



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN 0028-1263

5

2017

- Деревья между домами омолаживают горожан!
- Материя в нашей Вселенной преобладает над антиматерией. Почему?
- Остатки лекарств, похоже, большая проблема
- «Если, чтобы обладать свободой, нужно только этого хотеть...»
- Выручай, математика!



В Н О М Е Р Е :

Без конца и без краю мечта!	2
А. ПОНЯТОВ, канд. физ.-мат. наук — Детектор асимметрии будет искать Новую физику	4
3. СИЛАГАДЗЕ, канд. физ.-мат. наук — Увидеть антизвезду	8
Вести из лабораторий	
Е. ЗУБКОВА — Светящийся белок для экстремального холода (20); Последствия глобального потепления для Сибири и Америки будут противоположными (21).	
А. СУББОТИНА — Память на уровне клеток. Как её изучают?	24
Бюро иностранной научно-технической информации	30
С. ШИШКОВ, канд. юрид. наук — Фемида и юстиция. Состязательный уголовный процесс в эпоху античности	34
С. СМIREНСКИЙ, канд. биол. наук — Рекорд долголетия для морских птиц	44
Космическая медицина для земных болезней	46
Т. ЛИМИНА — На метане к Марсу	47
Е. ЛОМОВСКИЙ — Сочинение на свободную тему	48

«Какой позор — и даже, какой жалкий позор — видеть бесчисленное множество людей, которые не просто повинуются, но услуживают; которыми не управляют, но которых тиранят... Они страдают от грабежей и жестокостей, причиняемых... не какими-то варварами, от которых надо защищать свою жизнь, но которые совершает один-единственный, и не какой-то Геракл или Самсон...»

Наука и жизнь в начале XX века	63
К. СТАСЕВИЧ — Почему йод жжётся?	65
«Любимые книги глазами математика» — второе издание!	66
О чём пишут научно-популярные журналы мира	68
Л. АШКИНАЗИ, канд. физ.-мат. наук — ГОСТ и его родственники	72
О. БАКЛИЦКАЯ — Новая турбина на водороде для российской энергетики	79
К. СТАСЕВИЧ — У суточных ритмов нашли сезонный регулятор	80

«УМА ПАЛАТА»

Познавательно-развивающий
раздел для школьников

Ю. ФРОЛОВ — Комар в шоколаде (81).
Н. КАРПУШИНА — Выручай, математи-

ка! (83). Н. ВЕХОВ, канд. биол. наук — Где паслась стеллерова корова? (86). И. КОНЫШЕВ — Кольца Лизеганга (94).

Деревья лечат!	96
К. МУХИН, докт. физ.-мат. наук — Экзотическая ядерная физика для любознательных	98
В. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	106
Л. ТАРАСОВ — Магнитные полюса Земли — путешествие во времени	108
Кунсткамера	114, 123, 128
С. ЛОГИНОВ — Свой мир (фантастический рассказ)	116

Безопасность оказалась очень относительной. Рихард проснулся, почувствовав чей-то взгляд, сел, сжимая нож, который не выпустил даже во сне.

Взгляд не почудился. В нескольких шагах от Рихарда стояла здоровенная птица. Склонив голову набок и раззявив клюв, она рассматривала человека. Вид у птички был бы комический, если бы не размеры. Росту в ней метра два с половиной, и длинный клюв казался достаточно острым. Хотя нападать птица, кажется, не собиралась. Ей просто было интересно, и она разглядывала незнакомый объект.

В. ХОРТ — Отчаянные головоломки: скоростная сборка кубика 2×2×2	124
Ответы и решения	129
И. СОКОЛЬСКИЙ, канд. фармацевт. наук — Поросёнок сюр ле хрен	130
Маленькие хитрости	135
Кроссворд с фрагментами	136
С. САПЕГИНА — Бисерная флористика	138

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Без конца и без краю мечта! Фото А. Ефремкина.

Внизу: Камни пирамиды Хеопса. Применять стандарты люди начали прежде всего в строительстве... Фото В. Пирожкова. (См. статью на стр. 72.)

2-я стр. — Весна 2017 года. Япония, Научно-исследовательский центр высоких энергий КЕК, детектор Belle II перед его перемещением на своё место в точку столкновения пучков электрон-позитронного коллайдера SuperKEKB. (См. статью на стр. 4.)

4-я стр. — «Прообразами моих бисерных творений чаще всего выступают живые цветы». Автор композиций и фото С. Сапегина. (См. статьи на стр. 138 и 141.)

В этом номере 144 страницы.



НАУКА И ЖИЗНЬ®

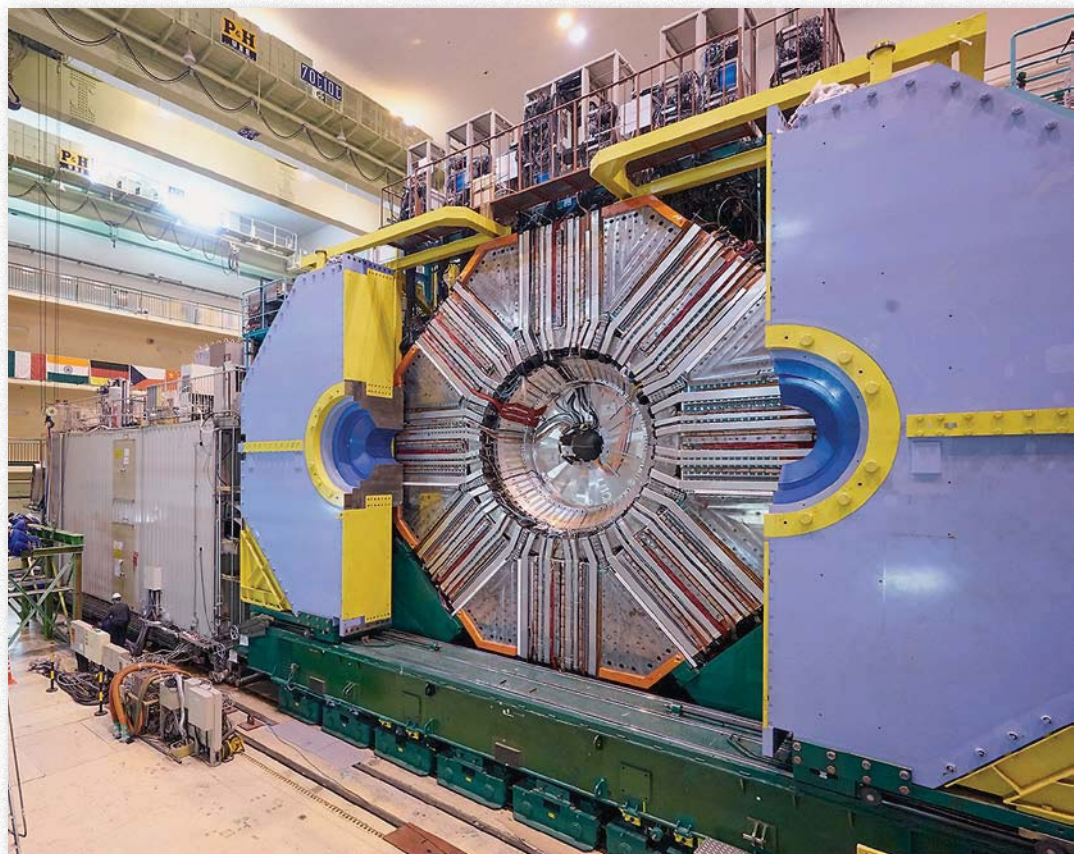
№ 5

МАЙ

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

2017

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ



ДЕТЕКТОР АСИММЕТРИИ БУДЕТ ИСКАТЬ НОВУЮ ФИЗИКУ

Теория микромира — Стандартная модель — получает всё новые и новые экспериментальные подтверждения, однако это не означает, что у природы закончились тайны и изучать больше нечего. Физики продолжают уточнять картину мира, и главной их целью сейчас стал поиск так называемой Новой физики — явлений, которые не описываются Стандартной моделью.

Дальнейшее углубление знаний о микромире требует всё более мощных и точных инструментов и всё более сложных экспериментов. Один из них — международный эксперимент Belle II, который готовится к запуску в Научно-исследовательском центре высоких энергий КЕК в японском городе Цукуба. Там 11 апреля 2017 года в точке столкновения пучков ускорителя SuperKEKB установлен новый детектор,

состоящий из семи подсистем. Детектор Belle II должен регистрировать результаты столкновений электронов и позитронов в коллайдере SuperKEKB, позволяя измерить направления и величину импульсов образовавшихся частиц.

Эксперимент Belle II — продолжение эксперимента Belle, который длился с 1999 по 2010 год. В нём удалось точно проанализировать характеристики пар В- и анти-В-мезонов и измерить эффект нарушения CP-симметрии в их распадах. Результаты Belle вместе с аналогичными работами эксперимента BaBar в США подтвердили справедливость Стандартной модели, а Макото Кобаяши и Тошихидэ Маскава, предсказавшие ранее это явление теоретически, получили Нобелевскую премию по физике в 2008 году.

◀ *Детектор Belle II на месте сборки перед перемещением в туннель ускорителя, где он будет регистрировать результаты столкновений электронов и позитронов.*

Модернизацию электрон-позитронного коллайдера КЕКВ завершили в прошлом году, после чего он получил название Super-КЕКВ. В марте 2016 года КЕК объявил о первом успешном его пуске. Длина кольца ускорителя, расположенного на глубине 10 м, около 3 км. На нём — свыше тысячи мощных магнитов. Коллайдер разгонит пучки электронов и позитронов до около-световых скоростей, при которых они будут совершать в кольце до 100 тысяч оборотов за секунду. Фокусирующая система сделает пучки толщиной с человеческий волос. Такие ускорители массово производят пары В-мезон и анти-В-мезон, а они быстро распадаются на другие частицы. Предыдущему коллайдеру КЕКВ принадлежит мировой рекорд светимости для ускорителей со встречными пучками — $2,11 \cdot 10^{34} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Светимость модернизированного коллайдера SuperКЕКВ будет в 40 раз больше, что открывает новые возможности для исследований, в том числе редких распадов В- и D-мезонов, тау-лептона. С помощью детектора Belle II планируется собрать в 50 раз больше данных по сравнению с первым экспериментом Belle и с гораздо большей точностью.

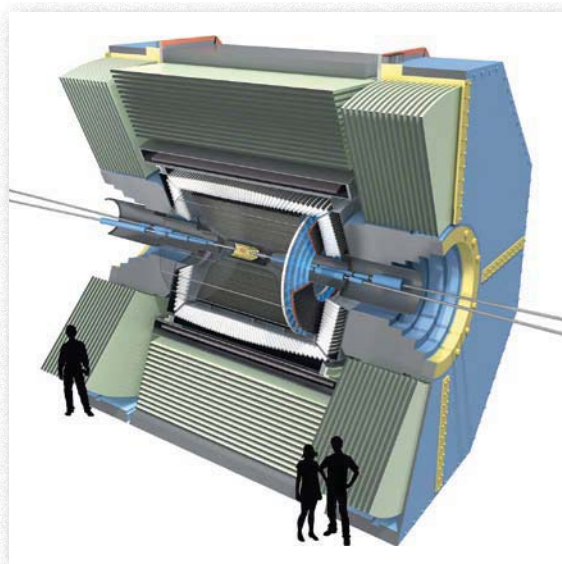
Известно, что материя в нашей Вселенной преобладает над антиматерией. Считается, что причиной тому — нарушения CP-симметрии, которые приводят к различному поведению частиц и античастиц при распадах и превращениях. Однако измеренный уровень CP-нарушения недостаточен, чтобы количественно объяснить фактическую асимметрию. Для решения этой важной физической задачи требуется гораздо более глубокое понимание соответствующих явлений. И есть надежда, что новый эксперимент как раз и даст нам такое понимание.

Возможно, ответ кроется в Новой физике. В качестве примеров её проявления исследователи будут искать процессы, идущие с нарушением лептонного числа, или отклонение суммы углов Треугольника унитарности от 180 градусов. Последнее название

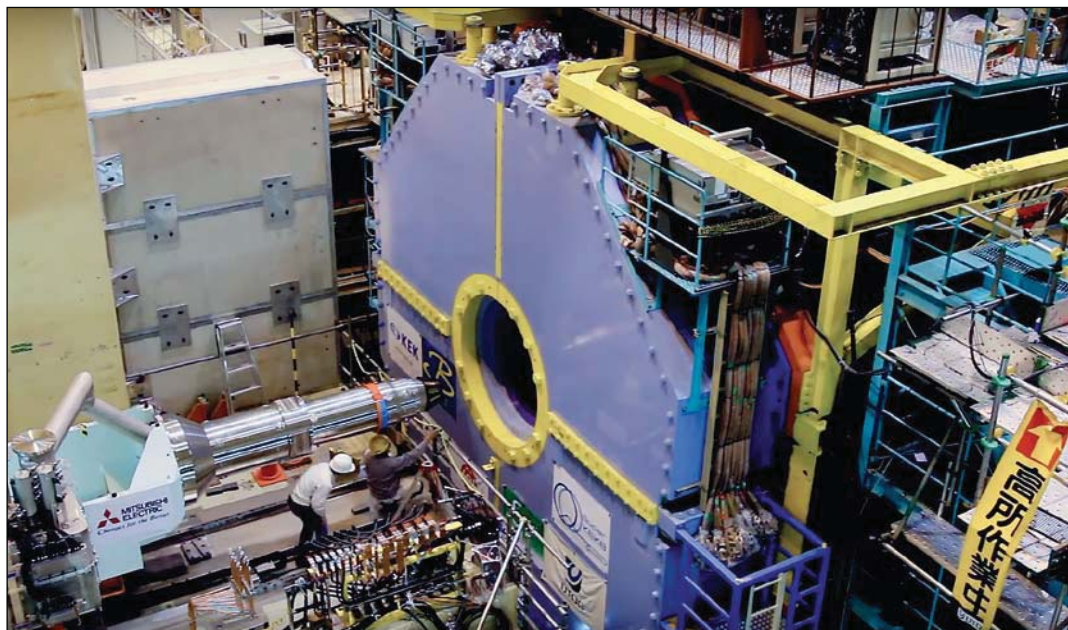
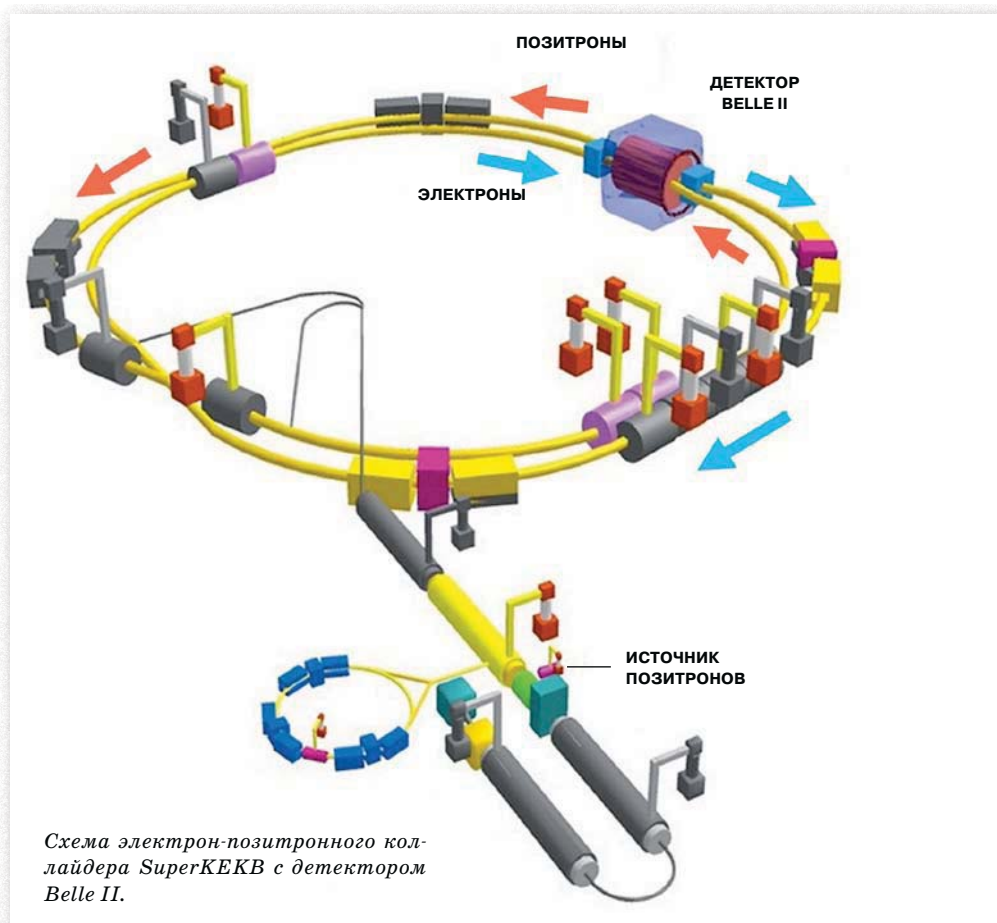
означает нарушение ключевого равенства в теории Кабиббо — Кобаяши — Маскавы, имеющего геометрическую интерпретацию в виде треугольника на комплексной плоскости.

В эксперименте Belle II участвуют более 700 исследователей из 23 стран мира. Российские физики внесли серьёзный вклад в общее дело. Так, под руководством члена-корреспондента РАН Павла Николаевича Пахлова научные группы МФТИ и ФИАН работали над детектором нейтральных долгоживущих каонов и мюонов. Детектор весит 10 т и занимает площадь более 1000 м². Его создание, учитывая огромное количество каналов считывания (более 16 тысяч), было сложнейшей, высокотехнологичной задачей. Сейчас исследователи подключают детектор к системе сбора данных.

Сорокатонный электромагнитный калориметр на основе кристаллов йодистого цезия — одна из ключевых подсистем детектора Belle II — создан благодаря исследователям Института ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения РАН и Новосибирского государственного университета. Этот калориметр позволит с большой эффективностью и высокой точностью регистрировать и измерять энергию фотонов и, следовательно, восстанавливать нейтральные π-мезоны. В регистрации процессов с нейтральными частицами в конечном состоянии Belle II должен работать



Детектор Belle II в разрезе.



Детектор Belle II, установленный на своё место в тоннеле ускорителя.



Коллаборация Belle II включает представителей 23 стран. На фото — специалисты, принимавшие участие в сборке детектора.

даже лучше, чем детектор LHCb на Большом адронном коллайдере.

Для нового эксперимента новосибирские физики разработали электронные устройства регистрации, программное обеспечение и новые модельно-независимые методы анализа экспериментальных данных, которые улучшат точность измерения параметров нарушения CP-симметрии. Кроме того, предложен и реализован новый подход к изучению новых экзотических состояний материи — тяжёлых кваркониев.

Система сбора данных Belle II будет обрабатывать до 30 тысяч событий в секунду (в эксперименте Belle загрузка была меньше в 30 раз), формировать блоки данных, относящихся к определённому событию, и записывать их на диски для последующей обработки. Это многоступенчатая система, в которой задействована сложная электроника считывания и несколько сотен компьютеров. На первом этапе происходит оцифровка и обработка данных с детектора и «упаковка» информации. После этого данные с каждой системы калориметра обрабатываются своей группой компьютеров. Система фильтрации исключает возможно большее число фоновых событий, оставляя полезные. В среднем в каждом взаимодействии электрона и позитрона рождается

более десяти относительно долгоживущих частиц, которые регистрируются детектором и информация о которых сохраняется на дисках. Там информация будет храниться для анализа более 10 лет. Анализ заключается в выявлении из миллиардов записанных событий тех, которые действительно представляют интерес, например рождение редкой частицы. Используя данные об импульсе, энергии и направлении конечных частиц, можно восстановить цепочку промежуточных частиц и всё событие, а анализ энергетических и угловых спектров и их корреляций даёт информацию о законах взаимодействия в микромире.

Предварительную сборку детектора Belle II проводили в экспериментальном зале, а затем вся установка высотой с трёхэтажное здание и общим весом 1400 тонн была медленно передвинута на 13 м в тоннель ускорителя*.

Первые результаты нового эксперимента ожидаются уже в конце 2017 года.

Кандидат физико-математических наук Алексей ПОНЯТОВ.

Иллюстрации КЕК.

* Как это происходило, можно посмотреть на видео, размещённом в том числе и на сайте «Науки и жизни» www.nkj.ru



УВИДЕТЬ АНТИЗВЕЗДУ

**Кандидат физико-математических наук Зураб СИЛАГАДЗЕ,
Новосибирский государственный университет.**

В эксперименте ALPHA в CERN в конце 2016 года впервые измерили частоту фотона, при которой происходит переход атома антиводорода из основного состояния в первое возбуждённое ($1S-2S$ -переход). Она получилась такая же, как у водорода. Этот результат соответствует Стандартной модели и с очень высокой точностью подтверждает её краеугольный камень, так называемую CPT-инвариантность, или симметрию, определяющую процессы в микромире и требующую, чтобы водород и антиводород имели одинаковый спектр. Нельзя сказать, что это неожиданный результат, но он привлёк всеобщее внимание. Дело в том, что до сих пор непонятно, почему наша Вселенная состоит из вещества, а антивещества в ней крайне мало — античастицы возникают только в некоторых процессах (например, обычный банан каждые 75 минут производит позитрон, возникающий из-за распада радиоактивного изотопа калия ^{40}K). Физики называют эту ситуацию барионной асимметрией. Такое название связано с тем, что барионы, в первую очередь протоны и нейтроны, служат основными составляющими вещества.

Объяснить барионную асимметрию Вселенной — непростая задача. Упомянутая CPT-инвариантность предсказывает одинаковое количество вещества и антивещества во Вселенной непосредственно после Большого взрыва. Однако именно благодаря барионной асимметрии мы существуем на свете. Поэтому всякое исследование, ставящее своей целью изучение различий между веществом и антивеществом, вызывает жгучий интерес.

● НАУКА. ДАЛЬНИЙ ПОИСК



Воздушный шар с аппаратурой эксперимента BESS-Polar II перед стартом. Окрестности антарктической станции Мак-Мердо, 2007 год.

инерцию. В этом вопросе Шустер был не прав: согласно современным теориям, антивещество гравитирует точно так же, как и вещество, хотя экспериментально идентичность гравитационных свойств вещества и антивещества пока до конца не доказана.

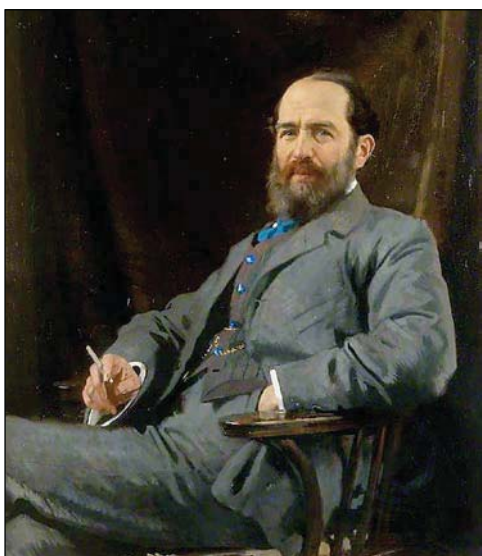
Идее Шустера не хватало теоретического обоснования, и вскоре она была забыта. Интересно, что в 1925 году Альберт Эйнштейн на основе своей общей теории относительности показал возможность существования положительно заряженного электрона как следствия решений уравнений для электромагнитного поля. На самом деле Эйнштейн лишь заново открыл результат, который до него получили Вольфганг Паули и Герман Вейль. Однако все трое рассматривали этот результат не как предсказание реально существующей новой частицы, а как серьезную проблему для теории, в частности для теории Вейля — попытки объединения гравитации с электромагнетизмом.

Большинство современных физиков считают, что антиматерию открыл Поль Дирак «на кончике пера». В значительной степени это действительно так, но истинная история открытия антиматерии более сложна и драматична.

Квантовая механика почти сразу подверглась попытке релятивистского обобщения.

Британский физик Артур Шустер, на верное, был первым, кто предположил возможность существования антиматерии. В письме, опубликованном в журнале «Nature» в 1898 году, Шустер выдвинул гипотезу, что может существовать антивещество, которое обладает отрицательной массой и которое гравитационно отталкивается от вещества. (Всего лишь годом ранее Джозеф Джон Томсон в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета экспериментально открыл первую элементарную частицу материи — электрон. Можно предположить, что Шустер задался вопросом, почему не может существовать положительно заряженный электрон.) Шустер в некотором смысле предвосхитил возможность аннигиляции материи и антиматерии, предполагая, что при встрече одинакового количества вещества и антивещества нейтрализуется не только их масса, но и все остальные характеристики, включая

Артур Шустер. Портрет работы Уильяма Орпена. 1912 год.



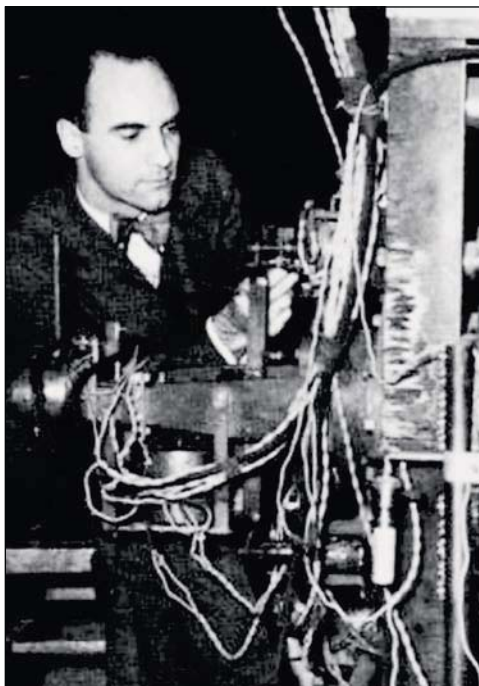


Фото: LBNL

Карл Андерсон у экспериментальной установки. 1937 год.

этого уравнения также следовал правильный спектр излучения атома водорода.

Успех уравнения Дирака был ошеломляющим, но в бочке мёда оказалась ложка дёгтя: два остальных компонента дираковской волновой функции соответствовали электрону с отрицательной энергией, и было решительно непонятно, что с ними делать. Вначале на них просто не обращали внимания, но через год Клейн показал, что, если поток электронов с отрицательной энергией падает на достаточно высокий потенциальный энергетический барьер, интенсивность отражённого потока получается больше, чем интенсивность падающего потока.

Нильс Бор написал Дираку, что для разрешения парадокса Клейна требуется концептуальная революция. В ответ Дирак придумал весьма оригинальный спасательный круг для своей теории: он предположил, что все возможные состояния с отрицательной энергией заполнены ненаблюдаемыми электронами. Такое «вакуумное» состояние впоследствии получило название «море Дирака». Так как принцип Паули запрещает двум электронам находиться в одном состоянии, реальные электроны с положительной энергией не могут «свалиться» на уровни с отрицательной энергией. Однако достаточно сильное возмущение может перевести электрон из состояния с отрицательной энергией в нормальное состояние с положительной энергией. В этом случае в море Дирака остаётся дырка, которая будет вести себя как положительно заряженная частица с положительной энергией. В то время никто не думал, что кроме электрона и протона существует ещё какая-нибудь элементарная частица. Поэтому Дирак несколько легкомысленно отождествил дырку в море отрицательных состояний с... протоном! Свою работу он так и назвал «Теория протонов и электронов». Разумеется, Дирак знал, что протон в 1800 раз тяжелее электрона, но он надеялся, что кулоновское взаимодействие дырки с электронами дираковского моря может увеличить массу дырки.

Вскоре теория Дирака получила ещё один смертельный удар: Игорь Тамм и Роберт Оппенгеймер независимо друг от друга заметили, что если протон — это дырка в море Дирака, то он и электрон в атоме водорода очень быстро, за время порядка 10^{-9} с, долж-

В частности, Оскар Клейн и Вальтер Гордон предложили ныне знаменитое релятивистское обобщение уравнения Шрёдингера, описывающего изменение в пространстве и во времени так называемой волновой функции, характеризующей состояние квантового объекта. На самом деле сам Эрвин Шрёдингер ещё в 1925 году получил это уравнение, но отверг его, так как оно не давало правильного спектра атома водорода. Как отметил Дирак, «у Клейна и Гордона хватило смелости опубликовать уравнение, не имеющее никакого отношения к экспериментальным результатам, а у Шрёдингера этой смелости не было»*. В 1928 году ему удалось получить своё знаменитое уравнение Дирака.

Дирак стал первым, кто, как он сам выражался, «поженил» квантовую механику с релятивизмом. Благоприятные плоды этого союза не заставили себя ждать. Из четырёх компонентов получающейся из уравнения дираковской волновой функции две описывали электрон с правильными значениями спина и магнитного момента. Это было тем более удивительно, что при выводе своего уравнения Дирак вовсе не думал о том, чтобы включить спин электрона в волновое уравнение, — это получилось автоматически. Из

* Дирак П. А. М. Воспоминания о необычной эпохе // УФН, 1987, 153, с. 105—134.

ны аннигилировать с излучением фотонов. Таким образом, стабильность атома водорода самым наглядным способом опровергала теорию Дирака. Надо сказать, что Дирак тоже знал об этой серьёзной проблеме для его теории.

Сильно повлияли на Дирака элегантные математические аргументы Вейля, который доказал полную симметрию состояний с отрицательной и положительной энергией для уравнения Дирака и то, что они должны иметь одинаковую массу. Позднее Вейль и Оппенгеймер убедили его, что это должна быть совершенно новая частица с положительным зарядом, которая имеет такую же массу, как электрон.

В 1931 году Дирак опубликовал свою знаменитую работу о магнитных монополях. В этой работе он впервые предположил, что дырка в море электронов с отрицательной энергией — это новая частица антиэлектрон. Кроме того, Дирак предположил, что протон тоже должен иметь свою античастицу. Он полагал, что экспериментальное наблюдение антиэлектрона — очень трудная задача, так как думал, что для рождения пары электрон—антиэлектрон надо сталкивать пучки энергичных гамма-квантов.

Уравнение Дирака и последующее решение проблемы отрицательных энергий не сразу нашли поддержку среди ведущих физиков того времени. В 1928 году Гейзенберг писал Паули: «Теория Дирака есть и остаётся самой печальной главой в современной физике». Даже в 1934 году, когда позитрон был уже открыт, Гейзенберг продолжал: «Я считаю, что теория Дирака — это интеллектуальный вздор, который никто не может принимать всерьёз». Даже сам Дирак не особенно пропагандировал свою теорию о существовании антиэлектрона. В этом отношении показательно письмо Тамма к Дираку 1933 года: «Ваше предсказание существования позитрона казалось настолько экстравагантным и совершенно новым, что вы сами не смели цепляться за него и предпочли отказаться от теории».

Неудивительно, что история открытия позитрона развивалась совершенно независимо от теории Дирака. В этом открытии сыграла роль совсем другая теория, и к тому же неверная. Нобелевский лауреат Роберт Милликен разработал свою теорию проис-

хождения космических лучей, в которой они представляли собой поток гамма-квантов высоких энергий, возникающих при синтезе в космическом пространстве новых элементов из водорода, своего рода первые крики новорождённых атомов. Когда такой гамма-квант встречается с ядром, он разваливает его на электроны и протоны (в то время нейтрон ещё не был открыт), считал Милликен. Он предложил аспиранту Карлу Андерсону проверить это предположение. Для исследования космических лучей Милликен и Андерсон решили использовать помещённую в сильное магнитное поле камеру Вильсона.

Такую экспериментальную технику изобрёл советский физик Дмитрий Владимирович Скобельцын в 1924 году. Помещение камеры Вильсона в магнитное поле даёт возможность по величине кривизны следа в камере определить импульс частицы. Скобельцын получил ряд важных результатов по физике космических лучей по этой методике. В частности, им были открыты частицы высоких энергий и ливни частиц в составе космических лучей. Скобельцын представил свои результаты и серию фотографий треков космических частиц на конференции в Кембридже под председательством Эрнеста Резерфорда



Фото: CERN.

Вольфганг Паули и Поль Дирак, 1938 год.



Дмитрий Скобельцын около модифицированной им камеры Вильсона. 1924 год.

23—27 июля 1928 года, где они произвели сильное впечатление на присутствующих.

Мог ли Скобельцын сам открыть позитрон? На основе тех фотографий, которые были в его распоряжении, вряд ли, — магнитное поле было слишком слабым для этой цели. Позднее Скобельцын писал: «Естественным следующим шагом было использование магнитного поля гораздо более высокой напряжённости. Было много причин, почему я сам никогда не пытался сделать это».

На фото Поль Дирак и Вернер Гейзенберг.



Мы не знаем, что это были за причины, но так или иначе слава открытия позитрона досталась Андерсону. Он использовал магнитное поле в десять раз большее, чем Скобельцын. Уже на первых фотографиях были заметны положительно заряженные частицы, которые в магнитном поле поворачивают в другую сторону, противоположную повороту отрицательных частиц. Милликен и Андерсон сначала думали, что это протоны, но потери энергии на ионизацию вдоль трека у протонов должны были быть гораздо больше, чем у электронов, в то

время как положительные треки выглядели точно так же, как отрицательные. Поэтому Андерсон предположил, что это электроны, но те, которые движутся в противоположном направлении — снизу вверх. Милликен не поверил и сказал, что это просто смешно, таких частиц не может быть много. Тогда Андерсон поместил тонкую свинцовую пластинку внутри камеры Вильсона. Когда частица пересекала пластинку, она теряла энергию. Поэтому радиус кривизны трека частицы после выхода из пластинки меньше, чем до входа в неё. Таким способом он смог определить направление движения частицы. 2 августа 1932 года Андерсон наконец получил свою Нобелевскую фотографию. Изображение не вызывало сомнений в том, что этот трек оставила положительно заряженная частица приблизительно с такой же массой, как электрон. По иронии судьбы первый надёжно зарегистрированный позитрон двигался снизу вверх!

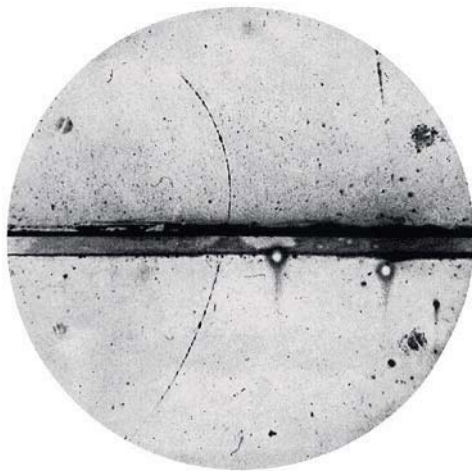
Сейчас в это трудно поверить, но Андерсон не связал свои результаты с теорией Дирака, и ещё более удивительно, что не сделал этого и Оппенгеймер, которому Андерсон вскоре рассказал о своих результатах. При этом Андерсон слушал до этого лекцию Оппенгеймера о теории Дирака. Воспоминания самого Андерсона, возможно, проясняют эту странность*. Он вспоминает, что где-то в 1930 году Оппенгеймер собирался прочитать курс вечерних лекций по теории Дирака. На первую лекцию пришли около двенадцати человек, среди которых был Андерсон. Оппенгеймер говорил два часа. В конце лекции встал Ричард Толмен, известный физик-теоретик, автор

* www.manhattanprojectvoices.org

книги о статистической механике и теории относительности. Он заявил, что ничего не понял из лекции, кроме одного уравнения, и написал это уравнение на доске. На это Оппенгеймер ответил, что уравнение не верно. Если верить Андерсону, на этом серия лекций Оппенгеймера закончилась, вторая лекция так и не случилась. Что касается Оппенгеймера, то он имел свою версию теории Дирака и был убеждён, что море отрицательных энергий всегда заполнено и в нём нет и не может быть никаких дырок. Поэтому, наверное, и не увидел очевидную ныне связь между экспериментальным результатом Андерсона и теорией Дирака. Убеждения порой играют злые шутки с людьми.

Другая экспериментальная группа шла по стопам Андерсона. Блестящие экспериментаторы Патрик Блэкетт и Джузеппе Оккиалини работали в Кембридже, там же, где и Дирак. Оккиалини приехал в Кембридж из Италии в 1931 году, чтобы научиться пользоваться камерой Вильсона. Он принёс с собой важную разработку итальянских физиков — технику совпадений при работе с космическими лучами. Блэкетт и Оккиалини поместили камеру Вильсона с магнитным полем между двумя счётчиками Гейгера: один — сверху, другой — снизу. Только когда оба счётчика Гейгера срабатывали одновременно, происходила активация камеры Вильсона. В то время только что изобретённые (в 1928 году) счётчики Гейгера и электрические схемы совпадения были весьма капризными устройствами. Оккиалини был среди тех немногих, кто обладал «магическими» знаниями, могущими заставить эти устройства работать.

Автоматическая камера Блэкетта и Оккиалини стала большим шагом вперёд в методике исследования космических лучей. Только одна из десяти фотографий Скобельцына содержала трек космической частицы. Для Андерсона этот показатель ещё хуже: одна из пятидесяти. Причиной такой низкой эффективности был случайный характер приведения камеры Вильсона в рабочее состояние. Методика Блэкетта и Оккиалини увеличила эффективность до 80 процентов. Но в гонке за открытие позитрона им не повезло: их работа появилась на два месяца позже работы Андерсона. Но зато эта работа не оставила никаких сомнений



Трек позитрона, принёсший Андерсону Нобелевскую премию. Фото из журнала «Physical Review», 43(6), 1933.

в существовании позитрона. Блэкетт получил Нобелевскую премию в 1948 году за усовершенствование метода камеры Вильсона и сделанные в связи с этим открытия в области ядерной физики и космической радиации. Отцу Оккиалини впоследствии он написал: «Я был бы счастливее, если бы Беппе также был удостоен премии. Ибо его приезд в Кембридж стимулировал моё вступление в область космических лучей, которую потом я никогда не покидал»*.

Хотя Блэкетт и Оккиалини работали рядом с Дираком, поначалу свои результаты они тоже никак не связывали с теорией дырок. Но в таких обстоятельствах они должны были встретиться. Экспериментаторы представили

Экспериментальная установка Блэкетта и Оккиалини.

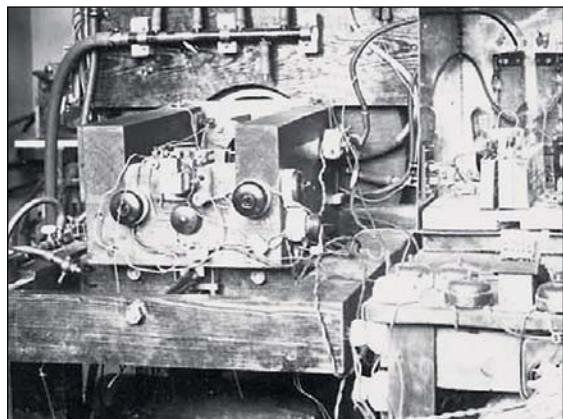


Фото: Cavendish Laboratory.

* The Scientific Legacy of Beppo Occhialini. Springer Berlin Heidelberg. 2006.

свои замечательные фотографии космических лучей коллегам на семинаре. Дирак находился в аудитории и сидел в первом ряду. Это был, несомненно, его звёздный час: он мог вполне резонно предположить, что Блэккетт и Оккиалини обнаружили антиэлектроны и, следовательно, доказали правильность его теории дырок, но он молчал. Упоминание о возможном наличии положительного электрона заставило Капицу обратиться к Дираку, восклицая: «Теперь, Дирак, введите их в вашей теории! Положительные электроны, а! Положительные электроны!». До этого Капица часами разговаривал с Дираком, но, видимо, даже и не слышал об антиэлектроне. Дирак ответил: «Положительные электроны были в теории в течение очень долгого времени». Задним числом кажется невероятным, что коллеги до такой степени не доверяли теории Дирака и ни один из них не был готов поверить — эта теория предсказывает новую частицу. Сам Дирак не очень-то старался их переубедить, возможно полагая, что положительные электроны на фотографиях в некотором роде мираж.

Так или иначе, триумф теории Дирака стал общепризнанным, и в 1933 году он совместно со Шрёдингером получил Нобелевскую премию по физике. Так как теория Дирака рассматривает частицы и античастицы совершенно симметричным образом, возник вопрос, почему в природе мы видим только вещество, а какое-нибудь значительное количество антивещества не наблюдается.

Американский биохимик Джордж Уолд однажды обсуждал этот вопрос с Эйнштейном. Эйнштейн ответил следующее: «Я имел обыкновение задаваться вопросом, почему электрон отрицателен. Отрицательный-положительный — это совершенно симметрично для физики. Там нет никаких причин, чтобы предпочесть одно другому. Тогда почему электрон отрицательный? Я думал об этом в течение длительного времени, и, наконец, всё, что я мог придумать, — это то, что электрон выиграл бой!».

Но какой бой выиграл электрон и как это ему удалось? После Большого взрыва частицы и античастицы должны рождаться в равном количестве. После этого начинается бой между ними, и в процессе аннигиляции они уничтожают друг друга. Если бы природа не различала частиц от античастиц, то после этого остались бы одни фотоны. На самом

деле из-за расширения Вселенной малое количество барионов и антибарионов (10^{-20} от количества фотонов) всё равно останется. Но этого будет недостаточно, чтобы объяснить нуклеосинтез (образования ядер химических элементов тяжелее водорода) и наблюдаемые особенности фонового космического микроволнового излучения.

В отличие от Эйнштейна мы уже знаем, что природа отличает частицы от античастицы: в слабом взаимодействии нарушаются С- и CP-симметрии. Но этого недостаточно, чтобы объяснить барионную асимметрию Вселенной. Впервые необходимые условия для успешного бариогенеза (образования избытка барионов на начальном этапе развития Вселенной) из симметричного начального состояния сформулировал советский физик Андрей Дмитриевич Сахаров в 1967 году. Работа Сахарова не привлекла внимания и оставалась сравнительно неизвестной до 1979 года, когда в связи с появлением теорий Великого объединения вопрос о бариогенезе стал актуальным. Сейчас она имеет более 2500 цитирований.

Условия бариогенеза Сахарова: нарушение барионного числа (по сути, это разница числа барионов и антибарионов), термодинамического равновесия, С- и CP-инвариантностей (наличие разницы между частицами и античастицами). Понимание важной роли CP-нарушения для возникновения барионной асимметрии Вселенной у Сахарова возникло после чтения работы японского физика Сусуму Окубо, который в 1958 году сделал теоретический вывод о том, что нарушение CP-инвариантности должно приводить к разному распаду частиц и их античастиц на другие частицы. На экземпляре работы, подаренном в 1967 году Евгению Фейнбергу, Сахаров написал:

«Из эффекта С. Окубо при большой температуре для Вселенной сшита шуба по её кривой фигуре».

Если этих нарушений не будет, то во всех процессах частицы и античастицы будут рождаться парами и никакого преобладания вещества над антивеществом («кривой фигуры Вселенной») не будет.

В принципе, все условия Сахарова выполнены в Стандартной модели, и на их основе разработано несколько моделей так называемого электрослабого бариогенеза. Сам Сахаров полагал, что для этого потребуются крайне высокие температуры, но позднее в работах

отечественных физиков В. А. Кузьмина, В. А. Рубакова и М. Е. Шапошникова были предложены механизмы бариогенеза и при значительно меньших её значениях. Существуют и модели, не использующие идеи Сахарова.

Как правило, бариогенез происходит при так называемом фазовом переходе, когда вещество переходит из одного состояния в другое. При этом скачком изменяются некоторые параметры вещества. Примером фазового перехода служит кипение воды, при котором она переходит из жидкого состояния в газообразное. При «кипении» Вселенной на начальном этапе её развития образовывались пузыри новой фазы с нарушенной электрослабой симметрией, которые, расширяясь и сталкиваясь, заполняли всё пространство. Процесс взаимодействия стенки расширяющегося пузыря с частицами нарушал CP-симметрию; например, коэффициенты отражения от стенки будут разные для частиц и античастиц. В результате со временем снаружи и внутри пузыря накапливалась противоположного знака разница в количестве частиц и античастиц. Внутри пузыря при достаточно большой средней величине хиггсовского поля, отвечающего в Стандартной модели за нарушение симметрии электрослабого взаимодействия, процессы с нарушением барионного числа будут протекать иначе, чем вне пузыря. В результате, когда фазовый переход закончится, разница в количестве частиц и античастиц не исчезнет.

Однако ряд исследователей, в том числе известный российский космолог Александр Дмитриевич Долгов, полагают, что у существующих моделей имеются нерешённые проблемы, ставящие под сомнение механизм электрослабого бариогенеза. В частности, нарушение CP-симметрии в Стандартной модели слишком мало, чтобы объяснить количественно имеющуюся разницу в количестве вещества и антивещества, а хиггсовская частица слишком тяжёлая для такого сценария, из-за чего электрослабый фазовый переход будет иметь другие свойства и происходить без образования пузырей новой фазы. По их мнению, скорее всего, объяснение барионной асимметрии требует выхода за рамки Стандартной модели.



А. Д. Сахаров и И. В. Курчатов. Москва, сентябрь 1958 года.

*Из записки С. Окубо
при большой температуре
для Вселенной с кривой кривизны
по ее кривой кривизне*

**НАРУШЕНИЕ CP-ИНВАРИАНТНОСТИ, C-АСИММЕТРИЯ
И БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ**

А. Д. Сахаров

Теория расширяющейся Вселенной, предполагающая сверхплотное начальное состояние вещества, по-видимому, исключает возможность макроскопического разделения вещества и антивещества; поэтому следует

Надпись, сделанная А. Д. Сахаровым на отписке статьи, подаренной Е. Л. Фейнбергу. (Статья опубликована в «ЖЭТФ. Письма в редакцию», 1967, т. 5, вып. 1.)

Как правило, предложенные сценарии бариогенеза предполагают, что в настоящее время количество антивещества в наблюдаемой части Вселенной исчезающе мало. Однако существуют сценарии, при которых количество сохранившейся антиматерии достаточно велико. Так, в 1993 году Александр Долгов и британский астрофизик Джозеф Силк в совместной работе предложили интересную модель бариогенеза, при которой образуется очень много антиматерии, сосредоточенной в компактных звездоподобных объектах. Такие антизвезды могут находиться по космическим меркам очень близко от нас, в частности в нашей Галактике.

Этот сценарий основан на образовании на самом начальном этапе эволюции Вселенной пузырей с высокой степенью барионной

СИММЕТРИИ

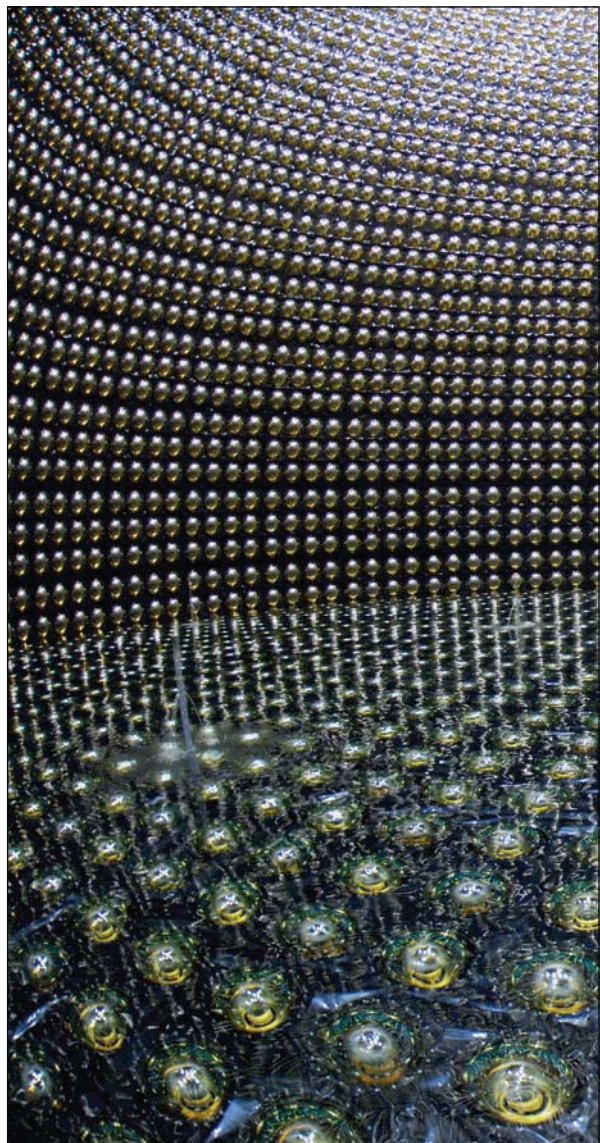
Фундаментальное для современной физики понятие симметрии означает неизменность чего-либо при рассматриваемом преобразовании. Неизменность физических законов при изменении знака координат всех объектов (при этом получаем как бы зеркальное изображение мира) была названа *P*-симметрией, при замене всех частиц на их античастицы — *C*-симметрией, а при изменении направления времени — *T*-симметрией. Другими словами, эти симметрии означают, что во вселенной, полученной из нашей Вселенной отражением в зеркале или заменой всех частиц на их античастицы, всё будет происходить, как у нас. На языке квантовой теории симметрии выглядят как выполнение особых законов сохранения — законов сохранения чётности.

До середины 1950-х годов физики были уверены: жизнь микромира подчиняется всем этим симметриям. Однако в 1956 году экспериментально было обнаружено нарушение *P*-симметрии при слабых взаимодействиях, и почти сразу же стало понятно: нарушается и *C*-симметрия. В 1957 году Лев Ландау заметил, что для всех процессов справедлива комбинированная *CP*-симметрия. Это означало: физические законы не изменятся, если частицы заменить античастицами и при этом всё отразить в зеркале (поменять правое с левым). Но в 1964 году был обнаружен распад *K*-мезона, который происходил с нарушением *CP*-симметрии (Нобелевская премия за 1980 год). Заметим, что сильное и электромагнитное взаимодействия подчиняются всем трём симметриям по отдельности, а нарушения связаны со слабым взаимодействием.

В настоящее время считается, что микромир подчиняется *CPT*-симметрии, то есть его поведение не изменится при одновременной замене частиц на античастицы, отражении в зеркале и обращении времени. Именно в рамках этой теории доказывается соответствие между веществом и антивеществом.

асимметрии, расположенных островками среди фоновой среды с малой барионной асимметрией. Такие пузыри из вещества и антивещества могли образовывать первичные звёздные астрофизические объекты уже на самой ранней стадии космологической истории. После аннигиляции антивещества в фоновой среде эти звёзды и галактики из антивещества могли сохраниться до нашего времени. Их выживание, как и первичных пузырей, связано с тем, что в них аннигиляция происходит лишь на поверхности объектов, что малоэффективно.

Гипотезы о существовании доменов антивещества во Вселенной выдвигались и другими



исследователями, как отечественными, так и зарубежными. Так, Александр Семёнович Сахаров с сотрудниками (МИФИ) на основе своей инфляционной модели неоднородного бариосинтеза обосновал возможность существования целого шарового скопления антизвёзд в нашей Галактике.

Несмотря на то что многие космологи, в том числе и академик В. А. Рубаков, считают существование звёзд из антиматерии маловероятным, окончательно такая возможность не исключена.

Но как узнать, сделана звезда из вещества или из антивещества? В принципе, об