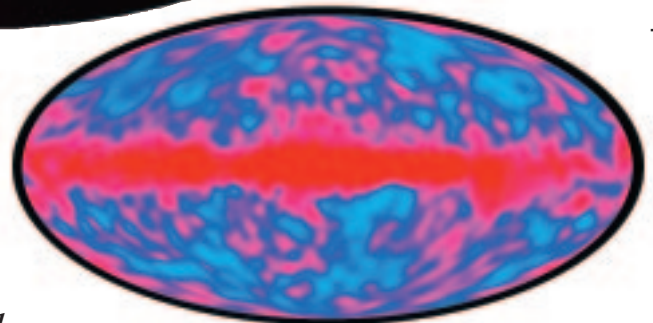


Так спутник «COBE» видит Млечный Путь с околоземной орбиты

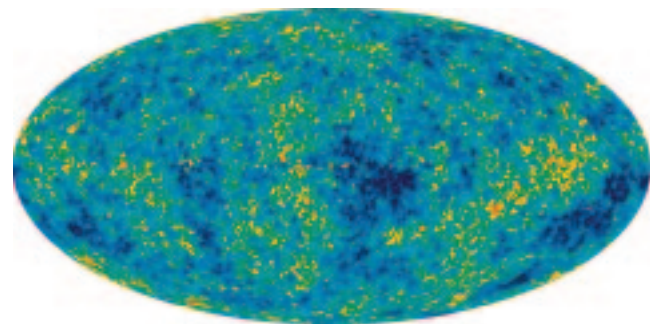
Нобелевская анизотропия

Анизотропия — различие свойств в зависимости от направления. Вот, например, если взять кристалл, то вдоль каждого направления в кристаллической решетке будут свои свойства — механические, оптические или электрические. У Стругацких приведен пример неоднородности транспортных свойств: анизотропное шоссе, по которому движение возможно только в одном направлении. А у Нобелевского комитета имеется ярко выраженная анизотропия, связанная с гражданством претендента на премию. Корни этого явления можно проследить в 1915 году. За два года до этого Юрий Викторович Вульф в России, отец и сын Брэгги, Уильям Генри и Уильям Лоуренс, в Англии независимо друг от друга вывели основную формулу рентгеноструктурного анализа. С тех пор кристаллографы пользуются соотношением Вульфа—Брэггов (или Брэгга—Вульфа, кому как нравится). Премию же получили только Брэгги. За последующие девяносто лет можно было бы назвать не один подобный случай. Очередное проявление анизотропии комитета связано с премией этого года по физике, которую присудили американским астрофизикам Джону Мазеру и Джорджу Смуту (из Годдардовского центра космических полетов НАСА и Калифорнийского университета соответственно) за открытие пространственной неоднородности реликтового излучения (рис. 1, 2).

Впервые об этом излучении заговорил Георгий Гамов (см. «Химию и жизнь», 2005, № 3) в 1950 году. Согласно предложенной гипотезе, через некоторое время после того, как случился Большой взрыв, началась конденсация его продуктов и возникли излучение, вещество и антивещество. Двое последних проаннигилировали друг с другом. Однако плотность оставшегося вещества все равно была очень высокой, и фотоны не могли свободно путешествовать по пространству. Вселенная расширялась, и спустя какое-то время (теоретики считают, что через 380 тысяч лет) случилось просветление: излучение отделилось от вещества. С тех пор фотоны способны свободно перемещаться на большие расстояния. Если же какой-то фотон попадает в вещество, то его атомы или молекулы этот фотон поглощают, возбуждаются, полученную энергию как-то перераспределяют между собой, а потом так или иначе вещество излучает новый фотон. Как правило, его энергия не случайна, а соответствует спектру излучения вещества. Однако осталось еще немало фотонов, которые с момента просветления ни разу ни с чем не взаимодействовали. Поскольку их появление никак не связано с атомами вещества, форма спектра таких реликтовых фотонов должна соответствовать спектру абсолютно черного тела. Эта физическая абстракция поглощает падающее



1 Карта анизотропии в галактических координатах по данным двухлетних наблюдений спутника «COBE»



2 Самая точная на сегодня карта анизотропии по данным спутника «WMAP»

на него излучение во всем диапазоне частот. И по закону Кирхгофа, излучает его во всем диапазоне.

Физики конца XIX – начала XX века и вывели законы абсолютно черного тела. В частности — формулы, которым подчиняется спектр излучения при различных температурах. Из них следует, что по мере охлаждения черного тела максимум его спектра смещается в длинноволновую область. Поскольку, согласно оценкам Гамова, нынешний спектр реликтового излучения отвечает температуре тела всего в 5 К, искать реликтовые фотоны следует в микроволновой области.

Искали реликтовое излучение полтора десятка лет, пока в 1964 году удача не улыбнулась Арно Пензиасу и Роберту Уилсону. Работая на радиотелескопе, они обнаружили, что принимаемое прибором излучение на длине волны 7 см слишком велико, чтобы его можно было объяснить шумом прибора или действием атмосферы. Кроме того, излучение оказалось равномерно размазанным по всей небесной сфере, а именно так и должно вести себя реликтовое излучение. Нобелевская премия досталась Пензиасу и Уилсону в 1978 году, спустя десять лет после смерти Гамова.

Температура реликтового излучения оказалась равной 2,73 К, а максимум его спектра приходится на волны с длиной 1 мм. Земная атмосфера хорошо поглощает такие волны, поэтому изучать реликтовое излучение следует за ее

фото НАСА



Джон Мазер
и Джордж Смут



пределами. А цель изучения — выявить неоднородность в распределения интенсивности излучения по небесной сфере. Открытие такой анизотропии чрезвычайно важно для сторонников теории Большого взрыва. Дело в том, что концы с концами у теоретиков могут сойтись только при условии, что на самых ранних этапах жизни Вселенной распределение вещества было неоднородным. В противном случае им никак не удастся получить галактики и их скопления, наблюдаемые невооруженным глазом. Стало быть, вся космология Большого взрыва требует пересмотра, а ее авторы оказываются под угрозой остракизма со стороны торжествующих сторонников альтернативной точки зрения — вечно существующей Вселенной (не таких уж и малочисленных, если судить хотя бы по почте редакции «Химии и жизни». — *Примеч. ред.*). Если в момент отделения излучения от вещества в нем действительно существовали неоднородности плотности, то они должны были поглощать излучение сильнее или слабее. И это неизбежно сказывается на распределении излучения по небесной сфере. Спектр неоднородностей был рассчитан, его назвали спектром Харрисона—Зельдовича, и затем потребовалось экспериментальное подтверждение.

Поначалу анизотропию искали со стратостатов, запуская приборы на высоту 30 км. Порой находили. Но последующие эксперименты (благо запускать стратостаты могут себе позволить многие научные группы) эти данные не подтверждали. Как бы то ни было, к 1985 году удалось оценить размер вызванных анизотропией отклонений интенсивности излучения: менее $7 \cdot 10^{-5}$ от среднего значения.

А потом начались космические эксперименты. Первым, в 1983 году, стартовал советский спутник, на котором проходил эксперимент «Реликт-1» под научным руководством Н.С.Кардашова, ныне академика РАН. Этот прибор измерял интенсивность излучения на одной частоте, 37 ГГц. В 1989 году в космос вышел американский спутник «COBE». Экспериментами на его борту как раз и руководил Джон Мазер, который задумал проект еще в 1974 году и пятнадцать лет

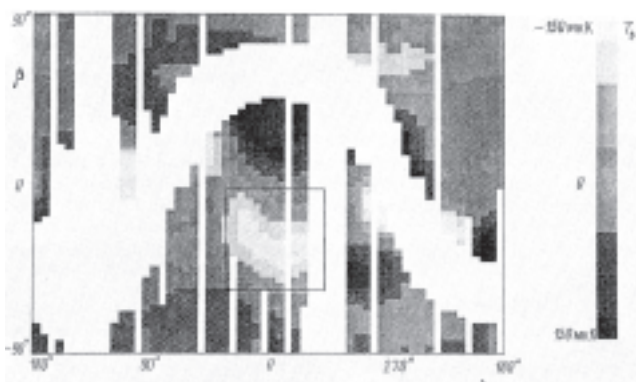
пробивал его в НАСА. Приборы этого спутника работали на трех частотах, 31, 53 и 90 ГГц; такие частоты выбрали потому, что они близки к максимуму реликтового излучения и минимуму излучения Млечного Пути.

Первые результаты, полученные «Реликтом-1», были опубликованы в 1986—1988 годах. Реликтовое излучение оказалось распределено по небесной сфере неравномерно, но с вероятностью 85% эти неоднородности были связаны с аппаратным шумом. Советские ученые так оценили неуловимую анизотропию: менее $2 \cdot 10^{-5}$ от среднего значения.

Выявлять столь слабый сигнал очень непросто. Во-первых, он в разы меньше шума приборов. Во-вторых, в сигнал дают вклад Солнце, Луна, Юпитер, а также Млечный Путь как единое целое. В-третьих, сказывается еще и эффект Допплера: из-за движения Земли, Солнечной системы и Галактики относительно реликтового излучения свет, оставшийся позади, краснеет, а впереди — синееет. Если после удаления всех этих вкладов останутся какие-то неоднородности — они-то и окажутся искомыми признаками анизотропии реликтового излучения. К сожалению, большую часть этих вкладов приходится удалять в результате расчета, например на основании той или иной модели Галактики и происходящих в ней процессов.

К новому этапу обработки данных «Реликта-1» ученые из ИКИ АН СССР и Института им. П.К.Штернберга МГУ приступили в самом конце 80-х годов. Им удалось придумать особо изощренные алгоритмы сглаживания данных для устранения всевозможных ошибок и вычленишь-таки на карте один участок (рис. 3), где интенсивность реликтового излучения оказалась ниже средней, причем с вероятностью 99% это снижение представляет собой объективную реальность. Понятно, что тщательная подгонка параметров программы расчета заняла не один месяц, а то и год. Во всяком случае, статья «Анизотропия фонового радиоизлучения» в январе 1992 года за подписью И.А.Струкова (технического директора эксперимента), А.А.Брюханова (основного создателя программы расчета), Д.П.Скулачева и М.В.Сажина была отправлена в «Письма в астрономический журнал», а в майском номере опубликована. Вывод авторы статьи сделали осторожный: «Нами обнаружен сигнал, который не может быть полностью объяснен аппаратными эффектами и радиоизлучением известных источников... Окончательное суждение может дать анализ данных, полученных с помощью более чувствительной аппаратуры в различных частотных диапазонах. Наибольшие надежды мы возлагаем на «Реликт-2» и «COBE».

И эта надежда оправдалась: в апреле 1992 года в «Astrophysical Journal Letters» поступили, а в сентябре были опубликованы три статьи по результатам первого года наблюдений за реликтовым излучением с борта спутника «COBE». В первой из них, за подписью Джорджа Смута и еще двадцати семи соавторов, американские ученые предприняли немалые усилия по извлечению полезного сигнала из фоновой информации и пришли к выводу, что они надежно зафиксировали наличие анизотропии реликтового излучения (рис. 1). Ее величина составила, в полном соответствии с



3
Карта анизотропии на частоте 37 ГГц в эклиптических координатах по данным «Реликта-1». Светлая полоса — Млечный Путь, квадратик отмечена область, где излучение значительно слабее среднего уровня

предыдущими оценками $6 \cdot 10^{-6}$ от среднего значения. Получив такой результат, американские ученые сделали вполне обоснованный вывод: «Обнаруженную структуру сигнала нельзя объяснить никакой систематической ошибкой. Конечно, ее причиной может показаться галактическое или межгалактическое излучение. Однако расположение неоднородностей в пространстве никак не связано со структурами в строении Галактики, а отдельные внегалактические источники вносят очень малый вклад в сигнал. Поэтому проще всего считать, что это неоднородности именно микроволнового фона». Последующие опыты с запущенным в 2001 году спутником «WMAP» (рис. 2) позволили построить гораздо более точную карту анизотропии излучения, которая ныне служит источником вдохновения для многих астрофизиков.

Главная беда подобного рода экспериментов состоит в том, что слабый сигнал приходится выделять из весьма сильного, а это невозможно сделать, если не применять какие-то подгоночные параметры. Конечно, такой метод вполне распространен в различных областях науки. Например, у теплофизиков есть специальная издевательская фраза: «Это очень хо-

рошая теория, в ней соответствие с практикой достигается введением всего одной дюжины подгоночных коэффициентов, а не трех дюжин». Однако результат хитроумных расчетов, прежде чем стать научным фактом, требует проверки. Потому-то самое первое правило физика гласит: эксперимент, особенно эпохальный, должен быть повторен, и те эксперименты, результаты которых пытались, но не сумели воспроизвести другими руками и в другой лаборатории, положено относить к научным курьезам, а то и к категории лженауки. В случае с анизотропией излучения все получилось как нельзя лучше — две группы независимо друг от друга ее обнаружили, доказав тем самым, что излучение неравномерно распределено в реальности, а не в голове автора или оперативной памяти компьютера. Однако премию дали только одной группе. Вот такая анизотропия получается.

Кандидат
физико-математических наук
С.М.Комаров