теории относительности, вместо стержня появляются квантовые поля частиц и взаимодействий, которые описываются уравнениями единой теории. Естественное фоновое значение этих полей обычно равно нулю, но в некоторых случаях они могут стать ненулевыми. Представьте, что это случилось с электрическим полем. Поскольку оно векторное, в каждой точке пространства возникает

особое, определяемое им направление, и заряженные частицы будут ускоряться вдоль этого направления. Таким образом, вращательная симметрия (и симметрия ускорений) нарушаются. Те же рассуждения применимы к любому ненулевому тензорному полю (вектор является частным случаем тензора).

В Стандартной модели такие спонтанные ненулевые тензорные поля отсутствуют. А вот в новых фундаментальных теориях (в том числе и в теории струн) есть благодатная почва для спонтанных нарушений лоренцевой симметрии. Мысль об их существовании и о поддающихся наблюдению нарушениях теории относительности мы со Стюартом Самьюэлом (Stuart Samuel) из Нью-Йоркского городского колледжа впервые высказали в 1989 г. А два года спустя мы с Робертусом Поттингом (Robertus Potting) из Альгаврского университета в Португалии рассмотрели спонтанные нарушения *CPT*-симметрии в теории струн.

С тех пор был предложен еще целый ряд подобных механизмов в других теориях квантовой гравитации. Если спонтанное нарушение лоренцевой симметрии действительно окажется частью окончательной фундаментальной теории, соответствующие нарушения теории относительности, возможно, станут ее первыми экспериментальными свидетельствами.

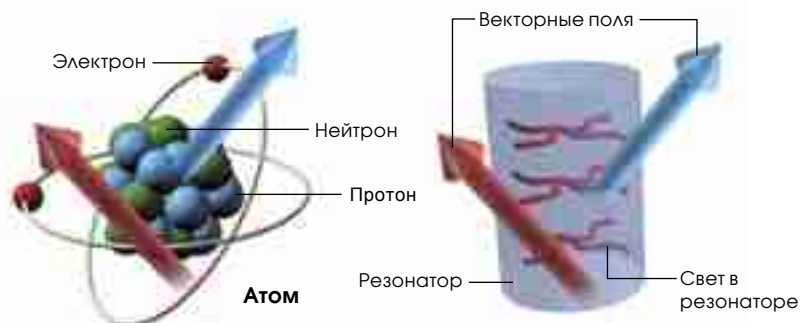
Расширение Стандартной модели

Допустим, фундаментальная теория действительно включает в себя какие-то механизмы нарушения лоренцевой симметрии и, возможно, нарушения *CPT*-симметрии. Как они могут проявиться в опытах и как их можно связать с известными физическими законами? Чтобы ответить на эти вопросы, нам нужна общая теоретическая основа, охватывающая все возможные эффекты и позволяющая рассчитать конкретные параметры экспериментов, а также предсказать ожидаемые результаты. ▶

ОРБИТАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА В КОСМОСЕ

Чтобы обнаружить искажения лоренцевой симметрии на борту космической станции, нужно сравнивать скорость хода различных часов. На рисунке внизу представлены два векторных поля, которые по-разному взаимодействуют с частицами и нарушают законы теории относительности (красные и синие стрелки). В ходе эксперимента сравниваются атомные часы (изображены в виде атома) и часы на основе лазера или мазера (изображены волнистыми линиями). Свет и электроны (красные) взаимодействуют с красными векторами, а протоны (синие) – с синими. При вращении станции это взаимодействие изменяется, в результате чего часы идут то синхронно, то асинхронно. Иными словами, лоренцева симметрия искажается. Поскольку станция делает один оборот за 92 минуты, скорость получения данных и точность оказываются существенно выше, чем в наземной лаборатории.



ПРЕВЗОЙТИ ГЕНИЯ

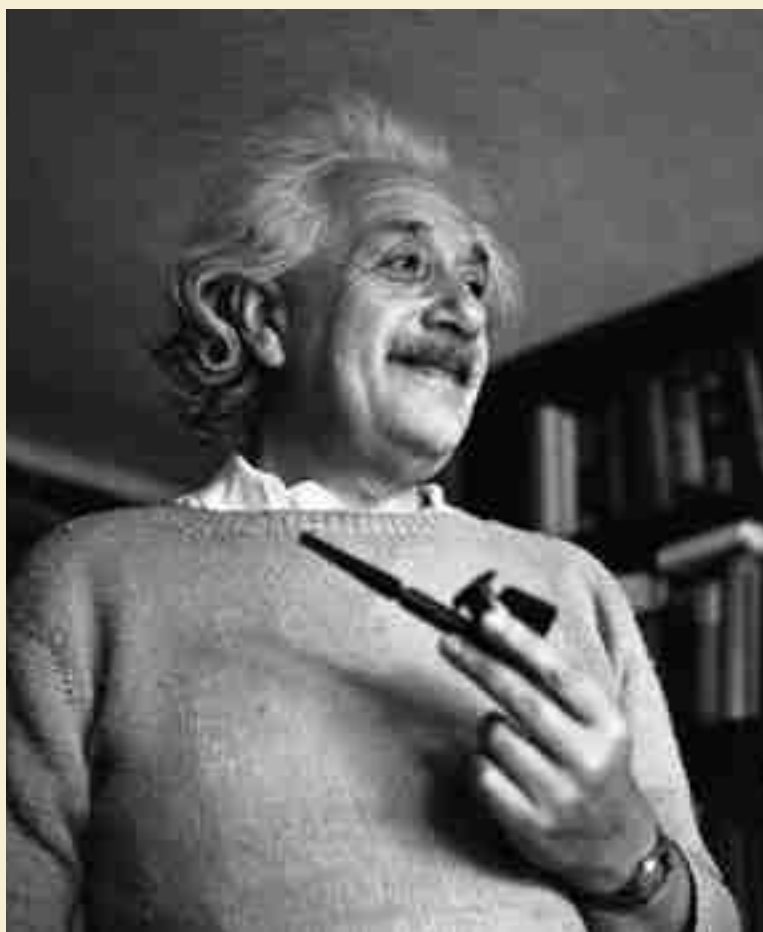
Многие хотят быть эйнштейнами. Авторы большинства писем, адресованных ученым и редакциям научных журналов, сообщают о своих успехах в доказательстве ошибочности его идей или в создании единой теории, которую Эйнштейн так и не смог разработать. (Остальные «гении» пишут о вечных двигателях и неиссякаемых источниках энергии.) Пытаясь превзойти или опровергнуть великого физика, они надеются отобрать у него лавровый венок. Но им удается лишь убедить читателя в скудости своих познаний в области теории относительности.

Впрочем, не все иконоборцы безумны. Многие серьезные исследователи тоже хотят пойти дальше Эйнштейна, как он пошел дальше Галилея и Ньютона. Некоторые доработанные версии теории относительности действительно заслуживают внимания. В 2000 г. Джованни Амелино-Камелия (Giovanni Amelino-Camelia) из Римского университета предложил так называемую дважды частную теорию относительности. Позднее ею заинтересовались Ли Смолин (Lee Smolin) из Института теоретической физики в Ватерлоо, Жуан Магейжу (João Magueijo) из Имперского колледжа в Лондоне и другие авторитетные физики.

Дважды частная теория относительности возникла под влиянием теории петлевой квантовой гравитации (см. «Атомы пространства и времени», «В мире науки», №4, 2004 г.). Помимо скорости света в вакууме c , в ней предусмотрен второй предел скорости. Предполагается, что на очень малых расстояниях непрерывное пространство-время становится дискретным, как песок или паутина. В квантовой физике малые расстояния соответствуют большим импульсам и энергиям. Частица, обладающая большой энергией (энергией Планка), должна «ощущать» зернистость пространства-времени. Это нарушение теории относительности, в которой пространство-время считается непрерывным. Поэтому согласно дважды частной теории относительности частицу невозможно разогнать не только до скорости, превышающей c , но и до энергии, превышающей энергию Планка.

В соответствии с некоторыми моделями скорость света очень высокой частоты должна быть больше скорости низкочастотного света. Пытаясь обнаружить это различие, астрономы исследуют излучение далеких вспышек гамма-излучения.

Скептики сомневаются в обоснованности этих теорий и указывают на то, что новые уравнения физически эквивалентны стандартным уравнениям теории относительности, но намеренно осложнены. Ситуация прояснится, предлагаемые теории будут подтверждены экспериментом или окажется, что они вытекают из более фундаментальных парадигм, например, из теории струн или теории петлевой квантовой гравитации.



Величественная фигура Эйнштейна стала привлекательной мишенью для многих физиков. Возможно, он смотрел бы с одобрением на все попытки выйти за пределы его теорий.

Другое нарушение – изменение величины c в процессе развития Вселенной. С начала 1990-х гг. этой проблемой занимаются Джон Моффат (John W. Moffat) из Торонтского университета и Жуан Магейжу. Если сразу после Большого взрыва скорость света c была намного больше, чем сейчас, взаимодействие распространялось чрезвычайно быстро. Это позволяет ответить на некоторые нерешенные космологические вопросы.

Вместе со скоростью света должна была изменяться и постоянная тонкой структуры α – безразмерная величина, определяющая силу электромагнитного взаимодействия. Ее можно выразить через скорость света c , постоянную Планка h и заряд электрона e . Поэтому α может варьироваться и при неизменной c , что не противоречит теории относительности. В теории струн значение α зависит от структуры дополнительных малых измерений (см. «Ландшафт теории струн»).

Еще в 1955 г. возможность изменений α рассматривал великий советский физик Лев Ландау. Сегодня физики и астрономы анализируют свет далеких квазаров, чтобы выяснить, каково было значение α в древние времена. Пока поиски частотных сдвигов не увенчались успехом. Исключения составляют результаты исследовательской группы Джона Вебба (John K. Webb) из Университета Нового Южного Уэльса в Австралии. Ученые использовали новый метод анализа экспериментальных данных и представили свидетельства частотных сдвигов (правда, статистически не совсем достоверные). По мнению австралийцев, в период между 11 и 8 млрд. лет тому назад значение α было на 6 миллионных меньше нынешнего. Столь малое изменение плохо согласуется с теорией струн.

Некоторые ученые считают, что обнаруженные сдвиги частоты представляют собой просто статистические флуктуации. В марте этого года группа астрономов во главе с Патриком Птижаном (Patrick Petitjean) из Парижского астрофизического института и Рагунатаном Срианандом (Raghunathan Srikanand) из Межуниверситетского астрономического и астрофизического центра в Пуне (Индия) пришла к заключению, что 10 млрд. лет назад значение α отличалось от сегодняшнего не более чем на 6 миллионных, что противоречит результатам, полученным группой Вебба.

Итак, пока Эйнштейн успешно противостоит всем. Иконоборцам придется и дальше искать слабинку в его броне.

Грехэм Коллинз (Graham P. Collins), штатный автор *Scientific American*.

В процессе разработки такой основы мы руководствуемся определенными критериями. Во-первых, все физические явления должны быть независимы от системы координат в пространстве-времени. Во-вторых, успешные экспериментальные подтверждения Стандартной модели и общей теории относительности свидетельствуют о том, что нарушения лоренцевой и *CPT*-симметрии должны быть малыми. Основываясь на этих принципах и используя только известные силы и частицы, мы получили несколько возможных взаимодействий, которые можно было бы добавить к уравнениям теории. Каждый добавочный член соответствует приобретению ненулевого фонового значения определенным тензорным полем. Коэффициенты, определяющие значимость добавочных членов, неизвестны, и многие из них вполне могут оказаться равными нулю, когда будет установлена окончательная теория.

Результатом наших трудов стала расширенная Стандартная модель (PCM). Ее красота – в общности: каков бы ни был ваш взгляд на причины нарушения теории относительности, результирующие эффекты должны быть описаны в рамках PCM, поскольку в ней содержатся все жизнеспособные модификации и обобщения теории относительности, совместимые со Стандартной моделью и известными свойствами гравитации.

Чтобы наглядно представить себе нарушения лоренцевой симметрии, вообразим, что пространство-время имеет собственную ориентацию. Если в уравнения PCM включено векторное поле, то она совпадает с его направлением, а в более общем случае тензорного поля выражается аналогичным, но чуть более сложным образом. При наличии фоновых полей движение и взаимодействие частиц зависит от направления, совсем как при рассмотрении заряженных частиц в электрическом или магнитном поле. Схожее представление применимо и к нарушению *CPT*-сим-

метрии, но в данном случае эффекты определяются различием связей частиц и античастиц с фоновыми полями.

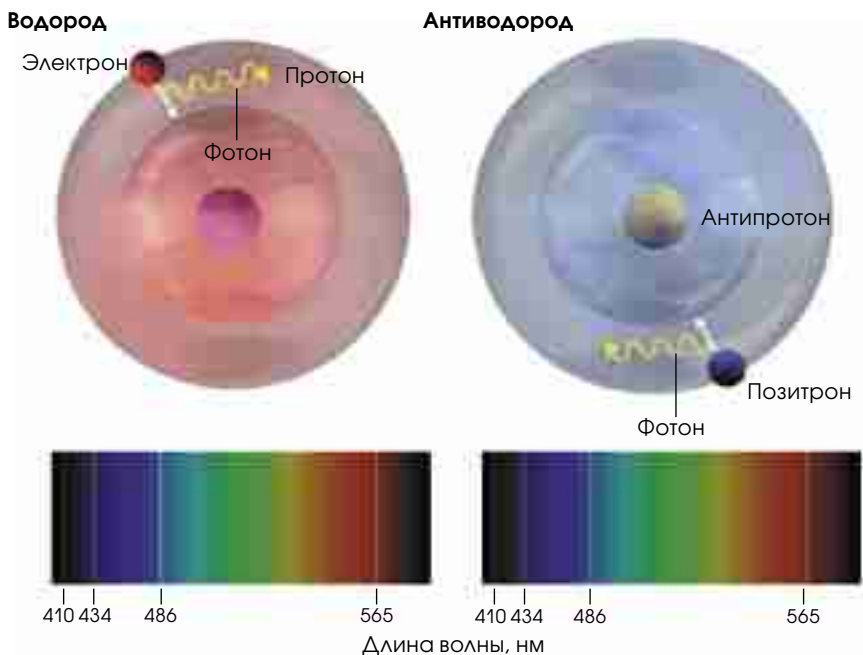
Согласно PCM, нарушения теории относительности по-разному влияют на поведение частиц. Их свойства и взаимодействия могут зависеть от направления (вращательные нарушения) и скорости движения (скоростные нарушения). Если частица обладает спином (собственным моментом импульса), ее поведение может зависеть от его величины и ориентации. Кроме того, частица может не быть зеркальным отражением своей античастицы (нарушение *CPT*-симметрии). Различные частицы могут вести себя по-разному: например, влияние нарушения на протоны может быть более сильным, чем на нейтроны, а на электронах оно может вообще не сказаться. Эксперименты по обнаружению этих эффектов уже проводятся, но ни в одном из них пока не было получено убедительное свидетельство нарушений теории относительности.

Древний свет

Согласно PCM, из-за нарушений теории относительности должна заметно изменяться поляризация света, прошедшего в космосе миллиарды световых лет.

Наша расширенная теория предусматривает нарушения теории относительности, как нарушающие *CPT*-симметрию, так и сохраняющие ее. По техническим и теоретическим соображениям первые должны быть пренебрежимо малы или вообще отсутствовать. Космологические данные подтверждают это с точностью до 10^{-42} . Зато нарушения теории относительности, не искажающие *CPT*-симметрию света, наверняка можно обнаружить путем измерения космологической поляризации: изменение степени поляризации света должно зависеть от цвета (длины волны). В Индианском университете мы вместе с Мэтью Мьюзом (Matthew Mewes) пытались зарегистрировать ▶

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С АНТИВЕЩЕСТВОМ



Если *CPT*-инвариантность выполняется, антивещество должно вести себя точно так же, как обычное вещество. Эта гипотеза проверялась в двух экспериментах в *CERN* близ Женевы с использованием атомов антиводорода. При переходе электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий атом водорода испускает квант света с определенной длиной волны (вверху слева). Атом антиводорода в таком же случае (вверху справа) должен испускать свет той же самой длины волны (фотон является античастицей самого себя, так что антиатом тоже испускает фотон). Если *CPT*-инвариантность соблюдается, спектры испускания атомов водорода и антиводорода должны быть тождественными (внизу). В экспериментах в *CERN* используются поглощение излучения ультрафиолетового лазера (процесс, обратный показанному на рисунках) и переходы с энергиями, соответствующими микроволнам, которые также должны быть одинаковыми для водорода и антиводорода. Любое расхождение будет признаком нарушения *CPT*-симметрии, а значит, и лоренцевой симметрии.

поляризационные эффекты в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра, доведя точность измерения коэффициентов, определяющих искомые нарушения, до 10^{-32} .

Остальные нарушения теории относительности для света могут быть измерены в лабораторных экспериментах, напоминающих классический опыт физика Альберта Майкельсона (Albert Michelson) и химика Эдварда Морли (Edward Morley). Используя два взаимно перпендикулярных пучка света, они показали,

что скорость света не зависит от направления. В самых точных современных экспериментах применяются оптические резонаторы: один из них устанавливают на поворотном столе и пытаются зарегистрировать изменение его собственной частоты при вращении. Группа Джона Лайпы (John A. Lipa) из Стэнфордского университета использует сверхпроводящие резонаторы для наблюдения микроволновых резонансов. Ахим Питерс (Achim Peters) из Университета Гумбольдта в Берлине и Штефан Шиллер (Stephan Schiller)

с коллегами из Дюссельдорфского университета используют лазерное излучение и оптические резонаторы из кристаллов сапфира. На сегодня в таких экспериментах достигнута точность от 10^{-15} до 10^{-11} .

Часовые эксперименты

Чрезвычайно высокая точность была достигнута в опытах по выявлению зависимости хода времени от ориентации часов. В таких экспериментах регистрируется изменение частоты, которая соответствует переходу атома между двумя энергетическими уровнями, зависящими от напряженности магнитного поля. Ориентация часов определяется направлением приложенного магнитного поля, которое обычно остается неизменным в лабораторной системе координат и, следовательно, вращается вместе с Землей-матушкой. Изменения хода контролируются с помощью других «часов», в которых используются аналогичные переходы в атомах другого элемента. О нарушении теории относительности будет свидетельствовать отставание одних «часов» от других.

Наиболее точные эксперименты такого типа были проведены в лаборатории Рональда Уолсуорса (Ronald Walsworth) в Гарвард-Смитсоновском астрофизическом центре. Коэффициенты РСМ для нейтронов были измерены с точностью до 10^{-31} . Группа Уолсуорса сравнивала частоты двух мазеров, в качестве рабочей среды которых использовалась смесь гелия и неона.

Различные опыты по сопоставлению хода атомных часов с точностью до 10^{-27} ставились и в других организациях. Вместо атомов использовались отдельные электроны, позитроны (антиэлектроны), отрицательные ионы водорода и антипротоны, а также мюоний («атом», состоящий из электрона, обращающегося вокруг положительного мюона).

Ученые планируют провести несколько часовых экспериментов на Международной космической стан-

DONFOLEY

ции (МКС) и других искусственных спутниках Земли. Дело в том, что фиксированное положение оси вращения планеты ограничивает чувствительность лабораторных установок к некоторым видам вращательного нарушения теории относительности. А поскольку плоскость орбиты МКС прецессирует, измерения можно проводить во всех пространственных направлениях. Кроме того, период обращения МКС по орбите составляет всего 92 мин., что позволяет накапливать данные в 16 раз быстрее, чем в наземных экспериментах. (МКС всегда обращена к Земле одной и той же стороной, т.е. совершает полный оборот вокруг своей оси на каждом витке орбиты.)

Антивещество

Для прямой проверки *CPT*-симметрии можно сравнить свойства частиц и античастиц. Например, слабое взаимодействие вызывает постепенное превращение так называемого каона (*K*-мезона) в античастицу (антикаон) и обратно. Этот процесс настолько точно сбалансирован, что даже ничтожное нарушение *CPT*-симметрии должно заметно влиять на него. В опытах группы *KTeV Collaboration* для получения большого количества каонов использовался гигантский ускоритель «Теватрон» лаборатории им. Ферми. Были проведены два независимых измерения коэффициентов РСМ. Относительная погрешность результатов не превысила 10^{-21} .

Сейчас в *CERN* (Европейский центр ядерных исследований близ Женевы) проводятся два эксперимента – *ATHENA* и *ATRAP*, в ходе которых ученые пытаются сравнить спектры водорода и антиводорода (см. рис. на стр. 78). Если между ними обнаружится различие, значит, *CPT*-симметрия, а следовательно, и лоренцева симметрия нарушаются.

Правильность теории относительности проверялась также с использованием материалов, в которых спины отдельных электронов комбинируются, создавая один



В эксперименте Вашингтонского университета изучались силы, связанные со спинами. Для этого использовался крутильный маятник (груз, подвешенный на проволоке, совершающий повороты вокруг оси проволоки). Груз (левое фото) представляет собой два кольцевых магнита из различных материалов (красный и синий на правом фото). Интенсивности магнитных полей одинаковы, но создаются различными количествами электронных спинов (стрелки). Магнитное поле образует замкнутую петлю с очень слабым полем вне магнитов, что уменьшает сигналы, обусловленные магнитными взаимодействиями, однако спины электронов не сбалансированы. Если существует достаточно большой вектор, нарушающий теорию относительности, его влияние должно проявиться в виде возмущений колебаний маятника.



общий спин. (Представьте себе электрон в виде стрелки компаса. У противоположно направленных стрелок спины взаимно компенсируются, а у сонаправленных – суммируются.) Такие материалы – не редкость: например, поле стержневого магнита создается именно таким общим спином. Однако сильное магнитное поле мешает искать нарушения лоренцевой симметрии. Чтобы избавиться от него, Эрик Адельбергер (Eric Adelberger), Блейн Хеккель (Blayne Heckel) и их коллеги из Вашингтонского университета изготовили крутильный маятник из спин-поляризованного кольца, не обладающего внешним магнитным полем (см. рисунок вверху). Спин-зависимые искажения лоренцевой симметрии должны вносить в колебания такого маятника возмущения, зависящие от его ориентации. Чувствительность этой установки к нарушениям теории относительности составляет примерно 10^{-29} .

Возможно, нарушения теории относительности уже проявлялись, но

не были распознаны. Не так давно выяснилось, что призрачные частицы, именуемые нейтрино, осциллируют. Это говорит о том, что Стандартную модель необходимо пересмотреть (см. «Разгадка тайны солнечных нейтрино», «В мире науки», №9, 2003 г.). Предполагается, что осцилляции связаны с ранее неизвестными массами нейтрино. Однако в рамках концепции РСМ и нарушений теории относительности удивительные свойства нейтрино объясняются более просто и изящно.

Итак, мы с вами убедились, что точность современных экспериментальных установок позволяет нам исследовать природу в масштабах длины Планка. Убедительных свидетельств нарушения теории относительности до сих пор не получено. Однако не стоит забывать, что пока исследованы лишь некоторые типы нарушений. Если когда-нибудь удастся обнаружить их, нам придется в корне пересмотреть фундаментальную картину Вселенной. ■



Портрет Альберта Эйнштейна – иллюстрация к его статье для апрельского, 1950 г., номера *Scientific American* – нарисовал Бен Шан.

Дэниел Шленофф

век С ЭЙНШТЕЙНОМ

Журнал *Scientific American* следил за развитием теорий Эйнштейна с тех самых пор, как ученые начали осознавать всю важность его основополагающих идей.

Журналу *Scientific American*, да и самой физике понадобилось несколько лет, чтобы «переварить» радикальные идеи Альберта Эйнштейна, высказанные им в 1905 г. Его интуитивное понимание мироустройства было слишком сложным:

«В 1905 г. появился фундаментальный и (как, возможно, скажут будущие историки) эпохальный труд швейцарского профессора физики Эйнштейна. Непритязательную и в чем-то сырую диссертацию «К электродинамике движущихся тел» напечатал *Annalen der Physik*, немецкий аналог американского *Philosophical Magazine*. Тогда работа не только не стала сенсацией, но и осталась практически не замеченной. Однако сегодня, открыв любой научный журнал, вы обязательно найдете новую статью, пополняющую список работ, посвященных принципу относительности Эйнштейна» – Е. Фурнье д'Альб (E. E. Fournier D'Albe).

Scientific American Supplement,
11 ноября 1911 г.

«Верен ли принцип относительности? Решить должен эксперимент. Его постулаты подтверждаются и подкрепляются беспристрастной логикой математики, но окончательно будут признаны или опровергнуты, когда войдут в согласие или противоречие с экспериментальными данными. Пока же принцип относительности горячо поддерживают математики, но так же яростно оспаривают физики, которые не могут больше считать время функцией скорости, не могут представить себе пространство искривленным и вообразить четвертое измерение».

Scientific American,
8 июня 1912 г.

Журнал *Scientific American* пристально следил за попытками Эйнштейна включить в теорию относительности гравитацию и за реакцией научной общественности на его основополагающую статью 1916 г.:

«Принцип относительности подвергся строгому эксперименту. Если в нем долго сомневались, а некоторые физики колеблются и поныне, то причиной тому – его несогласованность с электродинамическими теориями Максвелла и Лоренца. В частности, трудно принять постоянство скорости света, вытекающее из этих теорий. Теперь есть чрезвычайно важная область, в которой наших эмпирических знаний недостаточно, чтобы создать, даже с учетом принципа относительности, основу общей концепции, так что приходится дополнять ее физическими гипотезами. Эта область – гравитация».

Scientific American Supplement,
19 сентября 1914 г.



Номер *Scientific American* от 8 июня 1912 г., посвященный специальной теории относительности.

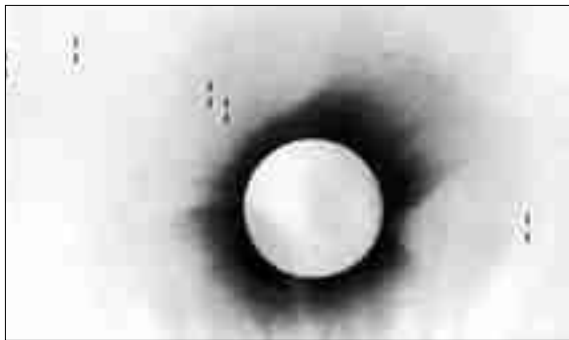
«Какой бы ни была природа эфира, он не обладает теми материальными свойствами, которые позволили бы привязать к нему систему координат в пространстве. Возможно, лучше представлять себе эфир как четырехмерную жидкость, однородно заполняющую непрерывное пространство-время Минковского, чем как материальную трехмерную жидкость, занимающую пространство и время по отдельности. Так мы приходим к принципу относительности. И, будучи физической теорией, он безусловно подтверждается многочисленными экспериментами (за исключением той части, которая относится к гравитации)» – А. Эддингтон (A. S. Eddington).

Scientific American Supplement,
6 июля 1918 г.

Несколько астрономов, включая Эддингтона, использовали солнечное затмение 29 мая 1919 г., за которым они наблюдали в обсерватории Кембриджского университета, для проверки одной из концепций, выдвинутой в 1916 г.: луч света, идущий от звезды, в гравитационном поле Солнца должен изгибаться. Эффект был достоверно обнаружен, теория подтверждена, Эйнштейн получил признание всего научного сообщества.

«О результатах, полученных во время полного солнечного затмения 29 мая, было доложено на объединенном заседании Королевского научного и Королевского астрономического обществ, состоявшемся 6 ноября. Наиболее впечатляющими были те, которые удалось получить с помощью 4-дюймового телескопа, установленного в Собрале, Северная Бразилия. Изображения звезд были четкими, их положение во время затмения соответствовало контрольным снимкам. Сдвиг по лимбу составил 1,98" с точностью до 0,12". Результат прекрасно совпал с предсказанным Эйнштейном значением 1,75". Участники заседания ▶

Scientific American начал кампанию, призванную дать популярное изложение сложной теории Эйнштейна.



Солнечное затмение 1919 г. подтвердило теорию Эйнштейна. Как он и предсказывал, под действием гравитации Солнца произошло отклонение света удаленных звезд (помеченных вертикальными черточками) – на фотопластинке отклонение составило несколько сотых миллиметра.

признали, что такое соответствие, а также объяснение движения перигелия Меркурия заставляют отнести к теории Эйнштейна как к объективной реальности. Председательствующий сэр Дж. Дж. Томсон оценил экспериментальное подтверждение теории как эпохальное событие» – А. Кроммелин (A. C. D. Crommelin).

Scientific American Supplement,
6 декабря 1919 г.

Как к столь сложной теории отнеслась общественность? *Scientific American* объявил конкурс на наиболее популярное изложение концепции. Первый приз составлял \$5 тыс. (сегодня эта сумма превысила бы \$50 тыс.). Говорят, что Эйнштейн сказал: «В кругу моих друзей я – единственный, кто не участвует в этой затее. И думаю, что у меня нет шансов на победу». Интерес был огромный:

«Мы вновь обращаемся к научной тематике чрезвычайной важности, занимающей такое место в печати и в общественном мнении, какого никогда раньше не удавалось абстрактная научная доктрина. Мы с огромным удовольствием сообщаем, что м-р Хиггинс, американец, живущий в Париже и давно интересующийся вопросами космологии, учредил денежную премию в размере \$5 тыс. за лучшее популярное разъяснение постулатов Эйнштейна».

Scientific American,
10 июля 1920 г.

«Многочисленные претенденты на денежный приз – кто прямо, а кто обиняком – интересуются, где они могли бы ознакомиться с теорией Эйнштейна. Мы не думаем, что \$5 тыс. достанутся человеку, чьи сведения о проблемах относительности находятся на таком уровне, что ему приходится задаваться подобным вопросом».

Scientific American,
28 августа 1920 г.

«Хотя м-ра Болтона, чья публикация признана лучшей (см. иллюстрацию на следующей странице), можно назвать человеком, далеким от науки, однако он профессионально разбирается в научных проблемах. Болтон – сотрудник Британского патентного бюро. Здесь полезно вспомнить, что сам Эйнштейн несколько лет работал в патентном бюро в Швейцарии».

Scientific American,
5 февраля 1921 г.

В то время как теория относительности стала модной темой, в научном сообществе продолжалось ее оживленное обсуждение:

«Сможет ли читающая публика поверить, что профессор Миллер – физик, который в течение многих лет воспроизводил знаменитый опыт Майкельсона-Морли по выявлению движения эфира, получил несомненные свидетельства этого движения и, следовательно, существования эфира, – не принимает теорию относительности Эйнштейна, опровергающую существование эфира? Это зависит от того, что именно читает публика. Пусть горячие поклонники и ревностные хулители теории сотрясают воздух, а профессор Эйнштейн покуривает трубку и говорит: «Если подтвердится результат профессора Миллера, то моя теория будет опровергнута, вот и все». Миллер же перед лицом столпов науки защищает свои результаты, утверждая, что они состоятельны и объективны».

Scientific American,
март 1930 г.

Дискуссия на тему, насколько велики достижения Эйнштейна, не утихает и поныне:

«Самому Эйнштейну популярность не нужна. Однако редакторы время от времени получают письма, авторы которых либо требуют подтверждения его высокого на-



Сообщение о триумфе Эйнштейна, опубликованное в номере *Scientific American* от 5 февраля 1921 г. (Полную версию вы найдете на сайте www.sciam.com/ontheweb)

учного статуса, либо хотят, чтобы журнал обнародовал их частное мнение, что Эйнштейн – просто жулик (как неоднократно высказывался один особенно яркий противник ученого). Поэтому мы обращаем внимание на недавнее решение общины церкви на Риверсайд-драйв в Нью-Йорке поместить на фронтоном своего здания барельеф Эйнштейна рядом с изображениями других великих людей. Эйнштейн – единственный человек, удостоенный такой чести при жизни. Другой наивный вопрос, который нам часто задают: «Правда ли, что Эйнштейн – еврей?» Да, Эйнштейн – еврей».

Scientific American,
декабрь 1930 г.

«Альберт Эйнштейн, чье 70-летие в этом месяце отметит весь цивилизованный мир, уже стал живой легендой. Важен не только беспрецедентный успех его научных идей – не менее ценен их психологический эффект. В критический момент истории науки Эйнштейн показал, что представления, долгое время считавшиеся непрекаемыми, таковыми не являются» – Бенеш Хоффман (Banesh Hoffman).

Scientific American,
март 1949 г.

В 1950 г. Эйнштейн написал в *Scientific American* статью о своих попытках распространить теорию относительности на гравитацию (см. статью Дж. Массера «Теории всех полей, объединяйтесь!»):

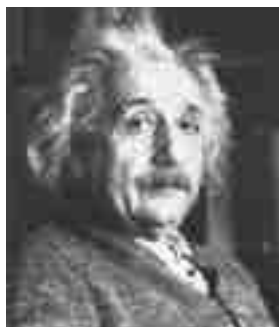
«Что касается моей последней теоретической работы, то я не считаю правильным детально представлять ее многочисленным читателям, проявляющим интерес к науке. Это следует сделать только после того, как теория получит адекватное экспериментальное подтверждение. Только эксперимент решит, где правда» – Альберт Эйнштейн.

Scientific American,
апрель 1950 г.

Эйнштейн умер 18 апреля 1955 г.

«Закончилась богатая и плодотворная жизнь, проведенная в служении науке и гуманизму. Смерть Эйнштейна – невосполнимая утрата для всего человечества, но, несомненно, те, кому посчастливилось дружить с ним, ощущают горечь потери особенно остро. Тяжело осознавать, что мы никогда больше не увидим мягкой улыбки и не услышим его голоса» – Нильс Бор.

Scientific American,
июнь 1955 г.



Профессор Эйнштейн дома во время работы. Фотография сделана для июньского, 1939 г., номера журнала.

И заключительное слово об истории Эйнштейна – его собственные размышления:

«За две недели до смерти Альберта Эйнштейна мы сидели с ним и беседовали об истории научной мысли. Эйнштейн решительно сказал, что хуже всех о рождении новой научной идеи рассказывает ее автор. Многие спрашивали великого физика, как он пришел к тем или иным выводам, заключениям, предположениям и открытиям. Эйнштейн неизменно отвечал, что историки науки способны глубже проникнуть в процесс размышлений ученого, чем он сам» – Бернард Коэн (Bernard Cohen).

Scientific American,
июль 1955 г.

Дэниел Шленовф ведет в журнале колонку «50, 100 и 150 лет тому назад».

SCIENTIFIC AMERICAN, FEBRUARY 5, 1921 (Essay); SCIENTIFIC AMERICAN, JUNE 1939; PHOTOGRAPH BY ELIZABETH MENZIES, COURTESY OF G. GOSEN RARE BOOKS (Emsfste/rn)

Джордж Массер

ТЕОРИИ ВСЕХ ПОЛЕЙ, ОБЪЕДИНЯЙТЕСЬ!

Когда в начале 1920-х гг. Альберт Эйнштейн начал разрабатывать единую теорию поля, казалось, что успех близок. Существующие концепции, включая теорию относительности и успешно развивавшуюся квантовую механику, породили не меньше вопросов, чем дали ответов. Поэтому физики мечтали о «великом объединении», идею которого выдвинули Герман Вейль (Hermann Weyl), Артур Стэнли Эддингтон (Arthur Stanley Eddington) и Теодор Калуца (Theodor Kaluza). Их усилия не дали желаемого результата, но привели к появлению концепций калибровочной симметрии и дополнительных размерностей.

Прошло 30 лет, и Эйнштейн остался в одиночестве, т.к. научный мир считал его попытки несостоятельными. Эйнштейн пытался создать единую теорию на основе теории относительности, и квантовая механика была наилучшей отправной точкой.

В конце 1949 г. Эйнштейн опубликовал окончательную формулировку своей единой теории. Статья появилась в апрельском номере *Scientific American* за 1950 г. и была второй и последней научной публикацией, написанной им для широкой публики. Тем не менее читать ее непросто. Сухая и методичная, она не содержит ярких мысленных экспериментов, которые так оживляли ранние работы Эйнштейна, а подробности единой теории изложены в ней недостаточно доходчиво. Дэнис Фланаган, один из редакторов журнала, отмечал: «Статья была гораздо сложнее, чем те, которые мы обычно публикуем, и мы предложили Эйнштейну ряд редакционных поправок. Но он предпочел оставить все как есть».

Публикация требовала нескольких прочтений, особенно если учесть, что речь в ней шла скорее не о конкретной науке, а о ее философии. Абстрактность статьи, несмотря на множество отступлений для «не-физиков», свидетельствует о том, как изменились приоритеты Эйнштейна. Теперь

его научные интересы не ограничивались объяснением наблюдаемых явлений. В общей теории относительности фигурирует гравитация, а уравнения Максвелла описывают другой широко распространенный в природе тип поля – электромагнетизм. И вместо того, чтобы концентрироваться на противоречиях каждой из теорий, Эйнштейн пытался их объединить.

Наиболее важным для него стала именно абстрактность обеих теорий. В своей статье он писал:

«Новые теории нужны прежде всего тогда, когда возникают новые факты, которые нельзя объяснить в рамках существующих концепций. Но такая мотивация тривиальна, вынужденна. Существует иная, более тонкая и не менее важная причина – стремление к объединению и упрощению положений теории как целого».

Поскольку физики уже выявили законы, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, следующий шаг неизбежно должен оказаться более трудным:

«Если основные положения теории согласуются с повседневным опытом, она вызывает больше доверия. Это дает огромные преимущества, так как гораздо меньше времени и усилий необходимо, чтобы опровергнуть такую концепцию с позиций опыта. По мере углубления наших знаний мы должны отказываться от этого преимущества в пользу логической простоты и согласованности основ физической теории».

Эти комментарии и сегодня остаются актуальными. Многие жалуются, что теория струн ушла столь далеко от возможности экспериментальной проверки, что уже перестала быть наукой. Но любая теория, достойная названия фундаментальной, всегда вначале кажется далекой и непостижимой. Вы не можете просто наблюдать, задать набор правил и прийти к объяснению, а будете вынуждены начать с идеи, проработать ее и только потом понять, как



Пытаясь создать единую теорию поля, Эйнштейн сотрудничал с двумя молодыми физиками: Питером Бергманном (Peter Bergmann, слева) и Валентином Баргманном (Valentine Bargmann, справа). Оба родились в Германии, как и Эйнштейн, бежали от нацизма, продолжили научную работу и стали известными физиками. Жена Бергмана Соня была одним из переводчиков статьи Эйнштейна в *Scientific American* (и многих других публикаций) на английский язык. Фотография сделана в 1940 г.

проверить ее экспериментально. В этом смысле наука – это искусство. Эйнштейн писал:

«Теоретическая идея... не возникает независимо от нашего опыта. Однако вывести ее из опыта логическим путем тоже нельзя. Это акт творчества».

В теориях Эйнштейна таким творческим актом была идея симметрии. Симметричный объект остается самим собой даже после трансформации: отражения, вращения, дисторсии. С точки зрения математики, трансформация подобна изменению уравнения в текстовом редакторе с помощью операции замены. Если уравнению присущ какой-то элемент симметрии, то эта операция на него не повлияет. В качестве примера возьмем уравнение гиперболы: $xu = 1$. При замене x на u и u на x уравнение не изменится. Это абстрактное выражение того факта, что ветви гиперболы являются зеркальным отражением друг друга.

Цель, которую ставил перед собой Эйнштейн, – сформулировать уравнения так, чтобы они оставались неизменными для максимально большого числа операций. Идея заключается в том, что чем более симметричны уравнения, тем большее число явлений они могут описать.

В случае специальной теории относительности вы можете заменить любую из переменных x, y, z или t (координат, задающих положение и время) некоторой определенной математической функцией, зависящей от x, y, z и t , – вот почему теория называется частной теорией относительности. Таким образом, симметрия объединяет пространство

и время. Нельзя рассчитать расстояние между двумя точками, воспользовавшись обычной теоремой Пифагора, в которой фигурируют лишь x, y и z . Понадобится четырехмерный аналог теоремы, включающий также и t .

Общая теория относительности расширяет круг допустимых операций замены. Вместо определенной операции над x, y, z и t вы можете использовать почти любую функцию этих координат. Но чтобы уравнения оставались неизменными, должна появиться некая сила, и сила эта – гравитация. Расстояние между точками определяется теперь по более сложному правилу, чем теорема Пифагора. Эта метрика может быть представлена в виде числовой матрицы 4×4 . Поскольку расстояние от A до B должно быть в точности равно расстоянию от B до A , то эта матрица симметрична относительно главной диагонали и содержит десять исходных чисел, а остальные шесть повторяются.

Эйнштейн подумал: «А что мешает использовать произвольную матрицу? К симметричной матрице (из 10 исходных чисел) можно было бы добавить антисимметричную (еще из 6) и записать ее с помощью уравнения Максвелла. И тогда естественно предположить, что удастся объединить гравитацию с электромагнетизмом.

К сожалению, то, что кажется естественным, не всегда верно. Эйнштейн потратил много усилий на то, чтобы соединить две матрицы воедино. Он понимал, что это не временная проблема, а фундаментальное несоответствие. Несмотря на внешнее подобие между гравитацией и электромагнетизмом, физики обнаружили, что эти два поля существенно различаются. Более того, в течение 30 лет, минувших со времени, когда Эйнштейн пытался создать единую теорию поля, ученые обнаружили новые силы, не укладывающиеся в его схему: слабые и сильные ядерные взаимодействия. Электромагнетизм ближе к этим новым силам, чем к гравитации. В том, что касается симметрии, «основной инстинкт» Эйнштейна не подвел. Не теми были сущности. В своей статье он писал:

«Я не вижу причины считать, что эвристическая значимость общего принципа относительности ограничена гравитацией и не имеет никакого отношения к остальной физике. То, что у нас недостаточно знаний о гравитационных эффектах – еще не основание для того, чтобы игнорировать принципы общей теории относительности в исследованиях фундаментального характера. Другими словами, я не считаю возможным спрашивать: на что была бы похожа физика без гравитации?»

Но все оказалось не так. Квантовая механика без гравитации с удивительной точностью описывает электромагнитные явления, ядерные силы и строение материи. Гравитация – воистину крепкий орешек, ее сложнее всего объединить с остальными полями, и физики все еще сражаются с ней. И как сам Эйнштейн в последние годы жизни, она – особая статья. ■

ИСКУССТВО УБЕЖДАТЬ

Теория аргументации до недавнего времени не считалась научной проблемой, достойной изучения и описания. Вместе с тем еще древние уделяли особое внимание умению выражать собственные мысли и вести дискуссию. Предлагаемая читателям книга посвящена искусству убеждения и представляет собой исторический очерк развития аргументации как научной дисциплины.

Как и всякая система, теория аргументации строится на основе определенных моделей и характерных признаков. Их изменения на протяжении веков можно проследить на примере ответов на вечные вопросы, поскольку

каждая эпоха отвечает на них по-своему и видит в них свой подтекст. Изучение таких деталей позволяет понять не только специфику ведения дискуссии в ту или иную эпоху, но и особенности мироощущения и мировоззрения как отдельной личности, так и общества в целом.

Одним из аспектов теории аргументации можно считать использование средств интеллектуального обоснования и коммуникации. Оно предполагает моделирование определенной картины мира, которая в современных условиях носит управляемый характер, в частности, за счет воздействия массовой культуры и рекламы. ■



Мысль и искусство аргументации / Под общей ред. И.А. Герасимовой. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. – 400 с.



Мир глазами россиян: мифы и внешняя политика. – М.: Институт географии РАН, 2003. – 304 с.

СТЕРЕОТИПЫ ВОСПРИЯТИЯ

Сотрудники Центра геополитических исследований Института географии РАН осуществили любопытное исследование: на основе материалов Фонда «Общественное мнение» за 2000–2002 гг. они реконструировали «геополитическую картину мира».

Авторы пытаются ответить на вопросы: как складываются представления наших соотечественников о зарубежных странах, о взаимоотношениях России и заграницы, как

видят нашу страну жители европейских стран.

В книге исследуются стереотипы восприятия географических образов, их особенности, роль социальных факторов в формировании геополитических мезорегионов. Для анализа используются разнообразные научные подходы, в частности, социологические приемы, методы ментального картографирования, сравнительная география и т.д. ■

СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ КУЛЬТУРЫ РЕЧИ

Как известно, язык – структура развивающаяся, и каждый образованный человек должен владеть общезыковыми и этическими нормами речи.

В первой части энциклопедии «Культура русской речи» приведено толкование основных понятий теории культуры речи, функциональной стилистики, риторики и некоторых терминов теории языковой коммуникации и специальных дисциплин.

Вторая часть посвящена функциональным разновидностям языка, определению жанров, а также особенностям различных стилистических средств (сравнений, эпитетов, метафор и др.). Особый раздел посвящен наиболее распространенным речевым ошибкам. ■

Культура русской речи: Энциклопедический словарь-справочник. – М.: Флинта, Наука, 2003. – 840 с.



Марк Фишетти

Видеть то, что ВНУТРИ

Отображающие методы диагностики позволяют обнаружить повреждения и патологии внутренних органов. Пациента помещают внутри установки, аппаратура формирует изображения множества двухмерных поперечных сечений (срезов) тела человека, из которых компьютер воспроизводит объемную картину.

Широкое распространение получили несколько томографических методов. Рентгеновская компьютерная томография (СТ) выявляет контрастность плотности костей и других тканей тела, обнаруживая переломы, тромбы и камни в почках. В 1970-х гг. для получения изображения участка поперечником 10 мм требовалось пять минут. Сегодня разрешение томографов составляет 1 мм, а результат получают всего за одну секунду. «Если томографы станут дешевле, а их быстродействие повысится, то они вытеснят боль-

шинство рентгенографических аппаратов», – считает профессор медицины Йельского университета Карл Джафф (Carl Jaffe).

В позитронно-эмиссионной томографии (PET) пациенту вводят радиоактивный элемент, испускающий позитроны, эмиссия которых регистрируется для ряда последовательных сечений. Поскольку радиоактивный элемент связывается с молекулами таких веществ, как глюкоза, эмиссия характеризует скорость их поглощения, что позволяет исследовать метаболизм клеток, повышенная активность которых может служить признаком рака, неврологических заболеваний, например, болезни Альцгеймера, образования злокачественных опухолей.

В магнитно-резонансной томографии (MRI) регистрируются малые изменения магнитных свойств ядер атомов водорода. Получаемые

изображения характеризуют плотность тканей, что помогает выявлять такие нарушения, как разрывы хрящей, грыжи межпозвоночных дисков и опухоли. Режим функциональной MRI-диагностики позволяет определять скорость поглощения кислорода клетками, что служит показателем активности нейронов мозга в процессах восприятия или мышления.

По словам Джаффа, вскоре рынок завоюют гибридные томографы, комбинирующие изображения в рентгеновских лучах и позитронной эмиссии, способные отличить злокачественную опухоль от обычной фиброзной массы. Следующим шагом станет разработка новых программных алгоритмов. «Тогда, – как утверждает Джафф, – мы сможем полагаться не только на то, что видим, но и на оценку того, о чем говорят получаемые данные».

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

СУТЬ ОСТАЕТСЯ ПРЕЖНЕЙ:

Компьютерную томографию (СТ) вначале называли осевой компьютерной томографией (САТ), потому что рентгеновские срезы делались в одной плоскости. Способность современных томографов работать в разных плоскостях позволила отбросить определение «осевая». Магнитно-резонансную томографию (MRI) поначалу именовали ядерно-магнитной, но слово «ядерный» пугает людей, поэтому медицинское сообщество прибегло к эвфемизму.

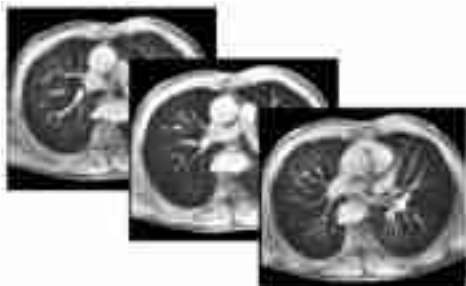
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЕЙЗАЖ:

Профессор биомедицинской техники в Торонтском университете Майкл Джой (Michael Joy) разработал новую методику MRI-исследования. «Отображение плотности тока», как он надеется, сможет определять деполяризацию – открытие мембранных каналов, позволяющее сигнальным ионам переходить из клетки в клетку. Джой использует MRI также для отслеживания путей прохождения зарядов через ткани. В результате выясняется, как ток дефибрилятора проходит через остановившееся сердце или ток глубокой стимуляции воздействует на мозг человека, страдающего болезнью Паркинсона.

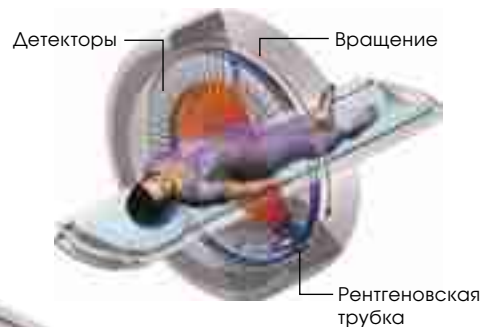
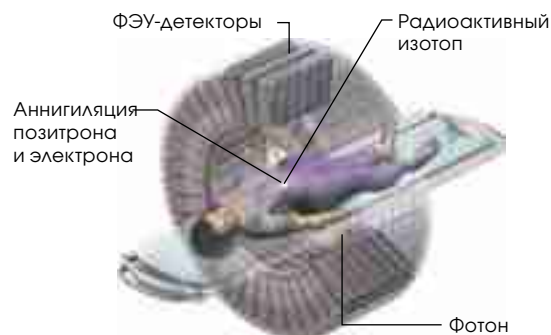
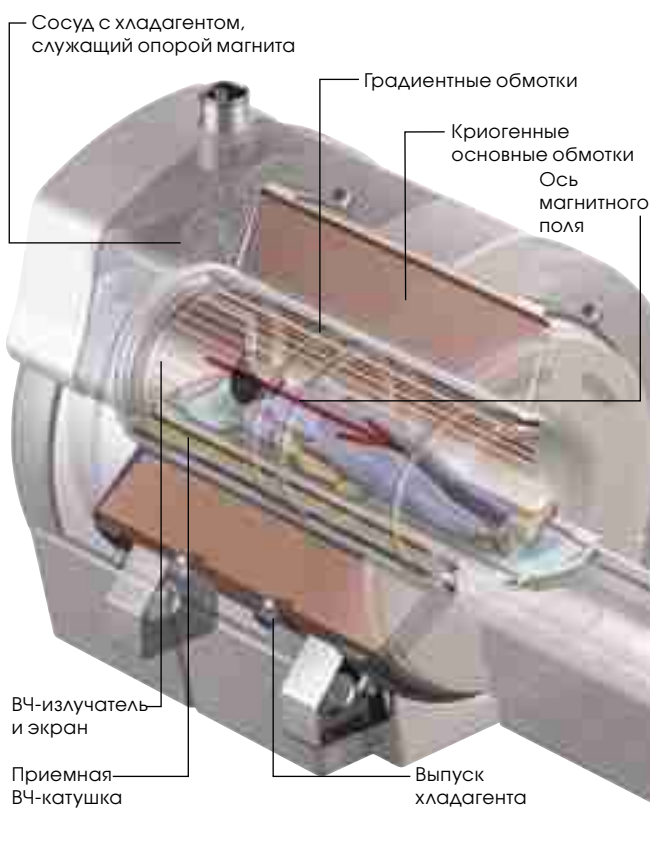
УЛЬТРАЗВУК:

Ручной ультразвуковой блок, прижимаемый к коже пациента, посылает высокочастотные звуковые волны и регистрирует эхо-сигналы. Это позволяет получать в режиме реального времени движущиеся изображения внутренних органов. Однако пространственное разрешение остается низким. Ультразвуковые исследования часто не относят к томографии, поскольку в них не используется комбинирование плоскостных изображений.

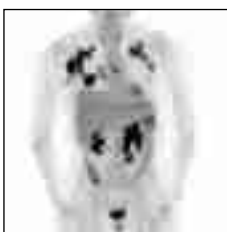
ТОМОГРАФЫ дают изображения поперечных сечений тела человека. (Внизу показано сердце.) Программа объединяет изображения для ряда последовательных сечений и формирует трехмерное изображение.



MRI: Спины протонов ориентируются преимущественно вдоль оси однородного поля сильных магнитов. Высокочастотные катушки создают кратковременную синфазную прецессию протонов. В процессе ее затухания и расфазировки протоны индуцируют в приемных ВЧ-катушках переменные токи. Наложение градиента магнитного поля ограничивает область прецессии определенным сечением тела. Скорости затухания прецессии для молекул жиров, белков, воды и других богатых водородом веществ различны, что позволяет получать картины распределения видов и плотностей тканей. (Вверху: смещенный межпозвоночный диск в шейном отделе позвоночника (четвертый сверху) давит на спинной мозг.)



PET: Исследуемые молекулы, например сахарозы, поглощаемые клетками различных тканей, метят радиоактивными изотопами кислорода, углерода и др., испускающими позитроны, которые, сталкиваясь с электронами, аннигилируют с испусканием пары 511-кэВ фотонов, разлетающихся в противоположных направлениях. Два фотоэлектронных умножителя, расположенных друг напротив друга, одновременно регистрируют такие фотоны, что позволяет определять линию, на которой расположена клетка. Множество пересекающихся прямых фиксирует клетки в данном сечении и скорости их метаболизма. (Справа: раковые клетки, растущие в лимфатических узлах.)



СТ: Рентгеновская трубка излучает веер фотонов с энергией 140-кэВ, проходящих через тело пациента и попадающих на детекторы, определяющие степень ослабления их потока в результате разного поглощения и рассеивания тканями различной плотности. Для получения полного изображения выбранного сечения трубку и систему детекторов синхронно поворачивают вокруг тела. Чтобы получить изображение одного сечения, ложе с пациентом перемещают на несколько сантиметров. (Справа: большой сгусток крови (прямо под кружком в центре) в легочной артерии.)



Майк Кордер

УПРАВЛЯЕМЫЙ полет

Электронная система поможет летчику произвести посадку поврежденной машины.

19 июля 1989 г. самолет *DC-10* авиакомпании *United Airlines*, пролетая над Айовой, потерпел аварию. Причиной катастрофы было разрушение диска вентилятора на хвостовом двигателе и отрыв лопаток, которые повредили все три гидравлические системы лайнера. Пилоты потеряли контроль над всеми управляющими элементами, расположенными на крыльях и хвосте летательного аппарата. Но экипаж смог посадить поврежденный самолет. 184 пассажира из 296 и члены экипажа остались живы.

Пилоты рейса №232 доказали, что управлять современным пассажир-

ским лайнером можно и с помощью двигателей. Началась разработка электронной системы, которая способна повторить действия пилотов и помочь экипажам в случае аварийной посадки. Исследования в этом направлении проводятся уже на протяжении 15 лет, и вскоре военные и гражданские летчики смогут воспользоваться их результатами. Я решил узнать, как действует система управления поврежденным самолетом.

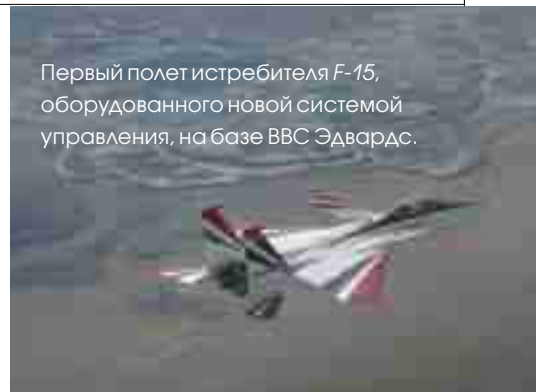
Но сначала немного истории. На заре развития авиации штурвал и педали были связаны с управляющими элементами с помощью тросов, тяги или кабелей.

Майк Кордер (Mike Cordere) из шт. Калифорния в свободное время занимается постройкой самолета *RV-7A*.

Испытания системы проводились на тренажере на базе *NASA* в Калифорнии.



Первый полет истребителя F-15, оборудованного новой системой управления, на базе ВВС Эдвардс.



По мере того как самолеты становились быстрее и больше, летчикам было все сложнее их контролировать. Инженеры решили эту проблему, установив на систему управления гидравлические усилители, которые с развитием цифровых технологий все чаще использовались на воздушных судах. Так называемая система полета на проводах способна кардинальным образом изменить технику пилотирования. К примеру, военный самолет хорошо летает «налегке», а когда он несет бомбы, его характеристики существенно ухудшаются. Работа бортового компьютера улучшает технику пилотирования и гарантирует безопасность полета. При попытке летчика совершить слишком опасный маневр электронная система управления берет инициативу на себя.

Сразу после аварии рейса №232 Фрэнк Бархэм (Frank Burcham), работавший в Драйденовском летно-испытательном исследовательском центре NASA в городе Эдвардс штата Калифорния, приступил к разработке программного обеспечения, позволяющего в случае повреждения системы управления маневрировать за счет изменения тяги двигателей.

В ходе работы над самолетом MD-11 группа впервые получила скромный бюджет на программу под названием «Самолет, управляемый двигателем», или PCA. 29 августа 1995 г. на авиабазе Эдвардс прошли испытательные полеты машины, которая управлялась компьютером только за счет изменения тяги двигателей. В результате инженеры NASA получили доказательства того, что безопасность полетов может быть обеспечена путем совершенствования программного обеспечения бортового компьютера. К сожалению, ни один из производителей летательных аппаратов не обратил внимания на эти разработки.

Несколько лет спустя исследования были продолжены в отделении интеллектуальной системы полетов (*Intelligent Flight Control, IFC*) NASA в Маунтин-Вью в Калифорнии. Группа военных инженеров разработала компьютерную систему, позволяющую пилотировать

самолет с поврежденными управляющими поверхностями при помощи двигателей. (При этом рассматривалась деятельность нервной системы человека, проходящего реабилитацию после тяжелой травмы.) Программа основана на сравнении параметров реального полета с тем, каким он должен быть в идеальных условиях.

Отклонения могут быть вызваны неправильным выбором математической модели, старением техники или разрушением элементов конструкции. Программа анализирует причины изменения параметров полета и старается минимизировать их негативное воздействие.

Например, чтобы набрать высоту, необходимо взять штурвал на себя, поднять руль высоты и осуществить маневр. В том случае, если руль выведен из строя, электронная система поднимет вверх оба элерона, и нос самолета устремится ввысь. (В обычном режиме элероны движутся асимметрично – один вверх, другой вниз.) Если такой маневр приведет к тому, что самолет войдет в опасный режим, электронная система стабилизации самолета начнет изменять тягу двигателей.

Профессиональные пилоты и испытатели NASA отработывали элементы полета на тренажере. Сначала тестовые испытания проводились в обычном режиме. Затем инженеры имитировали отказы различных систем управления и анализировали реакцию пилотов. Новая система IFC показывала лучший результат, чем штатная. Когда исследователи полностью отключили хвостовые элементы управления, только половина летчиков смогла посадить самолет с использованием штатной электронной системы, а при использовании IFC приземлились все.

По приглашению руководителя группы по разработке системы IFC Карена Ганди-Барлета (Karen Gundy-Burlet) я участвовал в испытаниях тренажера, который, используя систему IFC, моделирует полет транспортного C-17 с четырьмя двигателями.

В качестве учебной задачи мне надо было посадить самолет в аэропорту

Сан-Франциско. Дон Брайант (Don Bryant), бывший пилот палубной авиации ВВС США и сотрудник исследовательской группы, с трудом сдерживал смех, наблюдая за моими попытками управлять авиалайнером. Самой сложной оказалась работа с приборной доской, поскольку такие модели только недавно появились в малой авиации. В результате я потратил больше времени на поиски индикатора скорости и высоты, чем на сам полет.

Затем мне предложили провести испытания без управляющих элементов на хвосте самолета. В реальной жизни для начинающего пилота это означает смертный приговор. Но самолет на тренажере оставался управляемым. Я даже сделал несколько поворотов, чтобы убедиться, что машина слушается руля. Компьютерная программа компенсировала потерю части элементов управления и позволила аппарату обходиться без них. Как только программа закончила настройку всей системы, мне удалось произвести посадку, немного, правда, выехав за пределы полосы.

Все оказалось очень просто на тренажере, но на практике это могло означать, что летчик, имеющий опыт полетов на частных самолетах, смог приземлиться на тяжелом четырехмоторном самолете и спасти сотни человеческих жизней.

В ближайшие два года в NASA запланированы летные испытания истребителя F-15 и транспортного самолета C-17, оснащенных системой IFC. В первую очередь новая система будет установлена на военных машинах, время от времени получающих повреждения при выполнении поставленных задач. ■

Маргарет Холлоуэй

ПУТЕШЕСТВИЯ ПОД ЗЕМЛЕЙ

Выбравшись из узкого извилистого прохода с низкими сводами, я увидела, как между каменными стенами лениво струилась лента зеленой воды. Это оказалась подземная река Стикс, промывшая одну из самых протяженных пещерных систем в мире. Воды превратили пласт известняка в лабиринт тоннелей, общей протяженностью в 580 км и создали величественные залы Мамонтовой пещеры, украшенные множеством причудливых образований.

Наша группа, состоящая из 45 искателей приключений, спустилась на пятый, самый нижний уровень системы пещер, чтобы взглянуть на реку. На глубине нас не покидала мысль о том, что над головой нависает огромная скала. Спертый влажный воздух затруднял дыхание, ноги скользили по полу, покрытому илом. Но мы не могли не спуститься сюда, т.к. знали, что здесь живут самые удивительные обитатели пещеры: бесцветная креветка (*Palaemonias ganteri*), инди-

анский слепой рак и слепая пещерная рыба (*Tryplichthys subterraneus*).

Когда мы спустились вниз, гид рассказал нам о том, как образовалась Мамонтова пещера. Около 350 млн. лет назад в центре местности, где сейчас располагается штат Кентукки, было море, дно которого было усеяно раковинами, в чей состав входил карбонат кальция. Вещество впоследствии превратилось в толстый слой известняка. К моменту окончания Миссисипской геологической эпохи толщина этой



В пещере обитает 12 видов летучих мышей (вверху). Образования из натечного камня – самые эффектные достопримечательности пещеры.



Паром через Грин-Ривер доставляет туристов в западную часть парка, где можно разбить лагерь.

мягкой горной породы составила несколько сотен километров. Сверху наслоились речные наносы из песка и ила, образовавшие верхний пласт из более тяжелых пород, песчаника и сланца. Когда изменился климат, море отступило, а река потекла по другому руслу. Дождевая вода начала свою работу. Просачиваясь до грунтовых вод и стекая в море, она вступала в реакцию с углекислым газом, образуя угольную кислоту, которая разъедала известняк и проникала в расширяющиеся трещины. Так образовались подземные реки, которые промыли лабиринт пещер. Именно благодаря песчанику сохранились эти коридоры. Если бы не он, у пещеры не было бы свода и на его месте образовался бы каньон, несколько уступающий по размерам Большому.

Затем мы выбрались наверх и пошли к входу, где в давние времена благодаря скоплению воды, давившей на грунт, образовалась карстовая воронка, днище которой впоследствии разрушилось, открыв доступ в пещеру. Недалеко от входа прохладный воздух подземелья (температура круглый год держится примерно на уровне 12°С) изменился: он стал теплым и влажным. От яркого света кружилась голова. Но вот и закончилась геологическая экскурсия – одна из многих, ежедневно предлагаемых национальным парком «Мамонтова пещера».

Путешествие с загадочным названием «Фиолетовый фонарик» знакомит посетителей с историей жизни древних поселенцев. Как показали исследования их мумифицированных останков, местное население, жившее здесь две–четыре тысячи лет назад, добывало гипс. Европейские поселенцы обнаружили подземелье в конце 1790-х гг. В период войны 1812 г. пещера служила им источни-

и другими изящными естественными формами и структурами, сотворенными водой из горной породы. Некоторые из них были похожи на трубки многосетинковых червей, другие – на кораллы, корни растений, друидов, мхи и шляпки пластинчатых грибов.

Парк занимает огромную территорию, поэтому те путешественники, которые боятся рискованных под-

Национальный парк штата Кентукки «Мамонтова пещера» ежегодно посещает свыше 400 тыс. туристов.

ком селитры (компонента пороха), а после войны она превратилась в преимущественно туристический объект. В 1842 г. в одном из подземных помещений были размещены больные туберкулезом. Лечивший их врач полагал, что жизнь под землей избавит пациентов от тяжелого недуга. Ожидания не оправдались. Он сам стал жертвой чахотки.

Экскурсия, посвященная известковому туфу, длилась всего час, но мы успели увидеть 80% всех скульптурных образований Мамонтовой пещеры. Перед нами открылось величественное зрелище: сталактиты и сталагмиты сменялись колоннами

земных экскурсий, смогут осмотреть множество достопримечательностей, не требующих спуска под землю. У подножия холма рядом со входом в пещеру из-под земли вытекает река Стикс и струится навстречу находящейся неподалеку Грин-Ривер. Желающие могут совершить великолепную прогулку по тенистой тропе, извиляющейся веселой змейкой через густые заросли орешника, к таинственному Провалу Мамонтова купола. По-видимому, несколько десятков лет назад здесь обрушилась карстовая воронка и открылся еще один вход в темные прохладные подземные коридоры. ■

насколько ОПАСЕН ГЕПАТИТ С?

На вопрос отвечает кандидат медицинских наук врач-инфекционист Елена Уварова:

Вирус гепатита С встречается в четыре раза чаще, чем В. Некоторые специалисты считают, что инфицированы уже около 500 млн. человек и 200 млн. из них больны. По информации Всемирной организации здравоохранения, всего на планете заражены около 1 млрд. человек. Увеличение числа инфицированных, особенно молодежи связан с ростом шприцевой наркомании (как правило, вирус передается через кровь). Часто заболевают люди, чья профессиональная деятельность связана с переливанием крови. Вирус может попасть от больного к здоровому также со слюной, слезами и другими выделениями – через поврежденную кожу или слизистые оболочки.

Заболевание в 80% случаев протекает без видимых симптомов. Острый гепатит у 70–80% больных переходит в хронический, который, в свою очередь, перерастает в цирроз и рак печени. Это связано с особенностями самого вируса. Попав в организм человека, он направляется в печень и атакует ее клетки. Но если при болезни Боткина вирус гепатита А, сделав

свое черное дело, обезвреживается и выводится из организма, то вирус С остается в нем на долгие годы, порой на всю жизнь. Легко преобразаясь, вирус становится практически неуязвимым и, оставаясь в организме, потихоньку продолжает разрушать печень.

Нередко гепатит выявляют совершенно случайно. Он может протекать, например, одновременно с желтухой, как классическое воспаление печени, однако желтуху можно и не заметить. В большинстве случаев цвет кожи не меняется, желтеют только склеры глаз. На короткое время может потемнеть моча – она становится цвета пива, а стул, наоборот, обесцвечивается. Желтуха – менее опасная форма болезни, ее легче обнаружить, и она редко переходит в хроническую.

Проявления гепатита С трудно угадать. У больного появляется слабость, быстрая утомляемость, снижается работоспособность, ухудшается аппетит, иногда возникают боли в мышцах. Обычно люди с такими жалобами если и попадают к врачу на прием, то уходят с диагнозом синдрома хронической усталости или респираторной вирусной инфекции.

Долгие годы человек лишь временно ощущает слабость и недомогание. И только через 10–15 лет появляются боли в правом подреберье, увеличивается печень, больной худеет, анализы крови показывают ухудшение по всем «печеночным» показателям. В дальнейшем присоединяются признаки цирроза: скопление жидкости в животе, кровоточивость, анемия и интоксикация.

К сожалению, в России пока не проводятся обязательные обследования на гепатит С. Анализы берут только у людей, входящих в группу риска, или при подозрении на болезнь. Врачи еще не научились обнаруживать сам вирус в крови зараженного, пока удастся лишь выявлять антитела к нему. Однако во время скрытого периода болезни возбудитель никак себя не проявляет. К тому же невозможно определить, насколько далеко зашло заболевание. Поэтому у больного обязательно берут кровь для биохимического исследования.

Если лечение начато вовремя, когда болезнь еще не перешла в хроническую форму, то выздоравливают 60% заболевших. Хронический же гепатит вылечить труднее – это удастся только в 20–30% случаев. Замечено, что молодые женщины значительно лучше поддаются лечению, чем мужчины.

В последние годы удалось создать целое поколение препаратов, уничтожающих вирус. В основном применяется группа интерферонов: Интрон А, Реальдирон и Реаферон. Однако противовирусные препараты угнетают деятельность костного мозга, поэтому лечение контролируется с помощью анализов крови. Курс лечения довольно длительный: при остром гепатите – 3, при хроническом – 12 месяцев.

К сожалению, от гепатита С пока нет вакцины. Но медики надеются, что вскоре она появится. ■



почему при вдыхании гелия изменяется голос?

Объяснение дает Крейг Монтомери (Craig Montgomery), заведующий кафедрой химии Западного университета св. Троицы в Британской Колумбии:

Виной всему – разница в давлении гелия, попавшего в гортань при вдохе, и азота с кислородом, преобладающими компонентами воздуха, которым мы дышим. В единице объема любого газа при одинаковых условиях содержится равное число частиц. Но поскольку атомы гелия примерно в семь раз легче молекул азота, плотность гелия во столько же раз больше, чем плотность воздуха.

Чтобы объяснить, при чем здесь изменение голоса, вспомним, что такое звук. Звуковые волны порождаются колебаниями какого-нибудь объекта. Это может быть кожа барабана или голосовые связки. Когда мы ударяем по барабану, его туго натянутая кожа начинает вибрировать, и эти колебания передаются воздуху, который то уплотняется, то разрежается. Волны сжатия и разрежения распространяются по воздуху, достигают нашего уха, и тогда слышен звук. Число разрежений и сжатий за единицу времени называется частотой звука.

Число колебаний барабана или голосовых связок не зависит от того, в какой среде они находятся. А поскольку частота колебаний определяет высоту звука, то вдыхание звука никак на нее не влияет. Однако скорость распространения звуковых волн, а также тембр звука зависят от плотности среды. (Тон – это то, что отличает звучание какой-нибудь ноты на фортепиано от ее звучания, скажем, на виолончели.) Поэтому если вы находитесь рядом с человеком, только что вдохнувшим гелий, его голос будет больше похож на крикание Дональда Дака. ■

почему летом можно сэкономить бензина больше, чем зимой?

Отвечает Харолд Шок (Harold Schok), профессор машиностроения и директор Центра изучения автомобилей при Университете штата Мичиган:

Температура воздуха и атмосферные осадки влияют на работу автомобиля и поведение водителя, а от этих факторов, в свою очередь, зависит средний расход топлива. В холодную погоду, во время снегопада, когда в городе возникают «пробки» и водителям приходится то и дело трогаться с места и тормозить, расход бензина может быть на 50% больше, чем на том же маршруте в теплый сухой день при небольшой загруженности автодорог.

При низкой температуре электромоторы, двигатель, коробка передач потребляют существенно больше энергии, особенно в первое время после запуска двигателя. Бензин и

другие жидкости становятся более вязкими, и, чтобы преодолеть силу трения между подвижными частями автомобиля, нужно совершить большую работу. Кроме того, при -15°C сопротивление качению шин в начале движения на 20% выше, чем при 25°C . По мере разгона автомобиля эта разница уменьшается, и через несколько километров с повышением температуры покрышек она становится совсем небольшой.

При понижении температуры растет и аэродинамическое сопротивление. В жаркую сухую погоду плотность воздуха на 17% ниже, чем в морозный день. В городе эта разница не очень заметна, а во время езды по скоростному шоссе средний расход топлива увеличивается за счет этого фактора на 7%, несмотря на повышение эффективности расхода бензина во время движения по автостраде.



Важную роль играют также привычки водителя. Зимой, чтобы прогреть салон, приходится включать печку, а чтобы сохранить нормальную видимость – чаще использовать дворники и омыватель лобового стекла.

Однако независимо от времени года можно уменьшить средний расход топлива, следуя нескольким простым правилам. Во-первых, шины всегда должны быть хорошо накачаны; во-вторых, автомобиль не должен быть перегружен; в-третьих, нужно стараться избегать «пробок». И, наконец, тот водитель, который ездит спокойно, всегда потратит на бензин меньше, чем тот, кто любит интенсивно разгоняться и резко тормозить. ■



Читайте в следующем выпуске журнала:

ПОВЕЛЕВАТЬ УРАГАНАМИ

Вселенная дисков

Клетки, несущие свет

Интернет жилища

Удастся ли создать генетический выключатель?

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

- по каталогам «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970;
- подписка на **Украине** по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 10729
- через редакцию (только по России), перечислив деньги через Сбербанк или по почте, отправив копию квитанции (с указанием Ф.И.О., точного адреса и индекса подписчика) в редакцию по почте, по факсу: (095) 105-03-72; 727-35-30 или по e-mail: distr@sci.am.ru. Стоимость подписки на полугодие – 390 руб., на год – 780 руб.

Подписаться можно со следующего номера, в квитанции обязательно указать номер, с которого пойдет подписка.

Бланк подписки можно взять в любом номере журнала; получить в редакции или на сайте www.sci.am.ru.

Где купить журнал (текущие номера):

- в передвижных киосках «Метрополитеновец» около станций метро;
- в киоске «Деловые люди», 1-я Тверская-Ямская ул., 1;
- в киосках МГУ, МГИМО, РУДН, МИРЭА;
- в киосках г. Зеленограда;
- в Санкт-Петербурге, ЗАО «НЕВА-ПРЕСС», (812) 324-67-40; ООО «Заневская пресса» (812) 275-07-21
- в Новосибирске, АРПИ «Сибирь», тел. (3832) 20-36-26;
- в Нижнем Новгороде, «Роспечать», тел. (8312) 35-15-92, 35-72-42, 19-76-05; «Шанс-пресс», тел. (8312) 31-31-14, 31-31-16;
- «Региональная пресса», тел. (8312) 35-88-16
- в Киеве, KSS, тел. (044) 464-02-20.

Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, а также в ООО «Редакционный УРС», по адресу: проспект 60-летия Октября, д.9, оф.203, тел./факс (095) 135-42-16.

	<p>ЗАО «В мире науки» Расчетный счет 40702810100120000141 в ОАО «Внешторгбанк» г. Москва БИК 044525187 Корреспондентский счет 30101810700000000187 ИНН 7709536556; КПП 770901001</p> <hr/> <p>Фамилия, И.О., адрес плательщика</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Вид платежа</th> <th>Дата</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки»</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>Плательщик</p>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки»		
Вид платежа	Дата	Сумма					
Подписка на журнал «В мире науки»							
	<p>ЗАО «В мире науки» Расчетный счет 40702810100120000141 в ОАО «Внешторгбанк» г. Москва БИК 044525187 Корреспондентский счет 30101810700000000187 ИНН 7709536556; КПП 770901001</p> <hr/> <p>Фамилия, И.О., адрес плательщика</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Вид платежа</th> <th>Дата</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки»</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>Плательщик</p>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки»		
Вид платежа	Дата	Сумма					
Подписка на журнал «В мире науки»							