



Темное дело Вселенной

*Каким был довременный мир, —
С чьих слов до нас дошло преданье?
Не выделялись «верх» и «низ», —
Как нам досталось это знание?
Великий Хаос был безмолвно-пуст, —
Кто смог установить его пределы?
Ничто не обретало свойств и форм, —
Как разобраться в этом всем сумели?*

Вопросы к Небу,
Цюй Юань, IV в. до н.э.

В Казанском государственном педагогическом университете в июне этого года прошла XII Всероссийская гравитационная конференция, на которой ведущие ученые страны и их коллеги из-за рубежа делились друг с другом свежими идеями о том, как устроена Вселенная. А корреспондент «Химии и жизни» там был, доклады слушал и размышлял о кризисе в физике.

На пороге кризиса

В прошлый раз, в конце позапрошлого века, к кризису в физике привели несколько весьма частных случаев. Одни ученые рассматривали рядовую теоретическую задачу, а именно: старались рассчитать излучение абсолютно черного тела. И к своему удивлению, не смогли этого сделать: по классическим формулам выходило, что вся энергия должна рано или поздно перейти в тепловое излучение и никак не достигнет равновесия между излучением и веществом — достигнуть нельзя. Попытка спасти теорию привела к идее о том, что тело излучает энергию вовсе не непрерывно, а единичными и неделимыми порциями — квантами.

Другие же ученые пытались понять уравнения Максвелла, найти проявления эфира, колебания которого, по воззрениям начала XX века, порождают электромагнетизм, и, стало быть, свет, а также выявить привилегированную систему отсчета, которая относительно эфира покоится. Рассуждения на эту тему



Художник С. Дергачев

Кандидат физико-математических наук
С.М. Комаров



РАЗМЫШЛЕНИЯ

эфиром, решив, что окружающее нас пространство пусто, то есть никакой жидкостью, обладающей вязкостью, не заполнено. А ведь всего за несколько лет до эпохальных событий великий лорд Кельвин, он же У.Томсон, принес знаменитую фразу: «В физике все главное уже сделано». Примерно такую же мысль лет тридцать назад высказывал академик Я.Б.Зельдович молодым коллегам, которые хотели заниматься космологией и теорией гравитации: не лезьте сюда, здесь все уже сделано. И действительно, тогда казалось, что осталась одна-единственная задача — измерить массу нейтрино и, посчитав с ее помощью среднюю плотность вещества во Вселенной, определить судьбу нашего расширяющегося мира: если она больше критической, значит, расширение сменится сжатием и все схлопнется в точку. В противном случае расширение будет бесконечным.

Призрачные сущности новой физики

Однако в последние годы XX века этой благодатной картине пришел конец. Сначала наблюдения мощных телескопов, в том числе выведенных в космос, показали, что галактики скучиваются совсем не так, как хотелось бы астрофизикам. Потом оказалось, что массы звезд, измеренные разными способами, а именно по оптическим параметрам и по влиянию на движения соседних облаков пыли, не совпадают. Попытки объяснить эти феномены вызвали к жизни некую темную материю, масса которой раз в пять превышает массу всей известной материи — той, что в прямом соответствии с ленинским определением «дана нам в ощущениях». Ощущать темную материю, хотя она и наполняет окружающее нас пространство, непросто: мы не обладаем чувством силы тяжести, а именно этой силой темная материя взаимодействует с обычным, так называемым барионным, веществом. И даже могучие приборы, изобретенные человеческим гением XX века, тут не помощники — все спектрометры, интерферометры и томографы в конечном счете анализируют электромагнитные излучения, и

там, где его нет, они бессильны. Вот и получается, что самый совершенный прибор, который есть в руках ученых для прямого взаимодействия с темной материей, — еще кавендишевские крутильные весы. Вот и приходится судить о внезапно открывшемся мире по косвенным признакам.

Затем вдруг оказалось, что Вселенная последние два миллиарда лет расширяется с ускорением, то есть попросту взрывается во второй, после Большого взрыва, раз. Это наблюдение уже не лезло ни в какие ворота и породило еще одну призрачную сущность — темную энергию, масса которой составляет 75% массы нашего мира. Этой таинственной субстанции дали много других названий — от квинтэссенции до скалярного поля, или лямбда-члена уравнений Эйнштейна. Порой, увлеченные полной непознанностью новой сущности, теоретики приписывают ей некие специфические свойства, в силу которых темная энергия становится и вовсе фантомной. А еще ее называют антигравитацией, поскольку чем больше темной энергии где-то сосредоточится, тем сильнее в этом месте массы будут друг от друга отталкиваться — в полном противоречии с законом тяготения Ньютона. В соответствии с нынешней концепцией эта антигравитационная сила в какой-то момент расширения Вселенной превысила силу тяготения и взяла управление нашим миром на себя. Ничего хорошего это управление нам, состоящим из барионной материи, не сулит — некоторым теоретикам мерещится мрачное будущее, когда сила антигравитации разрывает атомы на кварки, обеспечивая Большой пук (это словосочетание достойно встать в один ряд с Big Bang, хотя исходное, английское, значение несколько иное — Big Rip, то есть Большой разрыв), после которого Вселенная оказывается заполненной бесструктурной материей. Даже такие, казалось бы, крепкие объекты, как черные дыры, которые еще двадцать лет назад были способны всосать в себя всю Вселенную, не могут пережить Большой пук — они растворяются в темной энергии, если она действительно окажется фантомной.

привели к мысли о том, что скорость света — фундаментальная константа нашего мира, от выбора системы координат ее значение не зависит, и ничто, кроме частиц света — фотонов, не может двигаться не то что с большей, а даже с этой скоростью. Из этих же рассуждений пошла преобразование Лоренца, тот самый множитель $\sqrt{1-(v/c)^2}$, который описывает релятивистское изменение длин, масс и времени, уравнения Эйнштейна, придавшие конкретный физический смысл этим, казавшимся ранее абстрактным преобразованиям, и вся современная физика, совершенно непохожая на бывшую до того физику Ньютона, где размеры тела, не говоря уж о времени, никак не могли зависеть от движения. Заодно посредством опыта Майкельсона–Морли разобрались и с

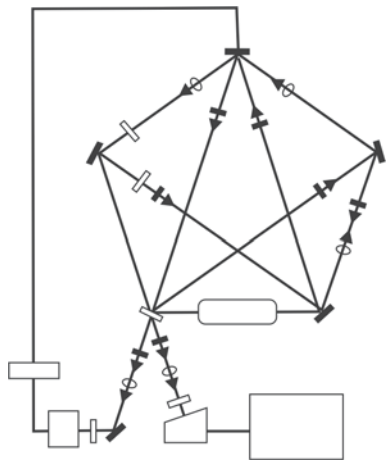


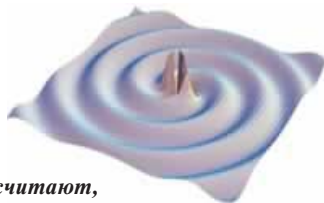
Схема антенны Дулкин

Германская
гравитационная
антенна Geo600
раскинулась
среди полей



Кроме того, в только что начавшемся XXI веке автору этих строк на различных научных семинарах и конференциях, в том числе и высокого уровня, неоднократно приходилось слышать сообщения о явлениях совсем уж необычных. То кто-то зафиксирует новый вид излучения Солнца, частицы которого долетают до поверхности Земли со скоростью, немного меньшей скорости света. То при облучении образца потоком быстрых электронов его масса существенно, выходя за пределы ошибки измерения, увеличивается, а спустя часы после окончания облучения эту массу теряет. То частицы при альфа-распаде начинают, будто обладая свободой воли, с разной вероятностью лететь в направлении разных звезд. То энергия гамма-квантов при бета-распаде или число низкоэнергетических нейтрино, летящих от Солнца, зависят от положения Земли на орбите. Все это настолько противоречит имеющимся представлениям об устройстве нашего мира, что коллеги во время докладов неодобрительно хмыкают, а авторы необычных результатов стараются найти методические ошибки в своих экспериментах. Отдельные горячие головы уже, не стеснясь никого, поговаривают об эфире, то есть покушаются на святое — все-таки именно на основе критики эфирных теорий выросла теория Эйнштейна и, соответственно, вся современная физика.

«Мы живем в чрезвычайно интересное время, — сказал на открытии конференции президент Российского гравитационного общества В.Н.Мельников. — После того как вдруг выяснилось, что девяносто пять процентов Вселенной состоит неизвестно из чего, возникает широкий простор для поиска, для создания новых теорий, порой очень смелых». «Действительно, появление эфира в рассуждениях физиков — это верный признак кризиса в физике, — вторил ему профес-



Иные считают,
что гравитационная
волна выглядит именно так

сор КГПУ Ю.Г.Игнатьев. — А потом, когда удастся свести концы с концами, эфир исчезает. Во всяком случае, так было в прошлый раз».

Рядом со Стандартной моделью

Основная работа физиков сейчас состоит в решении той задачи, которая оказалась не по зубам Эйнштейну, — поиск единого поля, которое объединило бы все известные виды взаимодействия. И в этом деле физика микромира слилась с физикой макромира. Причина в том, что поведение и строение Вселенной неизбежно зависит от ее начала. А в начале, в соответствии со Стандартной моделью, был Большой взрыв и последовавшее за ним почти мгновенное первое ускоренное расширение Вселенной — теоретики его называют инфляцией. Взрыв сначала заполнил Вселенную излучением, потом возникла материя в форме элементарных частиц, и уж затем они стали объединяться в атомы, те в скопления, потом в звезды, планеты и в нас, живущих на планетах и наблюдающих отдаленные последствия первоначального события. Очевидно, что какую теорию элементарных частиц в основу положишь, такую модель Вселенной и получишь. Вот, например, такие хорошо измеряемые современными приборами параметры, как степень неравномерности в распределении реликтового излучения по небесной сфере, или характеристики распределения видимого вещества в форме

галактик и их скоплений. Эти значения служат козырными картами в руках сторонников Стандартной модели, той самой, которая, как казалось двадцать лет назад, объясняет все — неравномерности обоих распределений оказываются именно такими, какими нужно, что и позволяет говорить о 90% справедливости теории. Правда, определить, что такое темная материя и энергия, а равно объяснить в деталях, как именно Вселенная расширялась на первом этапе, эта модель пока не может. Не дает она ответ и на вопрос, почему наш мир вообще существует: исходя из общих соображений, после взрыва рождается столько же вещества, сколько и антивещества, и все частицы до одной должны были проаннигилировать спустя считанные секунды после возникновения, повторно заполнив Вселенную излучением. Однако возникло нарушение симметрии, и малая толика барионного вещества сумела сохраниться, породив весь видимый мир. (Сейчас считается, что дело не обошлось без вмешательства темной материи.) Ответ на многие вопросы даст изучение реликтовых, то есть сохранившихся с тех древнейших времен, гравитационных волн — объектов, предсказанных теорией, но еще никем из физиков не зафиксированных.

Альтернатив Стандартной модели имеется много, и право на их существование как раз и дает упомянутая 95%-ная непонятность окружающего нас мира. Чтобы выпутаться из затруднения, можно идти разными путями. Например, внести в модель небольшие изменения — предположить, что в начале мира условия были далеки от термодинамического равновесия, и посмотреть, что нам это дает. Можно придумать многомерный мир, свернув лишние измерения в субмикроскопические масштабы и обеспечив с их помощью все виды взаимодействия, — тогда получится теория суперструн, которая лет сорок—тридцать назад обещала решить задачу великого объединения. Эти надежды не

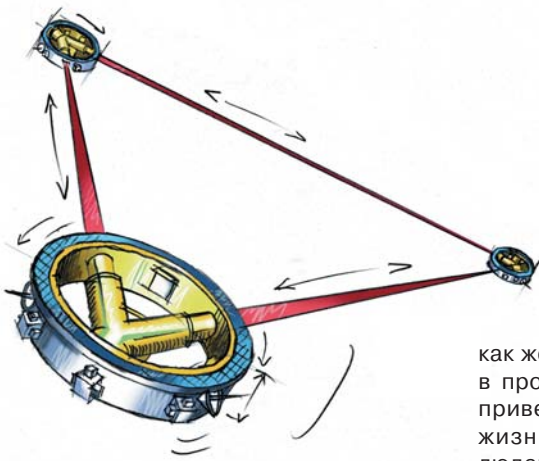


Схема космического интерферометра «Лиза»



оправдались, и сейчас наши космологи чаще хмурят брови при упоминании суперструн, чем пускаются в радостное обсуждение предстоящих результатов.

Впрочем, у теорий суперструн появился очень красивый потомок — теория миров, находящихся на бране. Там дополнительные измерения вовсе не свернуты, просто проникнуть в них нам, живущим на бране, либо невозможно, либо очень сложно. А само слово «брана» происходит от слова «мембрана». Этот объект представляет собой трехмерную (если отбросить время) мембрану в пространстве большего числа измерений. Один из самых свежих расчетов показывает, что толстая брана в пятимерном пространстве-времени вряд ли будет устойчива, а вот большее число измерений вполне позволяет существовать нашему миру. В полном соответствии с фантазиями писателей, которые любят отправлять своих героев в путешествия по параллельным мирам, в этом многомерном пространстве может существовать множество четырехмерных вселенных, как похожих на нашу, так и обладающих иными параметрами. В мире на бране все известные нам поля существуют внутри мира за исключением гравитационного — оно способно выходить в другие измерения. И это неизбежно сказывается на форме тех же самых реликтовых гравитационных волн.

Охота за G-волной

Так охота за неуловимыми объектами (а как их поймашь, если это вихри, на малую толику времени изменяющие саму конфигурацию нашего пространства-времени? Хорошо, если теоретики правы относительно их свойств, а если нет) из прихоти ученых и желаний открыть до конца все то, что предсказано теорией, становится насущной необходимостью: без этих данных невозможно выбрать правильную физическую модель и ответить на вопрос,

как же устроен наш мир. Заметим, что в прошлый раз ответ на этот вопрос привел к полному изменению стиля жизни подавляющего большинства людей, даже если они скрыты от цивилизации джунглями Амазонки или сибирской тайгой.

Считается, что зафиксировать гравитационную волну можно по изменению размера какого-то тела или же длины, которую прошел луч лазера. В целом схема основных гравитационных антенн повторяет конструкцию прибора Майкельсона–Морли: те же скрещенные под прямым углом лучи света. Однако трактовка получаемых результатов прямо противоположная. Если в конце XIX века равенство длин путей луча света вдоль и поперек движения Земли сочли надежным доказательством отсутствия эфира, то в начале XXI века ученые говорят: мы не можем зафиксировать изменения длины пути света и, соответственно, заметить гравитационные волны потому, что мешают шумы и требуется уменьшить величину ошибки измерения до фантастического значения: 10^{-22} метра! Чтобы поймать столь малые значения, физикам приходится строить поистине циклопические сооружения. Так, гравитационные антенны, построенные в ФРГ, Италии и США, представляют собой два перпендикулярных тоннеля длиной в несколько сотен, а то и тысяч метров, внутри которых поддерживается высокий вакуум. В месте их пересечения расположена чрезвычайно сложная система подвешивания зеркал. По этим тоннелям идут два совершенно одинаковых луча, а при прохождении волны один из них будет отличаться от второго. Антенна с базой в километры должна быть способна измерять изменения времени величиной в миллисекунды. А самая большая гравитационная антенна, «Лиза», должна заработать в 2012 году: к этому времени ЕКА и НАСА собираются вывести на околосолнечную орбиту три спутника, которые создадут интерферометр с базой в пять миллионов километров. Если эти спутники удастся стабилизировать в космическом пространстве, что представляет собой весьма сложную задачу, «Лиза» сможет наконец-то измерить гравитационное эхо Большого взрыва.

«В России, пожалуй, начиная с Лобачевского, всегда были самые сильные космологи в мире: Циолковский, Фридман, Гамов, Зельдович. Видимо, у нас обстановка хорошая для творчества, да и государство могло позволить себе развитие таких работ. К сожалению, сейчас ситуация меняется: космология превращается в точную науку, а такая наука требует хорошей приборной базы и больших затрат, на которые наше государство идти не готово», — говорит профессор Ю.Г.Игнатьев. Поэтому наши ученые не могут себе позволить больших проектов по поиску реликтовых волн и строят сравнительно небольшие антенны для наблюдения следов ныне случающихся в пространстве Млечного Пути катастроф вроде слияния черных дыр. Одну такую антенну, расположенную в Казани, где находится самая сильная школа отечественных специалистов по гравитации, задумали еще в советские времена, потом проект стал российским. Сейчас антенна, за которую несет ответственность Казанский университет, называется «Дулкын», то есть «Волна», а основное бремя финансирования взяли на себя власти республики. Вторую отечественную антенну, ОГРАН, для той же цели сделали московские ученые из Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга, Института ядерной физики РАН и других организаций и предполагают спрятать ее от всевозможных помех в толще горы, а именно в Баксанской нейтринной обсерватории. В отличие от «Дулкын», которую еще только монтируют, с ОГРАНОм ученые уже поработали и оценили его чувствительность. Благодаря оригинальной конструкции она не требует охлаждения до температуры жидкого гелия — главный недостаток огромных антенн в США и в Европе, из-за которого не удается вести наблюдения непрерывно в течение не то что лет, а даже недель. А вот российская антенна вполне сможет справиться со своей задачей обнаружения волн от редких событий в нашей Галактике.

Понятно, что даже такие установки стоят очень дорого, но престиж страны от приоритета в таком важном деле, как открытие гравитационных волн, стоит много дороже.