

КОСМОЛОГИЯ

САМОЕ ПУСТОЕ МЕСТО В КОСМОСЕ

Попытки объяснить странное холодное пятно в космосе привели ученых к открытию еще более странному: гигантской и почти совершенно пустой области

Иштван Сапуди



ОБ АВТОРЕ

Иштван Сапуди (István Szapudi) — астроном из Института астрономии Гавайского университета. Работает в области космологии и крупномасштабной структуры Вселенной.



Д

ля того чтобы увидеть самый древний свет во Вселенной, просто включите старый телевизор между каналами. Дрожащий ковер из точек и узоров — это результат воздействия на телевизионную антенну фотонов, испущенных 13,8 млрд лет назад, в эпоху, близкую к Большому взрыву. Эти фотоны с температурой около $2,7^\circ\text{K}$ летят к нам со всех сторон, почти равномерно заполняя все пространство, и формируют космический микроволновой фон (реликтовое излучение). Реликтовые фотоны — самый древний свет, и поэтому двумерную карту реликтового излучения часто называют детской фотографией Вселенной. Благодаря этой карте можно узнать о том, какова была ранняя Вселенная, и понять, почему мир вокруг нас таков, каким мы его видим.

Детская фотография Вселенной не лишена недостатков, называемых также аномалиями, потому что они не могут быть объяснены с помощью современной стандартной космологической модели. Одна из самых больших аномалий — так называемое холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения — была детально изучена по данным космической миссии *NASA WMAP* (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*). Это пятно по площади равно примерно 20 Лунам, как мы ее видим с Земли. Для одних ученых эта аномалия — досадная неприятность, нарушающая стройную картину стандартной космологической модели, а для других — источник научного любопытства и куража перед неизвестным.

Одно из возможных объяснений аномалии холодного пятна на карте анизотропии реликтового

излучения — это случайность. Другими словами, пятно возникло спонтанно и не представляет собой следствие каких-то особых причин. Однако, по оценкам ученых, вероятность такого случайного события невелика, примерно полпроцента. Другие возможности представлены широчайшим спектром — от рациональных до совершенно фантастических: от допущения проблем в наблюдательной технике и до наличия портала в другие измерения и прочих проявлений скрытых размерностей.

В 2007 г. было высказано предположение, что холодное пятно может быть следствием существования в космосе гигантской пустой области (так называемого войда), почти лишенной и галактик, и межгалактического вещества, и тогда положение этой области должно было бы коррелировать с положением холодного пятна на карте. Этот войд

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космическое фоновое микроволновое излучение (реликтовое излучение) — самый древний свет, который пронизывает Вселенную. Анизотропия реликтового излучения содержит странное «холодное пятно», в котором температуры реликтовых фотонов несколько ниже среднего фона.
- Одно из возможных объяснений — предположение о существовании сверхвойда, гигантской и относительно пустой области, по пространственному положению совпадающей с холодным пятном. Фотоны света, идущие через нестационарный (то есть ускоренно расширяющийся) сверхвойд, изменяют энергию, уменьшая или увеличивая ее в зависимости от гравитационного потенциала (ансамбль таких фотонов изменяет температуру, становясь то холоднее, то горячее), — это интегральный эффект Сакса — Вольфа.
- Недавно астрономы предположительно открыли сверхвойд протяженностью 1,8 млрд световых лет, лежащий в той же области неба, что и холодное пятно. Однако пока наблюдательных данных недостаточно для доказательства однозначной связи этих двух структур.



Сканирование неба с помощью панорамного Обзорного телескопа и Системы быстрого реагирования (Pan-STARRS) на острове Мауи помогло астрономам предположительно обнаружить огромное пустое пространство — сверхвойд, которое могло бы объяснить холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения

оказался бы наипустейшим местом во всей Вселенной, этаким редчайшим пузырем в сравнительно плотном окружении. Если такая пустота действительно существует, то ее исследование может быть очень полезным для понимания природы темной энергии, состав которой до сих пор неизвестен, но которая с уверенностью признается источником ускоренного расширения Вселенной. В настоящее время ведутся активные исследования, действительно ли положения войда и холодного пятна на карте анизотропии реликтового излучения совпадают.

Рассекая пустоту

Ученые пришли к мысли, что может существовать сверхвойд, порождающий холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения за счет того, что свет проходит через группы меньших войдов. Предполагаемый сверхвойд представляет собой крайность, но войды меньшего размера, содержащие малое число галактик, — обычное явление во Вселенной. Так же обычны и их противоположности — скопления галактик. Космологи считают, что неоднородность распределения вещества на сверхбольших масштабах зародилась в ранней

Вселенной из флуктуаций плотности, которые, в свою очередь, могли быть следствием квантово-механических процессов. Другими словами, в ранней Вселенной существовал контраст плотности, который позже развился в крупномасштабную структуру. Чем больше масса, тем сильнее гравитационное поле, которое она создает, что, в свою очередь, привлекает в такие области новую массу. Те области, от которых уходит масса, и становятся войдами.

Поскольку войды содержат очень мало вещества, то с точки зрения распределения гравитационных полей они похожи на холмы, с которых все скатывается (холмы гравитационного потенциала. — *Примеч. пер.*). Так, если частица движется в войде от источников сильного гравитационного притяжения, расположенных во внешних областях, она замедляется, как шарик, который запустили катиться вверх по склону холма. Как только частица начинает двигаться в сторону границы войда, она разгоняется, как шарик, катящийся вниз по склону. Аналогично ведут себя и реликтовые фотоны, которые изменяют энергию, то есть частоту (скорость фотонов не меняется и остается всегда постоянной и равной скорости света в вакууме).

Изменение частоты для одного фотона соответствует изменению температуры для ансамбля фотонов. Когда фотоны попадают в войд, они «взбираются на холм», теряют энергию — и, следовательно, их температура уменьшается. Когда фотоны покидают войд, они «скатываются с холма», восстанавливают энергию и их температура повышается. Если бы пространство не расширялось с ускорением, то температура восстанавливалась бы до начальной, которая была у фотонов при вхождении в войд. Но это не так.

Примерно два десятилетия назад ученые обнаружили, что Вселенная не просто расширяется, но расширяется с ускорением. Большинство космологов считают, что ускорение вызвано темной энергией, обладающей таким свойством, что в пространстве ее давление отрицательно и она противодействует силам гравитационного притяжения (на сверхбольших масштабах. — Примеч. пер.). Ускоренное расширение искажает рассмотренный выше сценарий катания шариков по холму. Применительно к фотонам реликтового излучения это означает, что, пока фотон пересекает войд, окружающая холм равнина становится выше и, таким образом, плоский берег на другой стороне войда тоже становится выше. В результате, выходя из войда, фотон не может вернуть себе всю энергию, затраченную на подъем. Таким образом, в результате прохождения через войд фотоны теряют энергию, что на карте анизотропии реликтового излучения выглядит как группа холодных пятен. При пересечении сверхскоплений галактик реликтовые фотоны, наоборот, набирают энергию, что представлено на карте анизотропии группой горячих пятен.

Та часть анизотропии, которая генерируется за счет интегрального эффекта Сакса — Вольфа, не слишком велика даже при пересечении фотонами больших войдов. Порядок анизотропии составляет величину порядка 10^{-5} от изотропного фона. Однако в случае гигантской пустой области (сверхвойда) анизотропия должна быть достаточно большой для генерации холодного пятна. Найденный сверхвойд не только позволил бы объяснить природу холодного пятна на карте анизотропии реликтового излучения, но и стал бы еще одним наблюдательным тестом для темной энергии.

Охота за гигантской пустотой

Поговорим о поисках сверхвойда, начатых в 2007 г. Вообще говоря, обнаружить в космическом пространстве огромную пустую область сложнее, чем кажется на первый взгляд. Большинство астрономических инструментов дают плоские снимки неба, которые не содержат информации о том, как далеко лежат объекты на снимках. Одни галактики выглядят

Холодный одинокий энергетический холм в космосе

Ученые предположительно обнаружили сверхвойд — область пространства, в которой гораздо меньше галактик, чем в окружающих областях. Возможно, сверхвойд может объяснить странное холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения, открытое около десяти лет назад. Реликтовое излучение было рождено вскоре после Большого взрыва и до сих пор путешествует по Вселенной. Фотоны реликтового излучения, проходя через сверхвойд, могут терять энергию за счет так называемого интегрального эффекта Сакса — Вольфа.

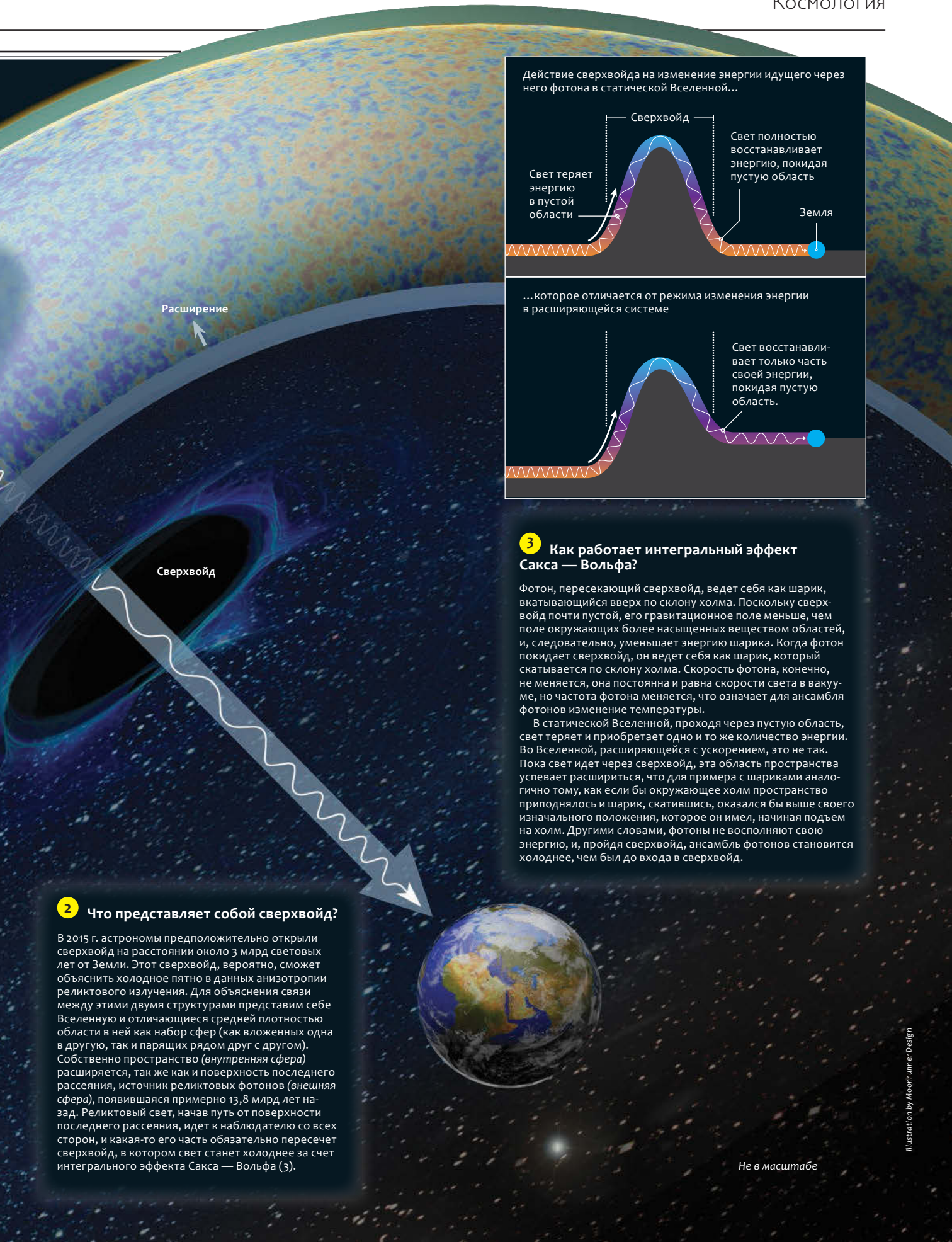
Холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения

Расширение

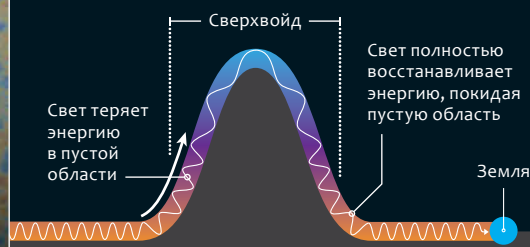
1 Что такое холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения?

Реликтовое излучение — самый древний свет Вселенной, который распространяется по всему пространству. Двумерная карта анизотропии реликтового излучения представляет собой смену областей повышенной (красный) и пониженной (голубой) яркости с более высокой и более низкой температурой соответственно. В целом анизотропия реликтового излучения хорошо объясняется стандартной космологической моделью, однако есть и нерешенные вопросы, в частности наличие большого холодного пятна на этой карте (отмечено кружком), которое слишком холодно и слишком велико, чтобы быть легко объясненным. Проблема этого пятна волновала ученых с момента его открытия в 2004 г. космическим радиотелескопом WMAP.

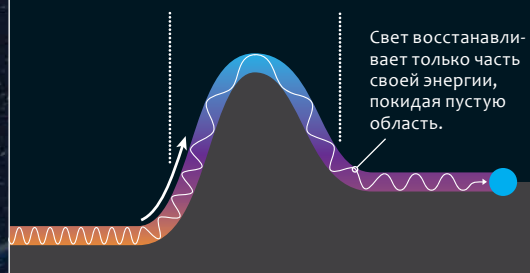
Холодное пятно



Действие сверхвойда на изменение энергии идущего через него фотона в статической Вселенной...



... которое отличается от режима изменения энергии в расширяющейся системе



3 Как работает интегральный эффект Сакса — Вольфа?

Фотон, пересекающий сверхвойд, ведет себя как шарик, вкатывающийся вверх по склону холма. Поскольку сверхвойд почти пустой, его гравитационное поле меньше, чем поле окружающих более насыщенных веществом областей, и, следовательно, уменьшает энергию шарика. Когда фотон покидает сверхвойд, он ведет себя как шарик, который скатывается по склону холма. Скорость фотона, конечно, не меняется, она постоянна и равна скорости света в вакууме, но частота фотона меняется, что означает для ансамбля фотонов изменение температуры.

В статической Вселенной, проходя через пустую область, свет теряет и приобретает одно и то же количество энергии. Во Вселенной, расширяющейся с ускорением, это не так. Пока свет идет через сверхвойд, эта область пространства успевает расшириться, что для примера с шариками аналогично тому, как если бы окружающее холм пространство приподнялось и шарик, скатившись, оказался бы выше своего изначального положения, которое он имел, начиная подъем на холм. Другими словами, фотоны не восполняют свою энергию, и, пройдя сверхвойд, ансамбль фотонов становится холоднее, чем был до входа в сверхвойд.

2 Что представляет собой сверхвойд?

В 2015 г. астрономы предположительно открыли сверхвойд на расстоянии около 3 млрд световых лет от Земли. Этот сверхвойд, вероятно, сможет объяснить холодное пятно в данных анизотропии реликтового излучения. Для объяснения связи между этими двумя структурами представим себе Вселенную и отличающиеся средней плотностью области в ней как набор сфер (как вложенных одна в другую, так и парящих рядом друг с другом). Собственно пространство (*внутренняя сфера*) расширяется, так же как и поверхность последнего рассеяния, источник реликтовых фотонов (*внешняя сфера*), появившаяся примерно 13,8 млрд лет назад. Реликтовый свет, начав путь от поверхности последнего рассеяния, идет к наблюдателю со всех сторон, и какая-то его часть обязательно пересечет сверхвойд, в котором свет станет холоднее за счет интегрального эффекта Сакса — Вольфа (3).



Не в масштабе

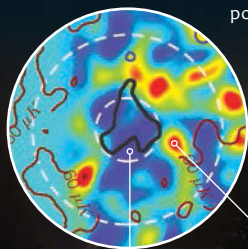
МЕТОДОЛОГИЯ

В поисках сверхвойда

Для поиска сверхвойда, который мог бы объяснить холодное пятно на карте анизотропии реликтового излучения, астрономы проанализировали каталог галактик, созданный космической миссией WISE — Глубокий инфракрасный обзор, а также с помощью двухмикронного Обзора всего неба (2MASS) и Pan-STARRS. В каталоге указаны положения большого числа галактик, однако не указаны расстояния до них, что необходимо для определения расстояния до сверхвойда. Для оценки расстояний до галактик использовались оптические данные в разных фильтрах для определения, насколько свет смещен в красную область электромагнитного спектра. Красное смещение далеких галактик вызвано ускоренным расширением Вселенной (длина волны света, испущенного источником в расширяющемся пространстве, также будет расширяться). Чем больше красное смещение галактики, тем дальше от Земли она находится. Совместно используя данные каталогов и оценки красных смещений (следовательно, и расстояний), ученые построили трехмерную карту распределения галактик в той части неба, где располагается холодное пятно.

Срезы Вселенной

Исследователи разделили трехмерную плотность распределения галактик на ряд срезов, показывающих, как меняется плотность галактик с расстоянием до наблюдателя. В каждом срезе (слева) цвет указывает плотность, где красные области соответствуют более плотным областям, содержащим много галактик, а голубые области соответствуют областям с малым количеством галактик. Срезы центрированы так, чтобы оказаться на одном луче зрения с холодным пятном на карте анизотропии реликтового излучения. Белыми кругами показаны радиусы 5 и 15 градусов вокруг центра холодного пятна (для сравнения: площадь Луны покрывает полградуса на небе). Черным контуром показан профиль холодного пятна. Красными контурами показаны другие структуры на карте анизотропии.

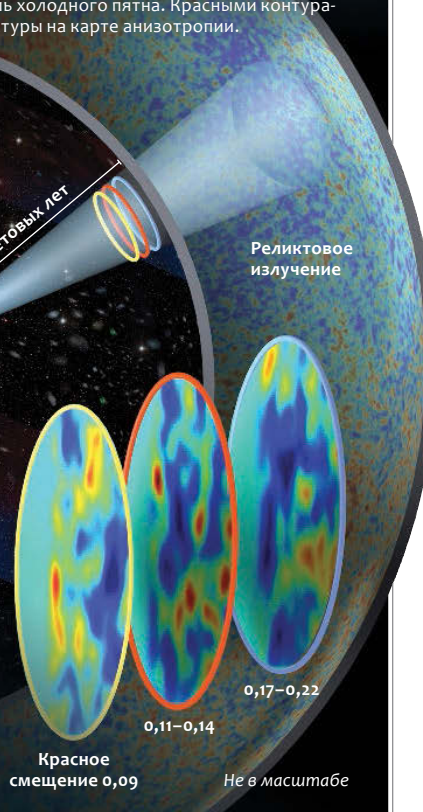


Повышенная плотность (красный)

Пониженная плотность (голубой)

Набор для объемных изображений

Исследователи создали три среза Вселенной, чтобы показать плотность распределения галактик на трех разных расстояниях: с красным смещением 0,09 (это соответствует расстояниям до 1,24 млрд световых лет); с красным смещением в интервале от 0,11 до 0,14 (это соответствует расстояниям от 1,5 млрд световых лет до 1,9 млрд световых лет); с красным смещением в интервале от 0,17 до 0,22 (что соответствует расстояниям в интервале от 2,3 млрд световых лет до 3 млрд световых лет). Ближайший срез не показывает наличие пустоты, а самый дальний, похоже, показывает небольшой войд, немного смещенный от центра среза для соответствия положению холодного пятна. Средний срез показывает большую пустую область, большей частью совпадающую с положением холодного пятна. Так был отождествлен сверхвойд.



Красное смещение 0,09

0,11–0,14

0,17–0,22

Не в масштабе

как бы слипшимися между собой, а другие, наоборот, широко отстоящими относительно луча зрения, что не соответствует реальным физическим расстояниям между ними. Для того чтобы установить относительное расположение галактик в пространстве и оценить расстояние до них, астрономы должны собрать дополнительную информацию о каждой галактике в отдельности. Это довольно трудоемкая задача. В 2007 г. группа ученых из Университета Миннесоты — Лоуренс Рудник (Lawrence Rudnick) и его коллеги — исследовали каталог галактик в радиодиапазоне, полученный в проекте обзора неба NRAO VLA. Было обнаружено, что область пространства, примерно совпадающая по расположению с холодным пятном на карте анизотропии реликтового излучения, содержит малое число галактик по сравнению со средним числом галактик в окружающих областях. Очень большое расстояние до этих галактик было априори известно из данных других каталогов. Собрав всю информацию воедино, ученые предположили,

что данная область представляет собой сверхвойд, ответственный за генерацию холодного пятна согласно механизму интегрального эффекта Сакса — Вольфа, и находится от нас на расстоянии около 11 млрд световых лет. Одна из трудностей такого предположения заключается в том, что свет, приходящий к нам сегодня, пересекал бы этот сверхвойд очень давно, примерно 8 млрд лет назад (именно восемь, а не 11, потому что с момента прохождения света через этот сверхвойд Вселенная успела расшириться почти в два раза). В те далекие времена влияние темной энергии еще не было так велико, как сегодня, и поэтому, вполне возможно, интегральный эффект Сакса — Вольфа был совсем незначительным для того, чтобы получить холодное пятно.

Работа группы Рудника не дала результатов, однако инициировала дальнейшие исследования в этой области. Вместе с молодыми исследователями Гавайского университета Беном Гранеттом (Ben Granett) и Марком Нейринком (Mark Neyrinck)

SOURCE: "DETECTION OF A SUPERVOID ALIGNED WITH THE COLD SPOT OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND," BY ISTVÁN SZAPUDI ET AL., IN MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, VOL. 456, NO. 1, JUNE 11, 2015 (inset); Illustration by Moonrunner Design

мы взяли проверить, насколько часто положение структурных особенностей карты анизотропии (областей повышенной и пониженной температуры, но не так ярко выраженных, как холодное пятно) коррелирует с положениями скоплений галактик и с открытыми ранее небольшими войдами. Статистический анализ выявил, что такая корреляция встречается довольно часто. Хотя ни одна из исследованных структурных особенностей не в состоянии объяснить большое холодное пятно, однако наличие корреляций на более мелких масштабах побудило исследователей работать дальше.

Была составлена программа наблюдений для международного телескопа (Канада — Франция — Гавайи), в ходе которой было снято несколько небольших полей, совпадающих с положением холодного пятна, и посчитано количество галактик в них. Увы, никаких указаний на наличие сверхвойда в месте, предсказанном группой Рудника, обнаружено не было. Существование сверхвойда на расстояниях свыше 3 млрд световых лет было исключено, что подтвердилось отрицательными результатами группы Малколма Бремера (Malcolm Bremer) из Бристольского университета.

В то же время статистическая значимость предсказаний Рудника была заново вычислена и оказалась ниже, чем полагали раньше. Другими словами, встал вопрос о целесообразности попытки объяснения холодного пятна с помощью интегрального эффекта Сакса — Вольфа. Но нет худа без добра: была найдена подсказка, как можно искать сверхвойд совсем рядом с нами.

Как ни парадоксально это звучит, поиск гигантской области пустоты вблизи нас оказался сложнее. Дело в том, что чем дальше наблюдаемое поле, тем больше его реальный физический размер и, следовательно, тем аккуратнее нужно подсчитывать количество галактик в этом поле. Близко же к нам, в меньших объемах, статистическая значимость низка. Таким образом, вероятность того, что малое число близких галактик указывает на наличие сверхвойда, составляет 75%. Это не слишком высокая вероятность, чтобы утверждать что-то наверняка. Необходимо иметь участки неба гораздо большей площади, охватывающие в совокупности фактически все холодное пятно. Доступные телескопы не давали нужного охвата.

Счастливый случай

Через несколько лет в наше распоряжение попали новые данные. В то время я распрощался со своими коллегами Гранеттом и Нейринком, с Гавайским астрономическим институтом и был занят работой над новым телескопом *PSI*, первой обсерваторией Обзорного панорамного телескопа и Системы быстрого реагирования (*Pan-STARRS*). Мы возлагали большие надежды на этот телескоп.

В обсерватории была установлена самая большая в мире камера с разрешением в 1,4 гигапикселя. Телескоп расположен на высоте около 3 км над уровнем моря на вулкане Халеакала на острове Мауи. В мае 2010 г. в ходе сотрудничества ряда университетов мы с коллегами начали картирование трех четвертей неба телескопом *PSI*. Мне припоминается разговор с Ником Кайзером (Nick Kaiser), который позже стал главой телескопа *PanSTARRS*, о том, что в первую очередь необходимо провести наблюдения области холодного пятна, — но, хотя положительного решения и не было принято, область холодного пятна попала в зону наблюдений, которые должны были вестись первые несколько лет. В ожидании данных, которые начали понемногу поступать, параллельно продолжались поиски сверхвойда в новых картах анизотропии реликтового излучения, полученных в результате работы космической миссии *Planck*, а также независимо по каталогам инфракрасных изображений галактик, полученных с помощью Глубокого инфракрасного обзора (*WISE*). Вместе со студентом Андрашем Ковачем (András Kovács) мы начали работу над этими данными. В частности, проводились поиски областей, содержащих небольшое число галактик, в каталоге *WISE* — и одна из найденных областей по расположению совпала с холодным пятном.

Ковач встречался со мной на Гавайях несколько раз. Летом я побывал в столице Венгрии, где Ковач учился в Университете им. Лоранда Этвеша. Кроме того, мы поддерживали ежедневные телестолы и вследствие 12-часовой задержки между Гонолулу и Будапештом наши диалоги часто продолжались далеко за полночь по европейскому времени. Во время одной из таких сессий я попросил Ковача поискать самую большую область низкой плотности галактик, другими словами, самый большой войд, в *WISE*-каталоге галактик. Спустя несколько дней Ковач прислал по электронной почте письмо с изображениями и координатами самых больших войдов каталога. Читая его сообщение, я сразу же понял, что положение одной из таких пустот совпало с областью холодного пятна на карте анизотропии реликтового излучения. До этого момента я не говорил Ковачу о своем поиске связей сверхвойда и холодного пятна, и открытие стало чрезвычайно воодушевляющим, потому что исследования Ковача оказались совершенно непредвзятыми — он не надеялся отыскать войд в определенной «желаемой» области. Поскольку все галактики *WISE*-каталога расположены в достаточной близости от нас, это было указанием на то, что сверхвойд, быть может, следует искать где-то рядом.

Открытие и первоначальные подсказки разделяли годы работы. Использовались данные *WISE*, *Pan-STARRS* и проекта двухмикронного Обзора всего неба (*2MASS*), но прежде всего нужно было определить расстояния до галактик. Один

из способов определения реального физического расстояния до некоторого объекта — измерить красное смещение этого объекта, то есть смещение электромагнитного спектра излучения в красную сторону. Чем дальше расположена галактика, тем быстрее она удаляется от нас и тем больше величина ее красного смещения. Несмотря на то что исследователи не могли измерить красное смещение интересующих их галактик, они смогли оценить его приблизительно, анализируя цвета галактик, сравнивая их с цветами галактик без красного смещения и используя разные цветные фильтры. Наконец в области холодного пятна все галактики были снабжены оценками расстояний, то есть была построена трехмерная карта этой области. Далее была сделана серия срезов — наборов плоских картинок, каждая из которых соответствовала некоторому расстоянию до наблюдателя. Первый набор изображений выглядел примерно как вертикальные ломтики яблока, в центре которого скрывался сверхвойд, который имел примерно сферическую форму. Оказывается, гигантская пустая область скрывалась совсем близко от нас, на расстоянии около 3 млрд световых лет, и именно поэтому ее было так трудно обнаружить. Исследование статистики данных показало, что существование сверхвойда подтверждается в подавляющем большинстве случаев. Другими словами, в месте расположения холодного пятна на карте анизотропии реликтового излучения с большой вероятностью существует огромная пустая область. Эта область действительно гигантская — ее поперечный размер составляет около 1,8 млрд световых лет. Возможно, это самая большая структура, найденная учеными в космосе. И область эта довольно редка — по оценкам, их должно быть всего несколько в пределах видимой Вселенной.

О природе холодного пятна

Итак, по мнению отдельных исследователей, в том числе и автора этой статьи, искомый сверхвойд найден. Скопления галактик и войды галактических масштабов коррелируют с пятнами повышенной и пониженной яркости на карте анизотропии реликтового излучения. Предположительно найденный сверхвойд совпадает в своем положении с большим холодным пятном на карте анизотропии. Решена ли задача? Не совсем, даже при самых оптимистических ожиданиях. Даже такое пространственное совпадение не доказывает, что одно обуславливает другое. Возможно, что совпадение случайно. Вероятность случайности, по оценкам автора статьи, мала: частота события, что сверхвойд послужил причиной появления холодного пятна, в 20 тыс. раз больше, чем частота случайного совпадения их положений. Есть и еще проблема, гораздо более серьезная. Совпадения положений недостаточно, важен и размер

сверхвойда. Для того чтобы объяснить пониженную температуру холодного пятна относительно средней анизотропии, размер сверхвойда должен быть даже больше, чем это предварительно оценено, в два, а быть может даже в четыре раза. Неопределенность настолько велика, что многие космологи еще более уверенно приписывают случайности совпадение положений сверхвойда и холодного пятна. Звучат предложения искать другие объяснения, например с помощью имитации интегрального эффекта Сакса — Вольфа меньшим против ожидаемого излучением галактик. Кроме того, хотя, по моему мнению, наблюдения доказывают существование сверхвойда, все равно необходимо более точно определить его пространственную геометрию. Если, например, сверхвойд вытянут по направлению луча зрения или несколько меньших войдов в проекции имитируют один большой (конструкция типа снеговика), то происхождение холодного пятна становится объяснить легче.

Трудностей много. Необходимо больше данных, чтобы сказать что-то определенное. Уже планируются новые наблюдения на *PSI* полного неба, а не только начальной частичной области. Больше количество наблюдательных данных позволит уменьшить неопределенность результата.

Кроме того, большая статистика данных поможет выявить расхождения в наблюдениях и теории, которая предсказывает размеры и формы таких сверхвойдов. Это может оказаться очень интересным для проверки альтернативных теорий гравитации, которые расходятся с теорией относительности на сверхбольших масштабах, — с этой точки зрения сверхвойд представляет собой уникальный объект для исследования альтернативных гравитационных теорий.

В любом случае открытие такого не имеющего аналогов объекта, как гигантская область пустоты, поможет космологам лучше понять крупномасштабную структуру Вселенной, а также, возможно, прольет свет на нерешенную проблему состава темной энергии, предоставит шанс вскрыть глубинные свойства гравитации. В ближайшие годы планируются новые наблюдения и новые исследования сверхвойда для понимания мира, в котором мы живем. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Старкман Г., Шварц Д. Хорошо ли настроена Вселенная? // ВМН, № 11, 2005.
- Detection of a Supervoid Aligned with the Cold Spot of the Cosmic Microwave Background. István Szapudi et al. in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 450, No. 1, pages 288–294; June 11, 2015.