

Олег Фейгин
ВЗРЫВ
МИРОЗДАНИЯ



ЭВОЛЮЦИЯ . РАЗУМ . АНТРОПОЛОГИЯ

Annotation

Что такое Большой взрыв и черные дыры? Когда загорелись звезды? Как возникли первые галактические звездные острова? Каков будет вселенский «конец света»? Эти и многие другие вопросы современной астрономии, астрофизики и космологии увлекательно и популярно рассматриваются с учетом самых последних научных данных, полученных на Земле и в космосе.

Книга повествует об истории открытия расширения Вселенной и возникновении нашего мира по сценарию Большого взрыва; освещает современный подход физики и космологии к понятиям пространства и времени, галактической и звездной эволюции.

Эта книга – кратчайшая история нашего мира от Большого взрыва до последних черных дыр и разрыва пространства – времени.

- [Олег Фейгин](#)

-
-
- [Введение](#)
- [Глава 1. Тайна космологической сингулярности](#)
- [Глава 2. Под лавиной космологической инфляции](#)
- [Глава 3. Новорожденная вселенная](#)
- [Глава 4. Вселенское яйцо](#)
- [Глава 5. На просторах мультивселенной](#)
- [Глава 6. Гравитационный прибой](#)
- [Глава 7. Эволюция галактик](#)
- [Глава 8. Жизненный путь звезды](#)
- [Глава 9. Сверхновые, белые карлики и нейтронные светила](#)
- [Глава 10. Бездонные провалы пространства–времени](#)
- [Глава 11. Полет по червоточине](#)
- [Глава 12. Темные стороны мироздания](#)
- [Глава 13. Великий аттрактор](#)
- [Глава 14. Вселенская ось зла](#)
- [Глава 15. Соты метагалактики](#)
- [Глава 16. Космические диковины](#)
- [Глава 17. Солнечный замок в рукаве млечного пути](#)
- [Глава 18. Звезда по имени Солнце](#)

- [Глава 19. Смерть окружающего мира](#)
 - [Заключение. Космический год Карла Сагана](#)
 - [Приложение](#)
 - [Глоссарий](#)
-

Олег Фейгин

Взрыв мироздания

© Фейгин О. О., текст, 2016

© ООО «Страта», 2016

* * *

Грандиозна картина эволюции окружающего мира, расширения Вселенной от сверхплотного сверхгорячего состояния, с бурными реакциями между элементарными частицами, до современного, когда вещество распалось на гигантские системы небесных тел, возникли планеты и жизнь.

И. Д. Новиков. Эволюция Вселенной

Какой же ход логических рассуждений заставил эти видимые нами тесные пределы раздвигаться все больше и больше, теряясь в неизмеримой дали, так, что теперь человеческий разум не в силах ни объять Вселенную, о которой мы говорим, ни представить, насколько ничтожно по сравнению с ней все то, что нас окружает?

А. Азимов. Вселенная

Введение

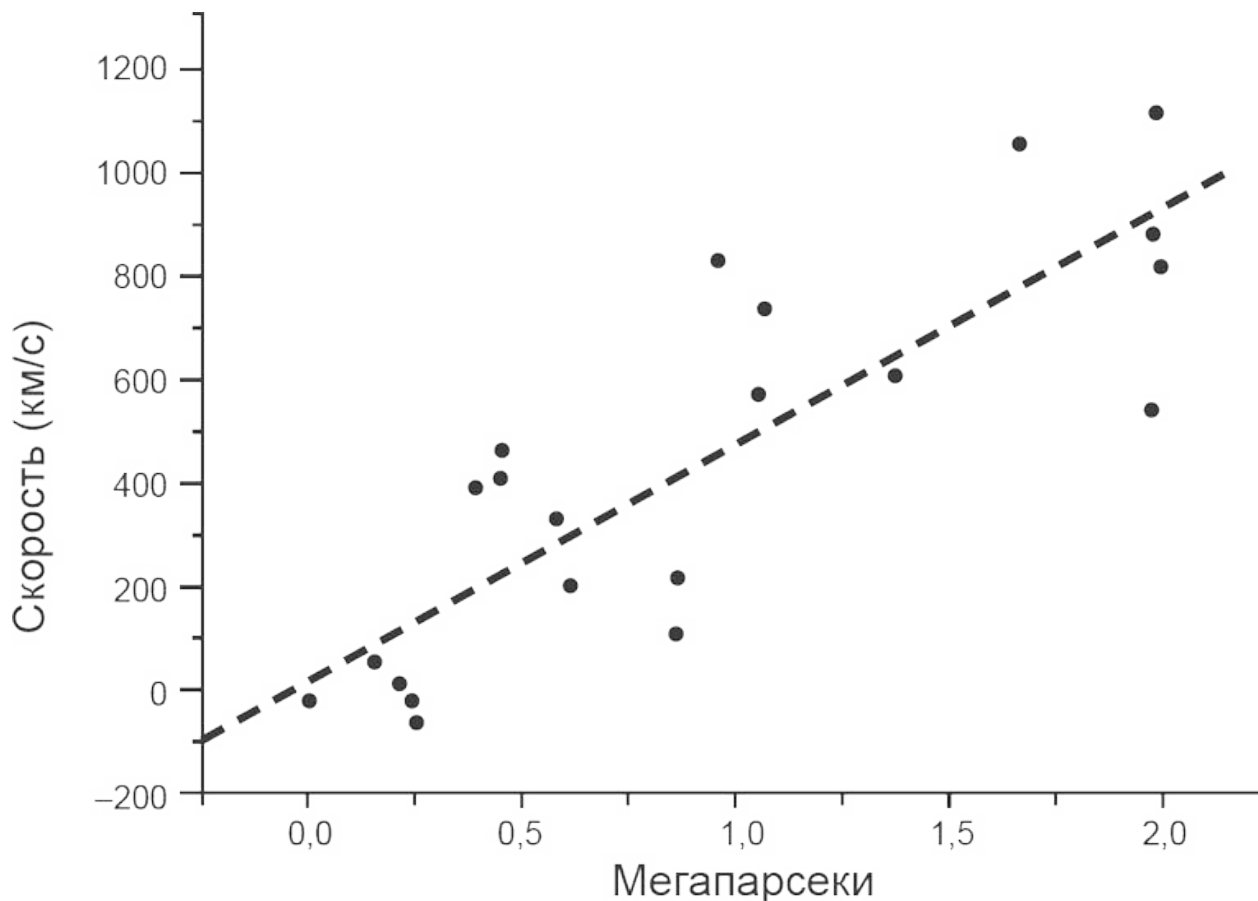
На протяжении веков величайшие умы человечества – Аристотель, Коперник, Кеплер, Галилей и Ньютон – считали окружающий мир однородным и неизменным. На эти же свойства Вселенной изначально опирался в своих построениях Эйнштейн. Создатель теории относительности считал, что Вселенная в целом не эволюционирует, пребывая в застывшем состоянии, и никак не подвластна ходу времени. Правда, в отдельных местах Метагалактики могут возникать и гаснуть звезды и даже целые галактики, но общая картина мира остается принципиально неизменной. Однако реальная Вселенная оказалась совершенно иной, не статически застывшей, а динамичной и развивающейся: вещество Вселенной не может находиться в покое – оно должно либо расширяться, либо сжиматься.

Сегодня мы более-менее достоверно знаем, что наша Вселенная возникла из «ничего» в результате чудовищного катаклизма, получившего название «Большой взрыв».

В конце сороковых годов прошлого столетия битва между сторонниками вечной и неизменной Вселенной и расширяющимся миром достигла своего апогея. В то время одним из главных противников динамической эволюционирующей модели был британский астроном Фред Хойл.

Что же именно «взорвалось» и что вообще существовало до Большого взрыва, судя по всему надолго еще останется одной из самых жгучих загадок мироздания....

Современная космология, как наука о Вселенной в целом, построена на фундаменте релятивистской теории тяготения – общей теории относительности Эйнштейна. Из уравнений Эйнштейна следует, что массивные тела прогибают пространство, как резиновую пленку, вследствие чего кривизна пространства – времени связана с плотностью массы и энергии. Впервые применив общую теорию относительности к Вселенной в целом, Эйнштейн с изумлением обнаружил, что она должна изменяться со временем. Однако внутренне творец и бунтарь Эйнштейн был все же уверен, что мироздание стационарно и его структура постоянна в пространстве и времени. Поэтому он ввел в полученные уравнения дополнительное слагаемое, обеспечивающее неизменность Вселенной.



Современный вид диаграммы Хаббла

Можно подойти к вопросу о хаббловском расширении космоса, используя более привычные, интуитивные образы. Например, представим себе солдат, выстроенных на площади с интервалом 1 м. Пусть затем подается команда раздвинуть за одну минуту ряды так, чтобы этот интервал увеличился до 2 м. Каким бы образом команда ни выполнялась, относительная скорость двух рядом стоящих солдат будет равна 1 м/мин, а относительная скорость двух солдат, стоящих друг от друга на расстоянии 100 м, будет 100 м/мин, если учесть, что расстояние между ними увеличится от 100 до 200 м. Таким образом, скорость взаимного удаления пропорциональна расстоянию. Отметим, что после расширения рядов остается справедливым космологический принцип: галактики-солдаты по-прежнему распределены равномерно, между различными взаимными расстояниями сохраняются те же пропорции.

Т. Редже. Этюды о Вселенной

В начале прошлого века замечательный петербургский математик Александр Фридман оспорил выводы признанного гения и доказал, что мир, заполненный веществом, должен расширяться или сжиматься. Полученные Фридманом уравнения лежат в основе современной космологии. Несколько позже выдающийся американский астроном Эдвин Хаббл пришел к выводу о том, что далекие галактики уходят от нас со скоростью, пропорциональной расстоянию.

Чем дальше галактика, тем больше ее скорость, а коэффициент пропорциональности получил название постоянной Хаббла. Этот вывод Хаббл получил на основе физического эффекта «красного смещения», проявляющегося в покраснении цвета галактик при их удалении. Астрофизики сразу же заподозрили, что в этом виноват эффект Доплера: приближаясь волны становятся короче, а удаляясь – длиннее.

Для звуковых волн это явление впервые исследовал акустик Кристиан Доплер: если к нам приближается электричка, то мы слышим гудок высокого тона, а когда она проносится мимо, высокий тон переходит в низкий. Эта ситуация полностью справедлива и для электромагнитных волн (см. *цветную вклейку*).

В астрономии по доплеровскому сдвигу частоты испускаемого света судят о скорости движения небесных тел. Наблюдение доплеровского сдвига частот света удаленных галактик в виде так называемого красного смещения свидетельствует о том, что все галактики удаляются от нас со скоростями примерно до половины скорости света, возрастающими с расстоянием.

Это было достаточно неожиданно, ведь в то время считалось, что галактические скопления движутся хаотично, и количества приближающихся и удаляющихся объектов примерно одинаковы. Так появилась знаменитая статья Хаббла *«Связь между расстоянием и лучевой скоростью внегалактических туманностей»*, в которой астроном доказывал, что далекие галактики разлетаются от нас во всех направлениях со скоростью, пропорциональной расстоянию до них. Впоследствии эта зависимость получила название закона разлета Хаббла, а коэффициент пропорциональности между скоростью и дистанцией – постоянной Хаббла.

Таким образом, теоретические модели расширяющейся Вселенной теории относительности получили неожиданное подтверждение при наблюдении эффекта красного смещения для дальних галактик. При этом расширение происходит одновременно в каждой точке и у него нет центра. В какую бы галактику мы ни попали, нам будет казаться, что все другие дальние галактики удаляются с красным смещением, пропорциональным

расстоянию до них.

Само пространство как бы раздувается. Это ясно из примера с воздушным шариком: если нарисовать на нем галактики и начать надувать его, то расстояния между ними будут возрастать, причем тем быстрее, чем дальше они расположены друг от друга. Следует сразу сделать замечание, что при всей своей общей наглядности такая модель неточна, ведь в ней сохраняется только взаимное расположение галактик, а сам размер их ассоциаций растет. Правильнее было бы наклеить группы различных галактик на поверхность шара-Вселенной. Тогда их размеры действительно не будут меняться, и из любой точки мы увидим разбегающиеся системы галактик.

Сейчас трудно сказать, кому же из физиков или астрономов пришла первая мысль об обратном отсчете времени, настолько это кажется очевидным. И действительно, если сегодня группы галактик стремительно разлетаются во все стороны, то когда-то в момент их рождения они должны были бы занимать гораздо меньший объем. А дальше вся Вселенная вообще должна бы сжаться в точку...

Современные расчеты показывают, что рождение нашего мира произошло где-то 13,7 млрд лет назад. Именно тогда по не совсем ясным причинам возник вселенский катаклизм, чем-то (но далеко не всем!) напоминающий взрыв с разлетающимися во все стороны частицами и полями.

Современная теория Большого взрыва позволила объяснить множество проблем, стоявших перед космологией, правда, возникли и новые вопросы:

Что было до Большого взрыва?

На что же был похож Большой взрыв?

Почему наше пространство имеет нулевую кривизну геометрии Евклида?

Почему Вселенная сравнительно однородна, ведь при любом взрыве вещество разлетается в разные стороны неравномерными осколками?

Что привело к начальному разогреву новорожденной Вселенной до невообразимо высокой температуры?

Глава 1. Тайна космологической сингулярности

...В этот момент нарушается математически корректное описание геометрии пространства – времени. Такое свойство характерно для большинства физически приемлемых решений уравнения Эйнштейна. Существование таких сингулярностей наводит на мысль о некоторой неадекватности общей теории относительности. Очень может быть, что некая будущая теория окажется свободной от такого «греха».

Впрочем, некоторые космологи полагают, что как раз и следует ожидать нечто подобное сингулярности, ибо образование Вселенной – событие особенное. Если до нулевого момента ничего не существовало, то «акт творения» знаменует собой полнейшее нарушение закона сохранения вещества и энергии. Такое нарушение фундаментальных законов физики можно объяснить только предполагая существование сингулярности.

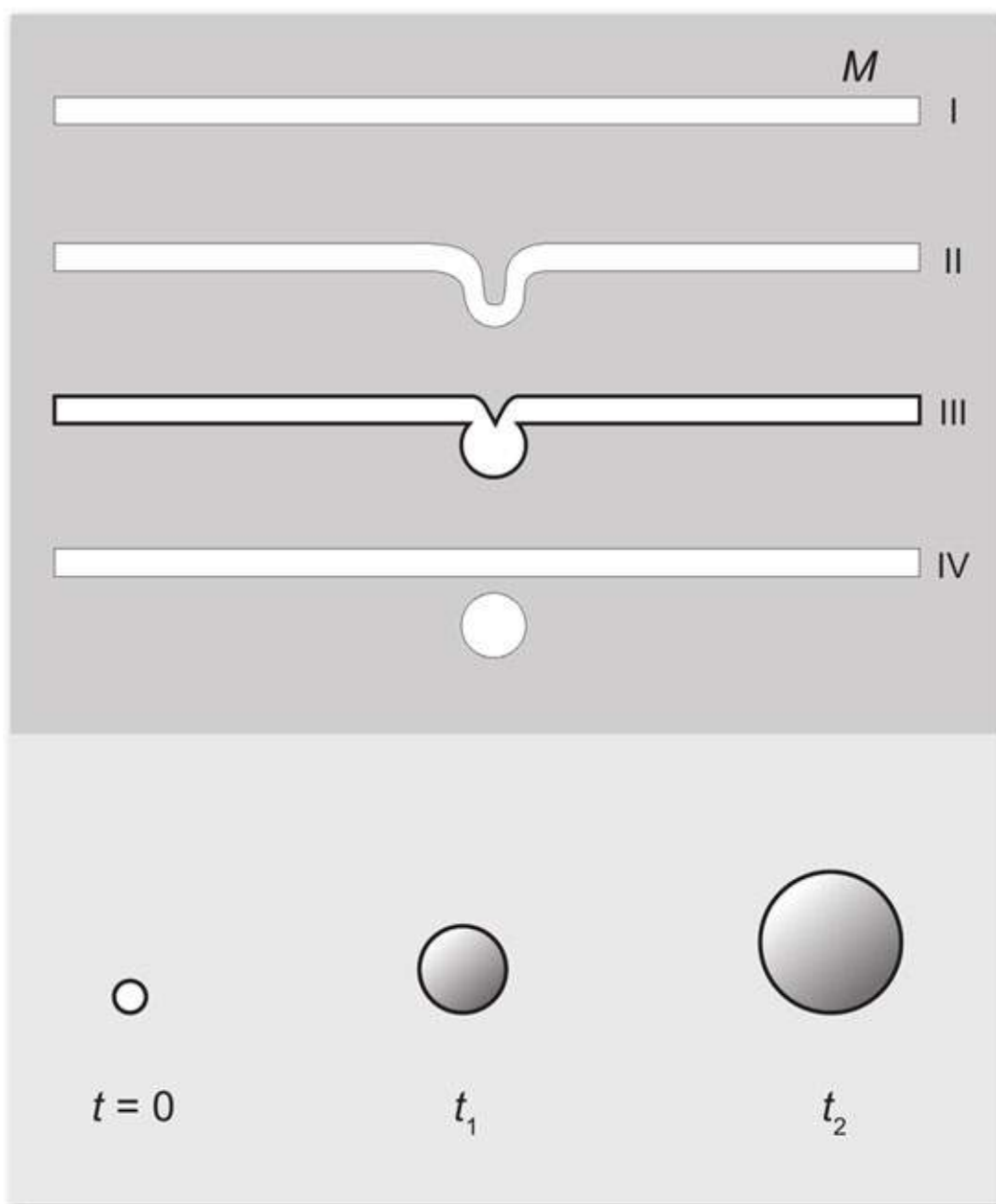
Дж. Нарликар. Неистовая Вселенная

Проходят миллиарды лет, пока становятся зримо видны изменения в строении галактик или в структуре составляющих их звезд. И астрономы, если они хотят исследовать какой-либо долговременный космический процесс, должны запускать «машину времени воображения» на основе логического мышления. Ведь если галактики в настоящий момент разлетаются во все стороны, то вполне можно представить обратный ход событий. Тогда, перематывая назад кадры вселенского кино естественной истории, мы увидим, как материя сожмется в одну точку.

Как гласит теория Большого взрыва, Вселенная возникла из точки с нулевым объемом и бесконечно высокими плотностью и температурой. Это состояние, называемое сингулярностью, не поддается математическому описанию, оно характеризуется огромной плотностью массы и кривизной пространства.

С сингулярности началось взрывное расширение Вселенной. По неизвестным нам (пока) причинам в один прекрасный миг сингулярная точка взорвалась, и с той поры ее вещество все время расширяется, преобразуясь, распадаясь и самоорганизовываясь. Может быть, через многие миллиарды лет расширение сменится сжатием до новой сингулярной точки...

Как ни малы или велики масштабы окружающего мира, их все же можно как-то оценить рядом сопоставлений. Значительно труднее представить себе, что значит «начало начал» нашего мира. Здесь один из главных вопросов связан с тем состоянием Вселенной, которое предшествовало «начальному моменту». Получается, что наш мир как бы вдруг появился «из ничего»? Очень часто процесс Большого взрыва иллюстрируют картиной, напоминающей взрыв мины или гранаты, когда в пространстве рождаются и разлетаются частицы и атомы, подобно осколкам и газам. Однако эта аналогия совершенно не объясняет, как же возникло и стало стремительно расширяться само пространство – время.



Один из сценариев рождения нашего мира

Рождение замкнутой Вселенной (шарик на последней части IV рис.) из плоского мира Минковского (М на стадии I). На промежуточных стадиях, вдали от флуктуации, приводящей к рождению (отщеплению) шарика, метрика остается плоской («минковской»). Спонтанное рождение мира «из ничего». До момента $t = 0$ метрика (и, в частности, время) не существовала.

Я. Б. Зельдович. Возможно ли образование Вселенной

«из ничего»?

Подобные вопросы еще сравнительно недавно если и озвучивались, то получали единый, можно сказать, хрестоматийный ответ: это лежит за гранью науки. Тут приводилось понятие космологической сингулярности стянутой в точку материи Вселенной с бесконечными (правильнее сказать – стремящимися к бесконечности) плотностями вещества и энергии. Стена космологической сингулярности долго закрывала сущность того, что же и почему взорвалось. Конечно, долго такое положение в космологии продолжаться не могло, и в шестидесятых годах прошлого века стали появляться «запредельные» сценарии рождения нашего мира из ничего.

Естественно, бесконечность – понятие математическое, и в нашем случае оно просто обозначает рамки применимости тех или иных моделей развития Вселенной, которые ученые называют *космологическими сценариями*. Что происходит в области сингулярности (да и существует ли она в реальности?), не знает никто, но логически очевидно, что там становятся неприменимы многие законы привычного для нас мира, описываемые теорией относительности и квантовой физикой.

Одними из первых свои версии предложили академики Яков Зельдович и Андрей Сахаров. По мысли этих выдающихся российских физиков, прежде всего надо было выяснить, не противоречит ли само предположение об образовании Вселенной «из ничего» основным законам сохранения, которые являются фундаментом современной физики. Причем нужно учесть, что самый общий закон сохранения материи в самых различных процессах так и формулируют: «из ничего не может получиться ничего». Подобную формулировку академики Зельдович и Сахаров отвергали «с порога», считая ее наивной и ненаучной, поскольку есть закон сохранения энергии и электрического заряда.

* * *

Прежде всего рассмотрим закон сохранения электрического заряда. Тут вроде бы все ясно и достаточно очевидно – запрета на рождение электронейтральной Вселенной пока еще никто не выявил, и наш мир вполне может содержать равное количество как положительных, так и отрицательных зарядов. Почему мы склоняемся именно к такой структуре мироздания? Тут можно рассуждать от противного: ведь если бы положительное и отрицательное электричество не компенсировали друг

друга, то вокруг постоянно бушевал бы электрический шторм – возникали бы и тут же гасли сильнейшие электрические поля, разрушая однородность нашего мира.

Итак, Вселенная, судя по всему, строго нейтральна и вполне могла возникнуть «из ничего», не противореча закону сохранения электрического заряда.

Теперь следует проанализировать выполнение закона сохранения барионного заряда. Ядро любого атома состоит из равного количества протонов и нейтронов, поэтому для стабильности материи на атомарном уровне требуется постоянство суммы этих частиц. Ведь даже радиоактивность атомных ядер проявляет себя либо как перегруппировка нейтронов с протонами, либо как взаимные превращения нейтронов в протоны, и наоборот. Если бы закон сохранения барионного заряда не выполнялся, то протон, одна из основных ядерных частиц, как в свободном, так и в связанном ядерном состоянии был бы нестабильным, периодически распадаясь с выделением громадной энергии. Поскольку этого еще никто не наблюдал, то и вся Вселенная, возникшая «из ничего», должна иметь нулевой барионный заряд.

Рассмотрим закон сохранения энергии для Вселенной в целом? Напомним, что энергия покоящихся частиц эквивалентна ее массам – следовательно, сохранение энергии покоя эквивалентно сохранению массы. Мы уже знаем, что общая теория относительности связывает геометрию пространства и тяготение. При этом релятивистская теория гравитации Эйнштейна делает вывод: в замкнутом мире отрицательная энергия гравитации должна в точности компенсировать положительную энергию тяготеющей материи. Таким образом энергия «ничего» равна нулю, как и энергия замкнутой Вселенной. Поэтому закон сохранения энергии не должен противоречить образованию «из ничего» геометрически замкнутого мироздания. Вот так общая теория относительности устраняет последнее препятствие на пути возникновения нашего мира «из ничего».

Но что же в действительности вызвало Большой взрыв? Для ответа понадобилось полвека исследований, в результате которых выстроилась одна из самых удивительных в современной космологии гипотез рождения мироздания. Трудно даже перечислить всех физиков, астрономов и космологов, принесших свои оригинальные идеи на алтарь науки. Больше всего их было сформулировано в работах выдающихся физиков прошлого и нынешнего столетия: Джона Уилера, Стивена Хокинга, Якова Зельдовича, Андрея Сахарова и Игоря Новикова. Их суть сводится к тому, что наша Вселенная является результатом развития гигантского искажения некоего

суперпространства.

Постепенно «стандартную» теорию возникновения нашего мира сменила оригинальная разработка видных российских физиков Эраста Глинера, Алексея Старобинского, Давида Киржница и Андрея Линде. В этом космологическом сценарии описывалось рождение Вселенной в процессе сверхбыстрого расширения: инфляции. Основой для описания этого явления послужили общая теория относительности Эйнштейна и хорошо изученный раздел теоретической физики – квантовая теория поля.

Еще совсем недавно у физиков существовало своеобразное табу на исследование пространства и времени за границей рождения Вселенной. Сейчас уже возникло довольно много теорий, описывающих, как могло выглядеть то очень таинственное нечто, в чем и возник наш мир. Во-первых, это, конечно же, должно быть не обычное состояние иного пространства – времени. Ведь в нашей повседневной реальности вокруг не рождаются новые Вселенные! И даже если бы это происходило, мы просто перенесли бы вопросы рождения мироздания в эту старую Вселенную, а потом в еще более старую, и так далее.

В математике такой процесс хождения по кругу одних и тех же понятий носит название «дурная бесконечность» и он по определению не способен дать чего-либо нового познанию. Поэтому физики и рассматривают среду, где возник наш мир, как суперпространство со многими измерениями.

Для наглядности достаточно взять лист бумаги и представить, что на нем находится наше мироздание нулевой толщины, тогда окружающее лист пространство и будет моделью исходного суперпространства.

И тут возникает очень любопытная логическая головоломка. Ведь если геометрического центра Большого взрыва не существует, и он происходил (а по некоторым теориям и происходит «повсюду»), то где-то вокруг нас и спрятано суперпространство. Первые подозрения, как всегда в подобных случаях, вызывают так называемые сугубо квантовые объекты.

Для тех, кто совсем не знаком с основами квантовой механики, поясним, что это сверхмикроскопические частицы, ведущие себя совершенно непостижимым образом. Если представить наше мироздание состоящим из этажей, то эти удивительные частицы будут обитать в подвале, где-то вблизи самого фундамента мира. Там, в кажущейся пустоте вакуума, постоянно бушуют шторма физических полей, периодически заставляя его выплескивать энергию (флуктуировать) на более высокие масштабные этажи материи. При этом в сверхпространстве возникает вереница возмущений (по-научному – топологических аномалий), чем-то

напоминающих пузырьки в пенящейся жидкости. Внутри каждого пузырька существует особенный мир и собственное время, стрелка которого пробегает краткий миг от рождения до схлопывания. Подавляющая доля таких миров-пузырьков имеет невообразимо малый период существования, но при этом они успевают проявить себя как полноценные замкнутые мини-вселенные.

Что же задержало в свое время квантовый пузырек нашей Вселенной от практически мгновенного схлопывания? Первично неустойчивое состояние вакуума в результате образования пузырька новой Вселенной могло привести к тому, что внутри возникшего мира вакуум начал неожиданно менять свои свойства, стремясь к новому устойчивому пределу. Этот процесс перестройки вакуума должен по теоретическим расчетам сопровождаться гигантским выделением энергии, результатом чего и явился Большой взрыв. Этот процесс можно представить как своеобразный взрыв вакуума – взрыв непустой пустоты!

Естественно, грандиозный масштаб таких взрывных процессов, скрывающихся в окружающем нас мире, вызывает очень много вопросов к новой космологии. Однако исторический опыт науки, особенно последних десятилетий, показывает плодотворность подобных смелых попыток заглянуть за границу известного.

Рождение и гибель виртуальных Вселенных является близким аналогом хорошо известного в квантовой физике эффекта поляризации вакуума – рождения и гибели виртуальных пар частиц-античастиц.

Физиков всегда интересовала природа движущих сил и сам изначальный процесс Большого взрыва. Именно поэтому сейчас предпринимаются многочисленные попытки построить универсальную теорию, которая была бы применима к любым этапам эволюции нашей Вселенной. Поскольку в первые мгновения после Большого взрыва самой главной силой была гравитация, считается, что достичь этой цели возможно только в рамках пока гипотетической квантовой теории гравитации.

Одно время физики надеялись, что квантовая гравитация будет описана с помощью теории суперструн.

Объектами этой теории являются разнообразные струны и многомерные мембраны, которые летают в пространстве и времени сверхмикроскопического мира. Однако у этой теории есть свои трудности, и сейчас теоретики стали уделять больше внимания иным подходам к описанию среды, из которой возникла Вселенная, в частности, петлевой квантовой гравитации.

Именно в рамках петлевой квантовой гравитации недавно был получен очень впечатляющий результат. Оказывается, из-за квантовых эффектов начальная сингулярность исчезает. Большой взрыв перестает быть особой точкой, и удастся не только проследить его протекание, но и заглянуть в самое таинственное досингулярное прошлое.

Уже многие столетия, начиная с античных времен, естествоиспытатели и философы задаются вопросом: не из дискретных ли частей состоят пространство и время? Действительно ли окружающий нас объем непрерывен, или больше похож на кусок ткани, сотканной из отдельных волокон? Если бы мы могли наблюдать чрезвычайно малые объекты, то увидели бы атомы пространства, неделимые мельчайшие частицы объема? А как быть со временем: плавно ли происходят изменения в природе, или мир развивается крошечными скачками, словно компьютер?

За последние годы ученые заметно приблизились к ответам на эти вопросы.

Согласно теории со странным названием «петлевая квантовая гравитация» пространство и время действительно состоят из дискретных частей. Расчеты, выполненные физиками-теоретиками, описывают простую и красивую картину, которая помогает нам объяснить загадочные явления, относящиеся к зарождению нашей Вселенной и Большому взрыву. Но главное достоинство упомянутой теории заключается в том, что уже в ближайшем будущем ее предсказания можно будет проверить экспериментально, и ученые смогут обнаружить атомы пространства и времени, если они действительно существуют.

В петлевой теории гравитации главные объекты – невообразимо малые квантовые ячейки пространства, определенным способом соединенные друг с другом. Их связью и состоянием управляет некое внутреннее поле. Величина поля – некий «таймер» для ячеек: переход от слабого поля к более сильному выглядит совершенно так, как если бы существовало прошлое, которое способно повлиять на будущее.

Этот закон устроен так, что для достаточно большой Вселенной с малой концентрацией энергии ячейки как бы сплавляются друг с другом, образуя привычное нам «сплошное» пространство – время.

Многие космологи и астрофизики утверждают, что всего этого уже достаточно, чтобы решить задачу о том, что происходит с Вселенной при приближении к сингулярности. Решения полученных ими уравнений показали, что при экстремальном сжатии Вселенной пространство рассыпается, квантовая геометрия не позволяет уменьшить его объем до нуля, неизбежно происходит остановка и вновь начинается расширение.

Эту последовательность состояний можно отследить как вперед, так и назад во времени, а значит, до Большого взрыва должен быть еще и Большой хлопок – коллапс «предыдущей» Вселенной. При этом свойства предыдущей Вселенной не теряются в процессе ее гибели, а передаются в нашу.

Впрочем, можно принять и точку зрения знаменитого космолога Стивена Хокинга.

Несмотря на полный паралич и невозможность общаться обычным способом именно его мощный интеллект управляет той исторической кафедрой, которую когда-то занимал великий Ньютон. Кроме чтения лекций (с помощью синтезатора речи) Хокинг пишет научно-популярные книги и создает интереснейшие научные гипотезы, всегда находящиеся на самом переднем крае научного познания. Хокинг считает, что все наши космологические теории основаны на предположении, что пространство – время гладкое и почти плоское. Это означает, что все данные теории нарушаются в момент Большого взрыва, ведь пространство – время бесконечной кривизны трудно назвать почти плоским! Таким образом, если что-то и предшествовало Большому взрыву, оно не даст ключа к пониманию того, что случилось позже, потому что предсказуемость нарушается в момент Большого взрыва. Аналогично, зная только то, что случилось после него, мы не можем определить, что было раньше. По мнению Хокинга события, предшествовавшие Большому взрыву, не могут иметь никаких последствий для нас и поэтому не должны приниматься в расчет при научном описании Вселенной.

Глава 2. Под лавиной космологической инфляции

В настоящее время физики вынашивают мысль, что Вселенная в ее первоначальном «игрушечном» состоянии, по-видимому, образовалась из ничего в результате случайного процесса и что, может быть, даже существует бесконечное число таких крошечных протовселенных, непрерывно образующихся в бесконечном объеме пустоты, и мы живем в одной из бесчисленного множества вселенных.

Впрочем, большинство физиков довольствуются тем, что прослеживают Вселенную вспять до Большого взрыва и тут ее оставляют. Есть значительная неуверенность относительно начальных стадий этого огромного феномена, а также перехода от Большого взрыва к Вселенной в ее настоящем виде. Самые ранние периоды эволюции Вселенной все еще за семью печатями.

А. Азимов.

Взрывающиеся солнца.

Тайны сверхновых

Представим себе горный склон, покрытый снегом, в который вкраплены разнородные мелкие предметы – камешки, ветки, кусочки льда. Кто-то, находящийся на вершине этого склона, слепил снежок и пустил его катиться с горы. Двигаясь вниз, снежок увеличивается в размерах, поскольку на него налипают новые слои снега со всеми вкраплениями. Чем больше размер снежка, тем быстрее он будет расти. Очень скоро снежный шарик превратится в огромный ком. Если склон заканчивается пропастью, то он полетит в нее, и скорость полета будет все время увеличиваться. Достигнув дна, ком разобьется, и его составные части разлетятся во все стороны.

Теперь опишем основные положения теории, используя приведенную

аналогию. Прежде всего, необходимо построить «арену действия» и для этого ввести гипотетическое поле, которое физики назвали «инфлатонным» (от слова «инфляция»). Это поле, как снег на склоне горы, заполняет собой все пространство. Благодаря случайным колебаниям оно принимает разные значения в произвольных пространственных областях и в различные моменты времени. Ничего существенного не происходит до тех пор, пока случайно не образовывается однородная конфигурация этого поля критического размера.

Сразу после этого пространственная область, занятая флуктуацией, начинает очень быстро увеличиваться в размерах, а учитывая стремление инфлатонного поля занять положение, в котором его энергия минимальна, процесс расширения приобретает лавинообразный характер, и по склону горы мчится снежный поток. Такое расширение продолжается невообразимо малую долю секунды, но этого хватает, чтобы диаметр Вселенной вырос почти до одного сантиметра.

Инфляция заканчивается, когда инфлатонное поле достигает минимума энергии – дальше падать некуда. При этом накопившаяся кинетическая энергия переходит в энергию рождающихся и разлетающихся частиц, иначе говоря, происходит нагрев Вселенной. Как раз этот момент и называется сегодня Большим взрывом.

Инфлатонная гора, о которой говорилось выше, может иметь очень сложный рельеф – включая разнообразные минимумы – долины и впадины, холмы и кочки. Снежные комья (будущие вселенные) непрерывно рождаются наверху горы колебаниями – флуктуациями – поля. Каждый ком может скатиться в любой из минимумов, породив при этом свою вселенную со специфическими параметрами. Новые вселенные могут существенно отличаться друг от друга как составом материи, так и физическими законами. Что же касается свойств нашей Вселенной, то они удивительным образом оказались приспособленными к тому, чтобы в ней возникла разумная жизнь. Другим вселенным в этом отношении, возможно, повезло меньше.

В последние десятилетия развитие космологии и физики элементарных частиц позволило более подробно рассмотреть самую начальную сверхплотную стадию инфляционного расширения Вселенной. Получается, что Вселенная рождалась в два приема: проходя стадию «увеличения объема», заполненного физическим полем, но не содержащим ни вещества, ни излучения, – и стадию появления вещества и излучения и последующего образования из него звезд, галактик, планет и всего прочего.

Ученые, разрабатывающие космологические сценарии инфляционного

рождения нашего мира, предлагают самые разнообразные физические механизмы этого процесса. Среди прочих гипотез выделяется оригинальностью теория вечной инфляции, предполагающая, что квантовые флуктуации, подобные тем, которым мы обязаны существованием нашего мира, могут возникать самопроизвольно и в любом количестве. Они способны давать начало рождению все новых и новых вселенных. Не исключено, что и наше мироздание вышло из флуктуационной зоны, сформировавшейся в мире-предшественнике. Точно так же можно допустить, что когда-нибудь и где-нибудь в нашей собственной Вселенной возникнет флуктуация, которая создаст юную вселенную совсем иного рода, тоже способную в дальнейшем к космологическому «деторождению». Можно пойти дальше и построить модель, в которой инфляционные вселенные возникают непрерывно, отпочковываясь от своих родительниц и находя для себя собственное место.

Случайные отклонения энергии физического вакуума, запускающие инфляционный процесс, могут случаться в неодинаковых формах. Это означает, что остывшие после инфляции вселенные отнюдь не копируют друг друга. Речь идет даже не о том, что они могут различаться по внешнему виду и потому эволюционировать по-разному. Вполне можно допустить, что в них устанавливаются различные физические законы или одни и те же законы, но с разными значениями фундаментальных физических постоянных (например, скорости света). Эти вселенные не обязательно будут обладать лишь тремя пространственными осями, число измерений может быть и другим.



Сценарий хаотической инфляции

Помните, мы говорили об искривлении пространства? Двухмерный мир на листе бумаги нетрудно изогнуть таким образом, что получится какая-нибудь незамкнутая поверхность, например, нечто похожее по форме на седло. А если очень уж постараться, то можно согнуть плоский лист и в замкнутую сферу.

Подобным же образом искривленное трехмерное пространство может быть разомкнутым, а может быть и замкнутым. Каким именно оно станет, зависит от многих обстоятельств. Например, если плотность материи в таком мире будет ниже некоей критической величины, то он окажется незамкнутым, сможет расширяться до бесконечности. Тогда луч света, выпущенный из какой-либо точки внутри него, никогда не вернется назад, разве что отразится, натолкнувшись на какую-либо преграду. Если же плотность вещества превысит некоторое критическое значение, то пространство окажется замкнутым. Оно будет то расширяться, то сжиматься, не выходя все-таки за некоторые пределы.

В свое время Ньютон полагал, что пространство плоское и бесконечное. Эйнштейн разрешил нашему миру быть не только безграничным и кривым, но и замкнутым. Новейшие данные, полученные в

процессе исследования реликтового излучения, свидетельствуют о том, что Вселенная вполне может быть замкнута сама на себя. Получается, что если все время удаляться от Земли, то в какой-то момент начнешь к ней приближаться и в конце концов вернешься назад, облетев всю Вселенную.

Наглядно такой пульсирующий замкнутый мир можно представить в виде резинового шара, который то раздувается, то спускает воздух. Разумеется, при всем старании нам вряд ли удастся раздуть камеру больше критического объема поверхности, за которым последует ее разрыв. В данном замкнутом пространстве свет, направленный в одну сторону, может облететь всю полость и вернуться с другой стороны, так и не вырвавшись наружу.

Видный физик-теоретик Моисей Марков создал математический образ подобного мира и назвал такие образования *фридмонами* – в честь впервые указавшего на возможность их существования российского ученого Александра Фридмана.

Удивительные вещи должны происходить в таком замкнутом мире. Попробуем описать их опять-таки при помощи упрощенной двухмерной аналогии. Пусть наши плоские существа живут теперь не просто на искривленной плоскости, а на поверхности сферы. Для наглядности можно воспользоваться моделью двумерного мира, населенного плоскими разумными существами. В таком мире действовали бы иные физические законы, и сила взаимодействия между двумя зарядами изменялась бы в другой пропорции от расстояния.

Двумерные существа, будучи соответствующим образом искривленными, могли бы жить на искривленной поверхности, например на сфере, центр которой недоступен для наблюдений их двумерными приборами. Они могли бы построить модель Вселенной как целого, безграничную, но конечную, содержащую конечное количество квадратных километров. Модель охватывала бы все, доступное их чувствам и физическим приборам, но с точки зрения внешнего наблюдателя их мир – лишь часть чего-то более обширного. Очевидно, вопрос, интересующий двумерных аборигенов, состоит в том, можно ли считать внутренность сферы с центром и охватывающее сферу внешнее пространство реально существующими, если до сих пор они себя никак не проявляли в сферическом мире и, может быть, никогда и не проявят? Нарисованная картина без особых проблем может быть перенесена и на трехмерные сферы, находящиеся в пустом (а пустом ли?) неискривленном (или даже искривленном) пространстве большего числа измерений.

Полностью замкнутый мир никоим образом, по идее, не проявляет

себя вовне: из него не проникают наружу даже световые лучи. Значит, снаружи он должен представлять для стороннего наблюдателя нечто, не имеющее ни размеров, ни массы, ни электрического заряда.

Таким образом, в нашем воображении вырисовывается фантастическая картина. Быть может, и наша Вселенная со всеми ее солнцами, млечными путями, туманностями, квазарами – всего лишь один из фридмонов. Впрочем, фридмоны не обязательно должны заключать в себе только гигантские мироздания. Их содержимое может быть и более скромным: например, лишь одна галактика, звезда...

Если исходить из теории фридмонов, получается, что любая элементарная частица в принципе может оказаться входом в иные миры. Проникнув через ее поверхность, мы можем очутиться в иной вселенной с трудновообразимым содержимым, причудливыми галактиками, странными цивилизациями. Оглянувшись же назад, мы бы увидели, что наша родная Вселенная сжалась до микроскопических размеров. Если бы мы захотели вернуться назад, пришлось бы снова проделать весь путь по коридору между мирами.

Путешествуя по различным фридмонам, мы встречали бы каждый раз новую реальность, и наше путешествие по иным мирам продолжалось бы бесконечно. Интересно, что такие путешествия могли бы привести не только к перемещениям в пространстве, но и во времени. Так, во всяком случае, полагает Стивен Хокинг со своими единомышленниками.

В свете открытий последних лет инфляционная гипотеза получила существенное подтверждение, а некоторые астрофизики считают, что она вполне способна произвести своеобразный переворот в космологии. Суть инфляционного сценария заключается в следующем.

Кроме колебаний напряженности электромагнитных полей существуют также флуктуации энергии гравитационного поля – вот эти флуктуации тоже должны были усилиться при раздувании Вселенной и превратиться в гравитационные волны. Их можно было бы заметить, анализируя реликтовое излучение, – и тогда наступил бы окончательный триумф инфляционной гипотезы.

Сама гипотеза говорит, что Вселенная до Большого взрыва была частью чего-то гораздо большего. Это «нечто» существовало и существует всегда, и материя в нем находится в бесструктурном состоянии – нет ни атомов, ни частиц. Потом наш кусочек этого «нечто» начал стремительно раздуваться и за малые доли секунды из микроскопического превратился в гиганта: Вселенная растянулась и стала большего размера, чем мы видим. Она и сейчас больше, ведь мы видим меньше одной сотой ее части.

Вселенная по инфляционному сценарию выглядит совсем иначе, чем в космологии Фридмана. Главное следствие из развития инфляционной Вселенной – это невообразимое множество миров, возникающих каждое мгновение и исчезающих в коллапсе Большого хлопка.

Наша Вселенная – отнюдь не весь мир, а только маленькая его часть. Можно ли в таком случае выйти за его границы и попасть в «параллельный мир»? Математически это выглядит так, что между «пузырями» вселенных всегда есть инфляционные области. А там пространство расширяется столь быстро, что никакой сигнал не может успеть его преодолеть. Практически это означает, что из одной части Вселенной в другую попасть нельзя – для этого нужно каким-то образом попасть назад в прошлое, в доинфляционную стадию, и только потом пойти в будущее по линии эволюции новой Вселенной. Это сейчас представляется физикам невозможным.

Из новой космологии также следует, что возможны вселенные с другими свойствами, например, с другими квантовыми законами. Из всей новой космологии есть очень важное для нашего мира следствие: вариантов будущего Вселенной множество.

Глава 3. Новорожденная вселенная

Хотя действие известных ныне физических законов и невозможно экстраполировать в прошлое до самого начального момента или даже в область, где вступает в силу квантовая теория гравитации, тем не менее можно построить модель Вселенной начиная почти с первой микросекунды ее существования с достаточной уверенностью, что ее физическая сущность понимается правильно. Проследить развитие Вселенной на протяжении этих первоначальных удивительно кратких мгновений – бесспорно, одно из самых величайших, буквально захватывающих дух дерзаний, которые когда-либо предпринимались наукой. Поистине невероятно, что удастся осмысленно описать состояние Вселенной в «возрасте» менее одной секунды!

П. Девис.

*Пространство и время в современной картине
Вселенной*

Когда Фридман впервые применил свои решения уравнений общей теории относительности ко всей Вселенной в целом, он получил настолько неожиданный результат, что некоторое время его оспаривал сам Эйнштейн. По Фридману получалось, что Вселенная, заполненная тяготеющим веществом, должна расширяться или сжиматься. Сегодня никто уже не пытается оспаривать полученные Фридманом уравнения и они лежат в основе всей современной космологии развивающейся и увеличивающейся Вселенной.

Оставалось понять, какие физические превращения происходили и происходят на различных стадиях расширения нашего мира. Одним из первых к исследованию данной интереснейшей проблемы рождения вещества нашего мира приступил видный американский физик русского происхождения Георгий Гамов. Именно он в сороковых годах прошлого века заложил основы фундамента современной космологии и космогонии –

модели «горячей Вселенной».

Согласно модели горячей Вселенной, плазма и электромагнитное излучение на ранних стадиях расширения Вселенной обладали очень высокой плотностью и энергией. В ходе расширения Вселенной эта температура неуклонно падала. Затем равновесие образовавшегося водорода и гелия с излучением нарушилось – кванты излучения уже не обладали необходимой для ионизации вещества энергией и проходили через него как через прозрачную среду. Температура обособившегося излучения продолжала снижаться и к нашей эпохе составила всего несколько градусов Кельвина.

Это излучение сохранилось до наших дней как эхо эпохи бурного рождения Вселенной в катаклизме Большого взрыва. Оно служит одним из главных доказательств не только реальности сценария «горячей Вселенной», но и самого Большого взрыва. Реликтовое излучение образует микроволновой фон Вселенной. Родившись в пучинах Большого взрыва, оно заполняет все окружающее пространство так, что, если бы мы могли видеть в микроволновом диапазоне, то видели бы небосклон, пылающий во всех направлениях.

После инфляционной стадии чрезвычайно быстрого расширения пейзаж младенческого космоса стал стремительно меняться. До 300-тысячелетнего возраста Вселенная представляла собой кипящий котел из электронов, протонов, нейтрино и излучения, которые взаимодействовали между собой и составляли единую среду, равномерно заполнявшую всю раннюю Вселенную. Общее расширение Вселенной постепенно охлаждало эту среду и, когда температура упала до значения нескольких тысяч градусов, наступило время для формирования стабильных атомов.

Одной из самых интригующих загадок астрономии является наличие *скрытой массы* Вселенной (или *темной материи*), возникшей почти сразу после Большого взрыва, в отличие от знакомых нам атомов. Астрономы уже давно подозревали, что с составом Метагалактики происходит что-то неладное. Сказать что-либо более точное об основном составе вещества нашей Метагалактики трудно, поскольку оно очень слабо взаимодействует с радиоволнами и светом, чем и объясняются трудности его обнаружения. Однако, как и «нормальная» материя, темная составляющая Вселенной обладает гравитацией, поэтому способна сама собираться в сгущения и притягивать «нормальную». Сегодня уже достоверно известно, что галактики окружены кольцеобразными ореолами (гало) из темной материи, которые в десятки раз массивнее видимых частей галактик.

Темная материя, возможно, играла очень важную роль в эволюции

нашего мира, служа теми гравитационными «зернами», которые вызывали увеличение плотности энергии в небольших областях пространства. Гравитационные силы этих областей притягивали к себе все окружающее вещество, становясь зародышами будущих галактик.

Астрономы предполагают, что важную роль на начальной стадии формирования галактик могли также играть черные дыры, собирая материю вместе посредством своей мощной гравитации. Новые открытия сверхмассивных черных дыр в центрах галактик только прибавляют в этом уверенности. Такая связь, естественно, вызывает вопрос и о том, что появилось сначала – галактика или черная дыра, хотя последние данные в большей степени указывают на то, что именно черные дыры формируют вокруг себя галактики.

До момента, который наступил примерно через миллион лет после начала расширения, Вселенная была непрозрачной для квантов света. Поэтому с помощью электромагнитного излучения нельзя заглянуть в предшествующую эпоху. На сегодняшний день это можно сделать только с помощью воображения и теоретических моделей.



Сценарий эволюции горячей Вселенной

Очень долго (и окончательно споры еще не утихли) ученые обсуждали вопрос: почему окружающая природа состоит из материи, а не антиматерии, и существуют ли антимирры во Вселенной.

Вначале расширения Вселенной ее температура была столь высока, что энергии хватало для рождения пар всех известных частиц и

античастиц. Затем температура понизилась, так что почти все частицы и античастицы взаимно уничтожились – аннигилировали, превратившись в излучение. А фотоны, энергия которых к этому времени стала меньше, уже не могли порождать частицы и античастицы.

Наблюдения реликтового фона показали, что первоначальный избыток частиц по сравнению с античастицами составлял ничтожную миллиардную долю от их общего числа. Именно этих избыточных протонов и нейтронов хватило на то, чтобы сформировать вещество современной Метагалактики. Так наш мир не превратился в антимир.

Издалека видимая Вселенная кажется приблизительно однородной, т. е. все точки и направления в космосе почти равноправны. Это очень важное допущение однородности Метагалактики, распространяемое и на невидимую Вселенную, позволяет успешно строить космологам самые разные модели развития нашего мира – ведь описывать рельеф пустыни гораздо проще, чем нагромождения скал! Какая из этих моделей более-менее правильна, покажет будущее, а пока для окончательных выводов не хватает астрономических данных.

В открытой модели кривизна трехмерного пространства отрицательна или (в пределе) равна нулю, Вселенная бесконечна; в такой модели расстояния между скоплениями галактик со временем неограниченно возрастают, вплоть до гипотетического *Большого разрыва*.

В замкнутой модели кривизна пространства положительна, Вселенная конечна (но так же безгранична, как и в открытой модели); в такой модели расширение со временем сменяется сжатием до состояния *Большого хруста*.

Кратко историю нашего мира можно представить так:

Планковская эра: 10^{-43} – 10^{-37} с. Начинается с планковского момента и заканчивается инфляционным расширением Вселенной. Главное событие – появление гравитационного взаимодействия. Размер Вселенной в этот момент равен 10^{-35} м (планковская длина).

Эра великого объединения: 10^{-35} – 10^{-12} с. Начинается с разделения сильного и электрослабого взаимодействий и заканчивается отделением слабого взаимодействия и окончательным разделением взаимодействий.

Адронная эра: 10^{-6} –1 с. Начинается с аннигиляции протон-антипротонных пар, завершается концом существования кварков и антикварков как свободных частиц.

Лептонная эра: 1 с. Формируются ядра водорода. Начинается ядерный синтез гелия.

Эра нуклеосинтеза: 3 мин. Вселенная состоит на 75 % из водорода и на 25 % из гелия, а также следовых количеств тяжелых элементов.

Радиационная эра: 1 неделя. К этому времени излучение термализуется.

Эра вещества: 10–380 тыс. лет. Вещество начинает доминировать во Вселенной. Ядра водорода и электроны рекомбинируют, Вселенная становится прозрачной для излучения.

Звездная эра: 1–9 млрд лет. Образование первых звезд и формирование первых галактик. Образование Солнечной системы.

Глава 4. Вселенское яйцо

Через миллиарды лет развитые формы разума смогут создавать новые вселенные. Возможно, они даже смогут выбирать, какие физические законы должны действовать в созданных ими мирах. Или им будет дано моделировать Вселенную такой же или даже сложнее, чем та, в которой сегодня мы полагаем свое существование.

М. Рис.

Наш последний час

Одним из первых модель рождения нашего мира в виде некоего «вселенского яйца», которое расколол Большой взрыв, в духе физических представлений своего времени предложил бельгийский священник, астроном и математик Жорж Леметр. Будучи в Америке, Леметр ознакомился с результатами измерений галактического красного смещения и галактических расстояний, выполненных Эдвином Хабблом. Эти данные позволяли предположить, что галактики разбегаются по всем направлениям, причем их скорость пропорциональна удаленности от Солнечной системы. Леметр вычислил последующую эволюцию «взорвавшейся» Вселенной на основе уравнений общей теории относительности и вывел линейную зависимость между скоростью удаления галактик и расстоянием до них.

В теории расширяющейся Вселенной Леметра зародышем мироздания служит не просто «вселенское яйцо» конечных размеров, а сверхмассивный первичный атом, существовавший вне пространства и времени. Его взрыв порождает опять-таки сверхтяжелые и потому нестабильные осколки, фрагменты которых тоже должны делиться. Если принять во внимание количество частиц, которое по современным оценкам содержит Вселенная, то получится, что атом-отец и его потомки во множестве поколений должны претерпеть несколько сотен делений и на этом остановиться.

Однако такая схема даже семьдесят лет назад не могла вызвать доверия. В процессе множественных делений в конце концов должны были возникать максимально устойчивые атомы. А поскольку титул абсолютного

чемпиона ядерной стабильности принадлежит железу, то в космических масштабах именно оно должно было оказаться самым распространенным элементом. Однако в тридцатые годы прошлого века астрономы уже достоверно знали, что Вселенная почти полностью состоит из водорода и гелия. Несомненным достоинством модели Леметра было предсказание и объяснение закона Хаббла. Но данные об элементном составе Вселенной не согласовывались с теорией первичного атома. На макроуровне концепция бельгийского ученого работала превосходно, а на микроуровне заводила в тупик.

Именно на этом этапе в игру вступил Георгий Гамов. Гамов познакомился с моделью нестационарной Вселенной еще на студенческой скамье, когда учился у Фридмана. По окончании Ленинградского университета он посвятил себя ядерной физике и выполнил несколько классических работ, в частности построил теорию альфа-распада и предложил капельную модель ядра. Впоследствии он эмигрировал и в своих исследованиях полностью переключился на астрофизику. Основываясь на работах Леметра, Гамов начал поиск решения проблемы возникновения в Большом взрыве окружающих нас химических элементов.

Поскольку расширение Вселенной приводит к ее постепенному охлаждению, сжатие должно вызывать обратный эффект. Поэтому, исследуя модель Леметра назад во времени почти до исходного момента, Гамов заключил, что сразу после рождения мира все имевшееся вещество было чрезвычайно нагрето. Это был огромный шаг вперед по сравнению с леметровским атомом, для которого понятие температуры вообще не имело смысла. Однако следовало еще определиться с составом первичной материи.

Гамов предположил, что ранняя Вселенная была заполнена элементарными частицами, включая протоны, нейтроны и электроны. Эту смесь он назвал айлемом, используя термин из средневекового английского языка, означающий некую первосубстанцию как источник всего сущего. И на этот раз интуиция не подвела замечательного физика, ведь по современным представлениям к концу первой секунды Большого взрыва все известное нам вещество Вселенной полностью состояло из айлема.

Спустя некоторое время астрофизики, анализируя построения Гамова, пришли к выводу, что Вселенная должна быть заполнена микроволновым излучением, возникшим примерно через 300 тыс. лет после ее начала. Это было предсказанием принципиально нового явления, еще не известного науке. Регистрация микроволнового излучения, осуществленная в

шестидесятих годах прошлого века, оказалась сильным аргументом в пользу теории горячего рождения Вселенной.

Однако вернемся к совершенно фантастическому этапу инфляции. Когда маятник рождающейся Вселенной сделал один раз хроноквантовый «тик» и ее размеры стабилизировались, сформировался тот набор фундаментальных физических законов, которые до сих пор управляют окружающей нас реальностью. Одновременно из вакуума возник феерический фонтан рождающихся элементарных частиц. В результате к концу инфляционной фазы Вселенная уже была наполнена горячей кашей из разнообразных микрочастиц и электромагнитного излучения.

Очень важно, что обычных (естественно, с нашей точки зрения) частиц оказалось чуть больше, нежели античастиц. Эта разница была микроскопической, порядка сотысячных долей процента, но все же не нулевой. В результате, когда Вселенная охладилась настолько, что излучение перестало рождать новые частицы, вся антиматерия исчезла в процессе аннигиляции. Через 30 микросекунд после Большого взрыва субэлементарные кварки и связывающие их глюоны сконденсировались в нуклоны-протоны и нейтроны, а где-то на десятой секунде наступила эра первичного нуклеосинтеза, то есть возникновения композитных ядер гелия, дейтерия и лития.

Глава 5. На просторах мультивселенной

Космос состоит из множества раздувающихся шаров – миров, которые дают начало таким же шарам, а те, в свою очередь, рождают подобные шары в еще больших количествах, и так до бесконечности.

Возможно, параллельно нашей Вселенной существует еще множество других вселенных, в которых действуют свои собственные физические законы...

Единственная проблема в том, что мы не способны заглянуть в другие вселенные, самым фактом своего рождения отгороженные от нас. Мы не можем наблюдать за ними, и эта невозможность удручает любого ученого.

А. Д. Линде.

Рождение Вселенной

В последние годы термин Мультивселенная, а также его аналоги: Мультиверс, Мегамир, Мега-вселенная и Метавселенная появились в трудах целого ряда космологов, астрофизиков и философов. При этом многие из них уверены, что эта идея может стать одним из краеугольных камней новой модели мироздания.

Между тем этот необычный термин для мира, содержащего множество равноправных реальностей, придумал известный английский писатель-фантаст Майкл Муркок. В последнее время возникло много космологических сценариев возникновения и эволюции Мультивселенной. Однако в современную физику идея многомирности вошла в середине прошлого столетия совершенно необычным образом. Она появилась в научной работе аспиранта Принстонского университета Хью Эверетта, посвященной весьма необычному варианту квантовой теории измерений. Долгое время большинство физиков относилось к теории Эверетта настороженно, но затем некоторые видные космологи стали использовать понятие Мультивселенной в своих сценариях возникновения окружающего мира. Это сразу же вернуло интерес к идее многомирности и позволило по-

новому взглянуть на первые моменты рождения мироздания.

Так, согласно самому распространенному космологическому сценарию инфляционное расширение развилось практически сразу же после начала Большого взрыва, точнее, через один хроноквант, и длилось порядка одного хронокванта. На этом этапе существовал только физический вакуум, параметры которого сильно менялись из-за квантовых всплесков – флуктуаций. Далее развитие одной из флуктуаций привело к внутреннему скачку энергии с переходом в инфляционный режим расширения. В итоге возник молниеносно расширяющийся пузырек с первоначальным диаметром ячейки пространства – времени, который и стал зародышем нашей Вселенной.

Инфляция пузырька-предтечи была чрезвычайно кратковременной, и за ничтожно малое время его поперечник вырос до размеров нашей Вселенной. Далее наш новорожденный мир эволюционировал в соответствии со сценарием Фридмана – Ситтера – Гамова. Самое удивительное, что с течением времени темп расширения не только перестал падать, но, напротив, начал возрастать, что мы сегодня и наблюдаем. Случайные квантовые изменения структуры первичного физического вакуума приводят к возникновению исполинских областей пространства – времени (по-физически – *континуума*), которые в совокупности и составляют Мультивселенную. Флуктуация, которая рождает данный регион, выступает в качестве «встроенного» в него Большого взрыва.

Наша Вселенная принадлежит этой совокупности миров, но не имеет в ней особого статуса. Отдельные вселенные как бы вложены в единый пространственно-временной континуум наподобие матрешек, но разнесены в нем настолько, что не чувствуют присутствия друг друга.

Существование инфляционной Мультивселенной можно подкрепить и аргументами, выходящими за рамки собственно физики и космологии. Так почему бы не предположить, что природа случайным образом рождает множество параллельных миров, которые служат для нее своеобразным экспериментальным полем по созданию жизни...

Конечно, все эти мысли основаны на предположении, что жизнь возникает лишь в привычных для нас формах, но ведь других мы не знаем. Можно долго рассуждать о мыслящем океане или разумной плазме, но скорее всего разумная жизнь возможна только на белковой основе.

Жизнь возникла на небольшой планете, обращающейся вокруг рядовой звезды одной из рядовых галактик именно нашего мира по той простой причине, что этому благоприятствовало его физическое устройство. Другие миры в своем абсолютном большинстве для жизни

приспособлены плохо – и потому мертвы, если не пусты.

Так микромир сомкнулся с макромиром. Космическая инфляция превратила одну крайность в другую. Неимоверно огромная Вселенная стала увеличенной копией неимоверно малого мира. Две бесконечности соединил уникальный процесс космологической инфляции.

Но было ли научным чудом рождение нашей Вселенной? Неужели это событие уникально и неповторимо? Почему бы наряду с этой Вселенной не существовать еще и множеству других мирозданий? В окружающем нас вакууме каждый момент возникает бессчетное число флуктуаций. И если вся наша Вселенная порождена таким пустяковым событием, как клочкотание энергии в вакууме, то почему бы не предположить, что оно могло повторяться неисчислимое количество раз?

Может быть, наш мир – это лишь сгусток материи и энергии, вылетевший из запредельного мира, где непрерывно грохочут Большие взрывы, и невидимые лавины порождают очередную Вселенную, рассыпаясь в ней на миллиарды крохотных комьев – звезд, планет и галактик.

Подобная картина сотворения мира уже возникала в статьях многих известных физиков, а вот физические законы, дотоле употребительные лишь в микрокосме, мы впервые применили для всей нашей Вселенной в целом. Мы оправдываем этот хитрый прием тем, что Вселенная в начальный момент своего зарождения была спрессована в крохотной точке пространства размерами меньше атома.

Чем же можно подтвердить или опровергнуть высказанные идеи? Эксперименты, проведенные на сверхмощных ускорителях элементарных частиц, подтвердили, что теоретики во многом правы. Физический вакуум действительно наполнен энергией, заряжен ей. Время от времени в нем образуются сгустки, которые тут же исчезают. Этот процесс длится гораздо быстрее миллиардных долей секунды.

Законы природы не являются чем-то само собой разумеющимся, абсолютным. Их не было до появления Вселенной. Каждый мир мог бы развиваться по-иному, и всякий раз в нем возникали бы собственные законы природы. Теория множества вселенных разрешает загадку, как в результате вселенского взрыва могли возникнуть любые миры, ведь вариантов было множество. Однако родилась именно та, в которой появились звезды, планеты и даже жизнь.

Как зыбко то равновесие в природе, что установилось благодаря действию физических констант! Малейшего их изменения было бы достаточно, чтобы на бескрайних просторах не зародилось ни одного

живого организма и уж тем паче ни одного разумного существа, способного эти спасительные для него законы природы открыть и надлежащим образом их сформулировать.

Вероятность появления вселенной, в которой может зародиться жизнь, составляет ничтожную долю процента. И все же она существует. Каждая из физических констант в нашей Вселенной получила единственно возможное значение. И как следствие этой череды нужных совпадений родилась жизнь! Все это объяснимо в мире вечных флуктуаций, где в фантастическом котле, расположенном где-то за пределами нашего мироздания, вновь и вновь, как пузыри, всплывают вселенные.

Получается, что Большой взрыв повторяется постоянно. Вселенная человечества вовсе не уникальна, она – всего лишь результат случайного совпадения обстоятельств. Почти все остальные вселенные, сколько бы их ни рождалось, могут быть жизненно неудачны и совершенно необитаемы. И потому никто не может оценить, насколько же неблагоприятны условия жизни в этих бесконечных пустынях. Иными словами, человечеству потрясюще повезло: мы вытащили самый крупный выигрыш в космической лотерее.

Рассуждая о Мультивселенной, можно допускать самые смелые теоретические построения. Вероятно, в других мирах если и возникают какие-то формы жизни, то совсем иные, нежели те, что зародились в нашем уголке Метагалактики. Чем-то трудности, возникшие в космологии, напоминают те самые проблемы, над решением которых бились биологи, пока Чарльз Дарвин не сформулировал свою теорию эволюции. Дарвин показал, что новые видовые признаки возникают по причине случайных наследственных изменений и их просеивания через сито отбора. Все эти модификации проходят суровую проверку. Только лучшие из них выдерживают естественный отбор. У особей, наделенных этими признаками, появляется свое потомство, которое столь же успешно конкурирует с другими представителями данного вида – таким образом укореняется тот или иной видовой признак. Движителем эволюции явилась простая комбинация мутационной изменчивости и естественного отбора. Этой комбинации вполне достаточно, чтобы объяснить эволюционные процессы.

Если мы предположили, что существует множество вселенных, то почему бы не упорядочить их с помощью космической эволюции?

К естественному космическому отбору мы не вполне можем применить положения дарвинистской теории. Описывая сущность естественного отбора, биологи подразумевают, что развитие популяции

ограничено определенными внешними факторами. Изоляция отдельных вселенных делает, конечно, невозможной эволюцию в биологическом смысле этого слова.

Хотя данная гипотеза и умозрительна, назвать ее ненаучной нельзя. Уже сейчас многие специалисты уверены, что Большой взрыв нельзя считать уникальным явлением и что наша Вселенная является всего лишь одной среди множества ей подобных миров. Идея космической эволюции становится лишь дальнейшим развитием уже бытующих в ученой среде идей.

Конечно, здесь есть и целый ряд спорных моментов. Ведь получается, что лишь вселенные, содержащие большое число источников миров, благоприятны для развития жизни. Однако вполне можно представить себе миры, которые усиленно «клонировуются» и все же остаются необитаемыми. В частности, вселенные могут быть насыщены замерзшими звездами, но это совсем не означает, что в них непременно зародится жизнь. И все же весьма вероятно, что на одной из стадий естественного космического отбора где-то случайно зародится жизнь – ведь появилась же наша, населенная нами.

В таком случае, если всей нашей Солнечной системе суждено исчезнуть внутри черной дыры, притаившейся в центре нашей Галактики, то сингулярный объект, в каковой она превратится, станет со временем зародышем новой Вселенной. В этом новом мире однажды снова появятся на свет разумные существа, которые в один прекрасный день снова зададутся теми же самыми вопросами. И ответы на эти вопросы когда-нибудь снова отыщут в научно-популярной книге. Только в которой по счету Вселенной это случится?

Глава 6. Гравитационный прибор

...Как следует из специальной теории относительности, ничто не может двигаться со скоростью, превышающей световую. Размышляя над этой проблемой, Эйнштейн представил себе луч света, искривляющийся при прохождении у края Солнца. Материя как-то изгибает пространство, и другая материя должна двигаться в таком пространстве «естественно» – так, как мы это наблюдаем. Он решил, что наиболее естественным был бы кратчайший путь между двумя заданными точками пространства. Иными словами, Солнце искривляет пространство вокруг себя, и планеты движутся эллиптическими орбитами, но в искривленном пространстве они представляют собой прямые линии.

Далеко не все соглашались с этими странными идеями Эйнштейна.

Б. Паркер.

Мечта Эйнштейна: В поисках единой теории строения Вселенной

Со времен античных натурфилософов-метафизиков пространство считалось математической абстракцией, всегда и всюду одинаковым, не зависящим от заполняющих его тел, и никак не проявляющим себя в материальном мире. В этом идеализированном пространстве более двух тысячелетий успешно царствовала геометрия Евклида. Первым, кто высказал мысль о возможности построения других геометрий, столь же последовательных и непротиворечивых, как и евклидова, был выдающийся математик Николай Лобачевский. К сожалению, его удивительные работы настолько опередили свою эпоху, что не нашли понимания даже у выдающихся математиков того времени.

Лобачевский не просто первым создал теорию неевклидовой геометрии, но и поставил вопрос о реальной геометрии нашего мира. Какова она – плоская евклидова или же искривленная неевклидова? Он

попытался практически ответить на этот вопрос, проведя ряд астрономических измерений суммы углов треугольников, составленных из далеких звезд. Однако отсутствие разработанной методологии подобных наблюдений и их низкая точность не позволили получить какой-либо результат.

Работы Лобачевского и независимые исследования одаренного венгерского математика Яноша Бойяи послужили надежной основой для всех последующих концепций искривленного пространства, в том числе созданных немцем Бернхардом Риманом. Этот теоретик создал математический аппарат для анализа самых разнообразных пространств. В его статьях пространство представало и изогнутым, и скрученным с разрывами и склейками, и даже многомерным. Теория Римана во многом вдохновляла работы математика и литератора Льюиса Кэрролла.

Именно с помощью неевклидовой геометрии теория релятивистской гравитации – общая теория относительности – описывает наш мир.

Оригинальный математический аппарат неевклидовой геометрии позволил Эйнштейну далеко продвинуться в понимании сущности всемирного тяготения. Именно таким образом великий теоретик пришел к парадоксальной идее, составившей основу второй части релятивистской концепции: связать силу тяготения с кривизной нашего пространства. Надо заметить, что основные уравнения общей теории относительности впервые вывел Давид Гильберт. Правда, он пришел к сущности своих знаменитых уравнений, составивших «пространство Гильберта» своим собственным путем в результате исследований, которые повлияли на современную математику не меньше, чем идеи теории относительности на физику. Любопытно и другое: Гильберт и Эйнштейн посвятили свою жизнь поискам наиболее общих принципов организации мироздания. Причем, если Гильберт искал единые основы мира математических идей, то жизненным идеалом Эйнштейна было создание теории некоего единого поля. Из этой «теории всего» можно было бы как частный случай вывести существование всех известных частиц и сил. Эта «чаша Грааля» современной физики до сих пор остается недостижимой, но ее поиски ведутся весьма интенсивно, причем как физиками-теоретиками, так и экспериментаторами.

Не так давно научный мир потрясла очередная сенсация. Речь идет об открытии следов реликтовых гравитационных волн, оставшихся от эпохи Большого взрыва. Сенсационное открытие состоялось в рамках международной программы Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization (BICEP) в самой

необычной обсерватории Земли, расположенной на антарктической станции «Амундсен-Скотт». Именно там природа создала подходящие условия для наблюдений, крайне иссушив и проморозив атмосферу.

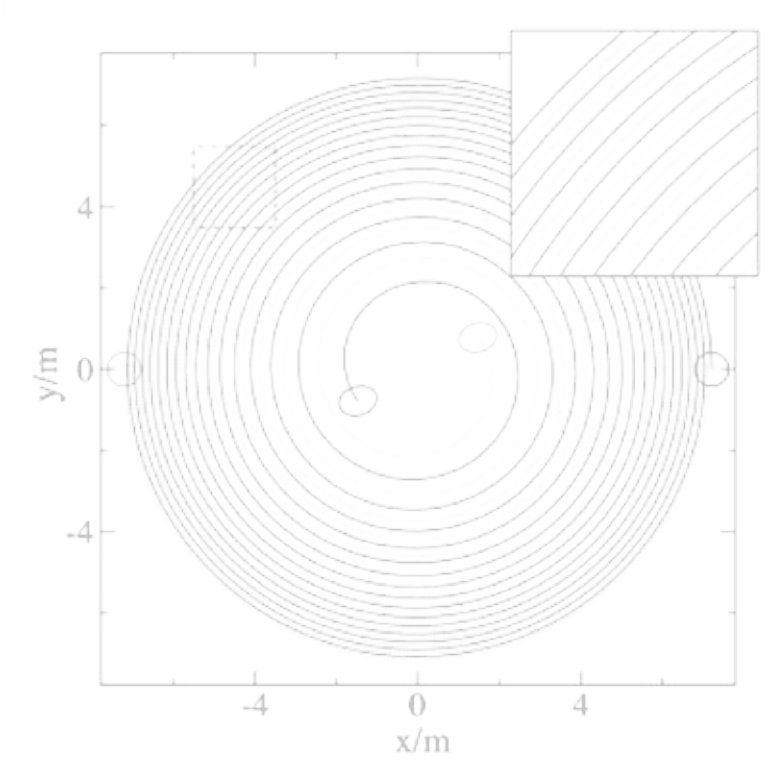
Почему же это открытие вызвало такой ажиотаж среди астрономов и физиков?

Гравитационные волны... Эти загадочные порождения поля всемирного тяготения возникли столетие назад на использованном почтовом конверте. Именно так небрежно великий Эйнштейн записывал гениальные идеи, случайно пришедшие в голову. Когда создатель теории относительности обнаружил формулу для гравитационных волн, никто не сомневался, что вскоре экспериментаторы откроют новые удивительные свойства пространства – времени. Однако шло время, но крепкий орешек «гравитационного прибора Вселенной» никак не поддавался усилиям ученых. Правда, в мировых СМИ изредка появлялись заявления, объявлявшие об очередном открытии. Увы! Все они так и не нашли подтверждения. Сюда же следует отнести и несостоявшиеся сенсации о различных проявлениях левитации, антигравитации и создании всяческих «гравицап»...

Между тем количество попыток открыть «дрожь пространственно-временной матрицы» отнюдь не уменьшается, скорее даже наоборот: возникло целое полуофициальное направление экспериментальной астрономии – гравитационно-волновая астрофизика. И хотя эта область науки еще мало освоена, ее исследователи уверенно делают первые решительные шаги, опираясь на многие косвенные данные о гравитационном колебании космоса. К сожалению, сами принципы детектирования волн тяготения требуют создания дорогостоящих циклопических сооружений и систем, на что энтузиасты гравитационного поиска приводят исторические примеры развития фундаментальных областей физики, изменившие лик цивилизации. Действительно, ведь когда-то даже самые светлые энциклопедические умы не осмеливались предсказать, что забавные опыты с «янтарной электрической субстанцией» в конечном итоге приведут к XIX веку пара и электричества, не говоря уже о последующих столетиях атомных электростанций, лазеров и солнечных батарей.

Когда-то выдающийся французский математик и натурфилософ Пьер-Симон Лаплас, отстаивая жесткую связь между всеми элементами мироздания, заметил, что даже взмах руки влияет на движение звезд. Современный физик перефразировал бы: взмахните рукой – и по всей Вселенной побегут гравитационные волны!

Теоретически это так, но их регистрация действительно составляет труднейшую техническую проблему, ведь гравитационные «приливы» и «отливы» на 40 порядков (!) уступают тем же электромагнитным волнам. Продолжая рассчитывать мощность оптимальной гравитационной волны, которая бы заставила ощутимо вибрировать приемник наподобие пустой железнодорожной алюминиевой цистерны, мы получим околосветовую звездную карусель. Жаль, но подобные небесные феномены астрономы пока еще не открыли...



Модель гравитационных волн от двойной звездной системы

Задумываясь над природой волн гравитации, вспомним, что, согласно общей теории относительности, тяготение возникает в результате искривления окружающего нас пространства-времени. Если представить пространство в виде упругой резиновой пленки с ямками от массивных «шариков» звезд, то их колебания вызовут вибрацию всей пленки. Образно это можно назвать волновой рябью пространства-времени.

Итак, даже простейшие «резинопленочные» модели показывают, что нас невидимо раскачивает гравитационный прибор. Правда, не всякое перемещение звезд может вызвать гравитационное излучение. Например, для испускания волн гравитации не подойдет вращение по симметричной

орбите. В этом случае центростремительное ускорение строго симметрично, его гравитационное поле остается однородным, так что волны гравитации возникнуть не могут. А вот если взять коромысло с двумя очень серьезными массами и раскрутить в точке равновесия, то гравитационное поле такой бинарной (двойной) системы начнет изменяться пропорционально частоте вращения, и от коромысла во все стороны побежит пространственно-временная рябь волн тяготения.

Для наблюдателя гравитационная волна представляет собой возмущение приливных сил, т. е. точно таких же сил притяжения Луны или Солнца, которые заставляют вспучиваться водную поверхность Земли, образуя периодические приливы и отливы. Простейшее приспособление, которое могло бы зафиксировать таинственную гравитационную рябь пространства – времени – обыкновенный груз на пружинном подвесе, свободно колеблющийся с некоторой собственной частотой. Если при этом она совпадет с частотой гравитационной волны, возникнет резонанс. В качестве пробных грузов на пружинке чаще всего используют громадные многометровые алюминиевые цилиндры толщиной около метра. В другом варианте устанавливают массивные зеркала, колебания которых измеряют с помощью лазерных интерферометров.

Вообще говоря, шумный ажиотаж вокруг поиска гравитационных волн поднялся в конце шестидесятых годов прошлого века, когда американский физик Джозеф Вебер опубликовал сенсационные данные, свидетельствующие о существовании космических волн тяготения. Вебер слыл авторитетом в своей области, поэтому научный мир воспринял его сообщение с полной серьезностью, а в обиход вошло выражение «волны Вебера».

Однако вскоре наступило разочарование, ведь другим ученым так и не удалось достичь значимых результатов.

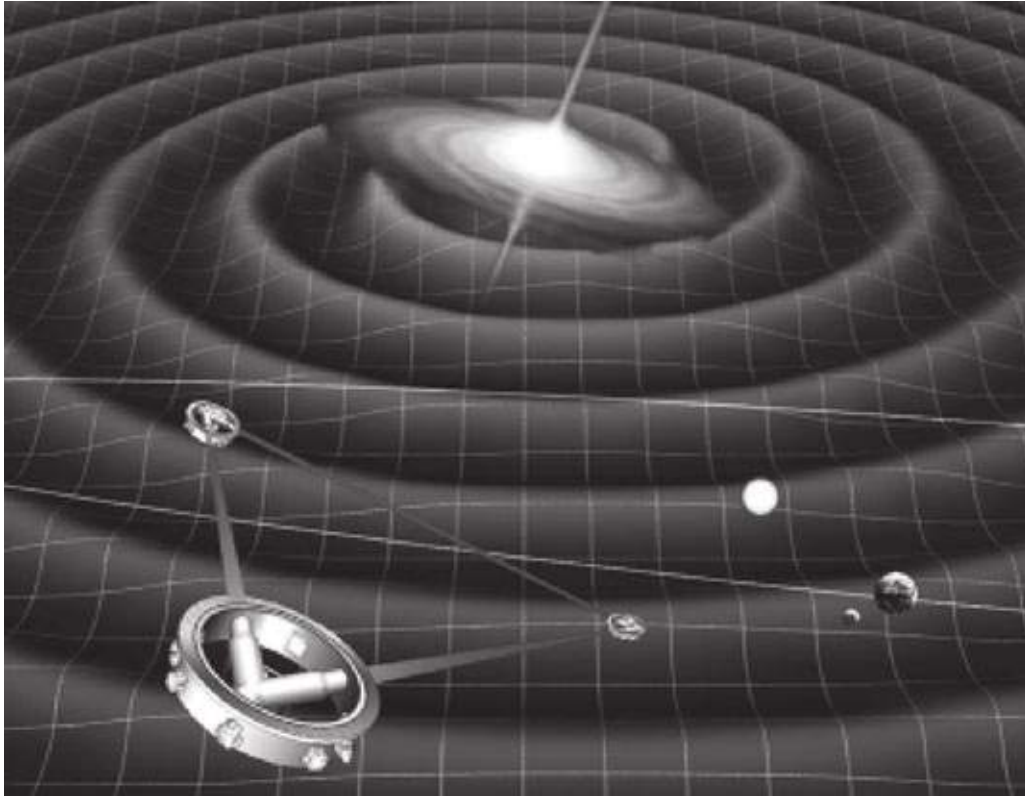
Сегодня многие творческие коллективы инженеров и физиков успешно проектируют новые системы датчиков гравитации, например, на основе лазерных интерферометров. Если на такую систему накатит гравитационная волна, то под ее воздействием начнет меняться длина пути луча. Сначала она станет короче в одном направлении и длиннее в другом, затем возникнет противоположная ситуация. Подобные лазерные интерферометры обладают феноменальной чувствительностью и могут регистрировать волны в широком частотном диапазоне.

Но ученые не остановятся на достигнутом и собираются создать космическую систему из лазерных интерферометров для регистрации гравитационных волн. Речь идет о международном проекте, получившем

название LISA, который предполагает запуск космической флотилии из нескольких гравитационных лабораторий, распределенных на дистанции в несколько миллионов километров друг от друга. Так могут быть получены важнейшие данные по космологическим гравитационным волнам, возникшим при рождении нашей Вселенной в пучинах Большого взрыва.

Впрочем, надежды гравитационно-волновой астрономии не связаны исключительно с космосом. В различных лабораториях строятся криогенные детекторы, например, в виде металлических сфер метрового диаметра, охлаждаемые практически до температуры абсолютного нуля. Предполагается, что на высоких частотах такие детекторы могут превзойти по чувствительности самые совершенные лазерные установки.

Между тем Метагалактику не зря иронично называют «лабораторией для бедных». Порой космос действительно предоставляет ученым уникальные возможности для исследования процессов, недоступных ни в каких лабораториях. Примером может служить радиопульсары нейтронных звезд. Характерные размеры нейтронной звезды составляют десятки километров, а средняя плотность приближается к плотности атомных ядер, при этом кубический сантиметр весит тысячи тонн. Массы всех известных нейтронных звезд близки к массе Солнца. Скорость вращения нейтронной звезды может быть очень высокой и превышать 100 тысяч километров в секунду. При такой плотности нейтронные звезды обладают чудовищной напряженностью поля тяготения. Поэтому, если подобное радиопульсары будут вращаться со скоростью в тысячи оборотов за секунду, то потеряют осевую симметрию, и возникшее несимметричное тело будет излучать волны гравитации. Еще более мощным источником гравитационных колебаний должна быть двойная система нейтронных звезд. Астрономам встречаются такие феномены, делающие сотни оборотов в секунду при скорости движения приближающейся к трети световой!



Проект LISA

Этот совместный эксперимент НАСА и ЕКА Laser Interferometer Space Antenna находится на проектной стадии, старт планируется на 2020 год. Измерения будут проводиться лазерными интерферометрами при помощи космических аппаратов, расположенных в вершинах треугольника. Когда гравитационная волна исказит пространство-время между двумя зондами, можно будет измерить относительные сдвиги фазы лазерного луча.

Из-за крошечного размера нейтронные звезды очень слабо видны, даже в большие телескопы, но во многих случаях наблюдаются как источники рентгеновского излучения в тесных двойных системах звезд. По современным представлениям, большинство нейтронных звезд образуется при взрывах сверхновых. Наряду с черными дырами нейтронные звезды являются конечной стадией эволюции звезд большой массы. Чаще всего гравитационные волны испускают двойные звездные системы, часто встречающиеся в Метагалактике. С помощью космических гравитационных телескопов-интерферометров ученые надеются зарегистрировать волны тяготения, возникшие при поглощении черными дырами обыкновенных звезд.

Однако рекордсменами в испускании гравитационных волн должны

быть системы из черных дыр. Массы таких систем могут превышать массы тех же нейтронных звезд в миллиарды раз. Особенно интересные эффекты возникают в случае быстро вращающихся черных дыр.

Мощнейшим источником колебаний пространства–времени могли бы быть множественные системы из сверхмассивных черных дыр, скапливающихся в ядрах сильно взаимодействующих галактик. Когда-нибудь и наш Млечный Путь столкнется с соседней туманностью Андромеды. Тогда центральные черные дыры образуют единую систему и начнут сближаться, расходуя энергию на гравитационное излучение.

Может быть, когда-нибудь астрофизики найдут способы фиксации коротких очень мощных всплесков гравитационных волн, возникающих и при вспышках сверхновых звезд.

Но самым интересным источником гравитационного излучения должны быть космологический фон реликтовых гравитационных волн. Космологические гравитационные волны испускаются в эпоху ранней Вселенной хаотически движущимися неоднородностями вещества. Это единственный вид излучения, способный донести до нас информацию о первых секундах существования Вселенной.

Разыскивая волны пространства – времени, астрофизики вынуждены постоянно бороться с множеством помех, вызванных тепловыми движениями, звуковыми и сейсмическими колебаниями. Поэтому гравитационные обсерватории, как правило, располагают в необычных, а иногда и экзотических местах: в глубоких заброшенных шахтах или наоборот – на горных вершинах и на ледниковом щите Антарктиды.

Существующие детекторы уже вплотную подошли к интересной для астрофизиков области параметров. Каков же все-таки смысл в поиске гравитационных волн, для чего их можно «использовать»? Можно представить, что если бы журналисты спросили в свое время у создателей квантовой теории, какая в будущем будет польза от квантовой механики, то вряд ли они предвосхитили открытие транзисторов и оптических квантовых генераторов-лазеров. Но прошли десятилетия и появилась прикладная квантовая электроника, квантовая оптика и квантовая радиофизика. Очень трудно предсказать конкретные приложения фундаментальной теории, но ее будущий вклад в технику и инженерную физику несомненен.

Глава 7. Эволюция галактик

Основным препятствием для решения проблемы возникновения крупномасштабной структуры, возникновения галактик, является незнание начальных условий.

По-видимому, единственной возможностью выяснить здесь истину является способ, аналогичный тому, к которому прибегли для решения проблемы первых секунд с начала расширения. Надо сделать разные предположения о начальных возмущениях, проанализировать их следствия и сравнить с наблюдениями.

И. Д. Новиков.

Эволюция Вселенной

Ясной безлунной ночью каждый может видеть Млечный Путь – светящуюся туманную полосу, протянувшуюся поперек неба. Обширнейшее поле галактических объектов Млечного пути содержит миллиарды звезд. Темная полоса, проходящая посередине Млечного Пути и разделяющая звезды, состоит из межзвездной пыли, поглощающей видимый свет. А первым, кто рассмотрел ее в телескоп и обнаружил, что она состоит из множества неярких звезд, был Галилей.

В середине XVIII века астрономы предположили, что большинство наблюдаемых звезд образуют единую дискообразную структуру. И полвека спустя эта гипотеза была подтверждена Уильямом Гершелем, составившим каталог огромного числа звезд и расстояний до них. К началу прошлого века общепринятым стало мнение, что эта звездная полоса – часть единственной во Вселенной галактики, которая «приютила» миллиарды звезд, включая и наше Солнце. Сейчас предполагается, что в видимой части Вселенной находится около полусотни миллиардов галактик.

Чем глубже копает археолог, тем более древние горизонты открываются перед ним; чем дальше смотрят астрономы, тем более юную Вселенную они видят. Счастье ученых в том, что свет от далеких объектов идет к нам очень долго – миллиарды лет. Желая узнать, как рождались

галактики, они должны исследовать наиболее далекие. Много лет эта работа давала обескураживающие результаты: удаляясь в прошлое на миллиарды лет, ученые не обнаруживали ничего нового в облике галактик и в прошлом видели такие же звездные системы. Но вот группа астрономов, наблюдая мощные радиоисточники, с которыми, как правило, связаны крупные галактики, обнаружила далекие системы звезд в процессе формирования.

В таких галактиках них нет газа и пыли для формирования новых звезд, а старые звезды распределены более равномерно, придавая галактикам эллипсоидальную (яйцевидную) форму.

Богатство форм звездных систем может быть объяснено разнообразием условий, в каких они рождались. По современным взглядам, на ранней стадии развития Вселенная была заполнена разреженным газом, который распался затем из-за гравитационной неустойчивости на сгущения, а сгущения в последующем – на отдельные облака различной массы. Одни из облаков имели вращательный момент и центральное сгущение, из них впоследствии образовались спиральные галактики, а другие практически не вращались, они положили начало эллиптическим галактикам, облака же без значительного центрального сгущения, но все же обладавшие вращательным моментом, дали начало неправильным галактикам типа Магеллановых Облаков.

Размеры галактик простираются от карликовых с десятками миллионов звезд до массивных – с тысячами миллиардов звезд. Сферические или эллипсоидные галактики имеют красноватый цвет, создаваемый их состарившимися обитателями.

Весьма распространены спиральные (или дисковые) галактики. Их плоские диски погружены в разряженное слабосветящееся сферическое облако слабых старых звезд и газа – гало. На диске заметен спиральный узор из двух или нескольких закрученных в одну сторону рукавов, выходящих иногда из центра галактики. Эффектные спиральные рукава выделяются за счет сверкающих, горячих, юных голубых звезд.

Но как образуются спиральные рукава? На этот счет существуют различные взгляды. В последние десятилетия особенно популярны были теории спиральных волн плотности, бегущих по звездному диску как по поверхности воды.

Бывает, что рукавов больше и форма их не столь симметрична: они делятся на отдельные ветви, сливаются друг с другом и распадаются на части, подобно связке сосисок.

А порою диск галактики напоминает кофейную пенку, в рисунке

которой с трудом угадываются обрывки спиральных рукавов.

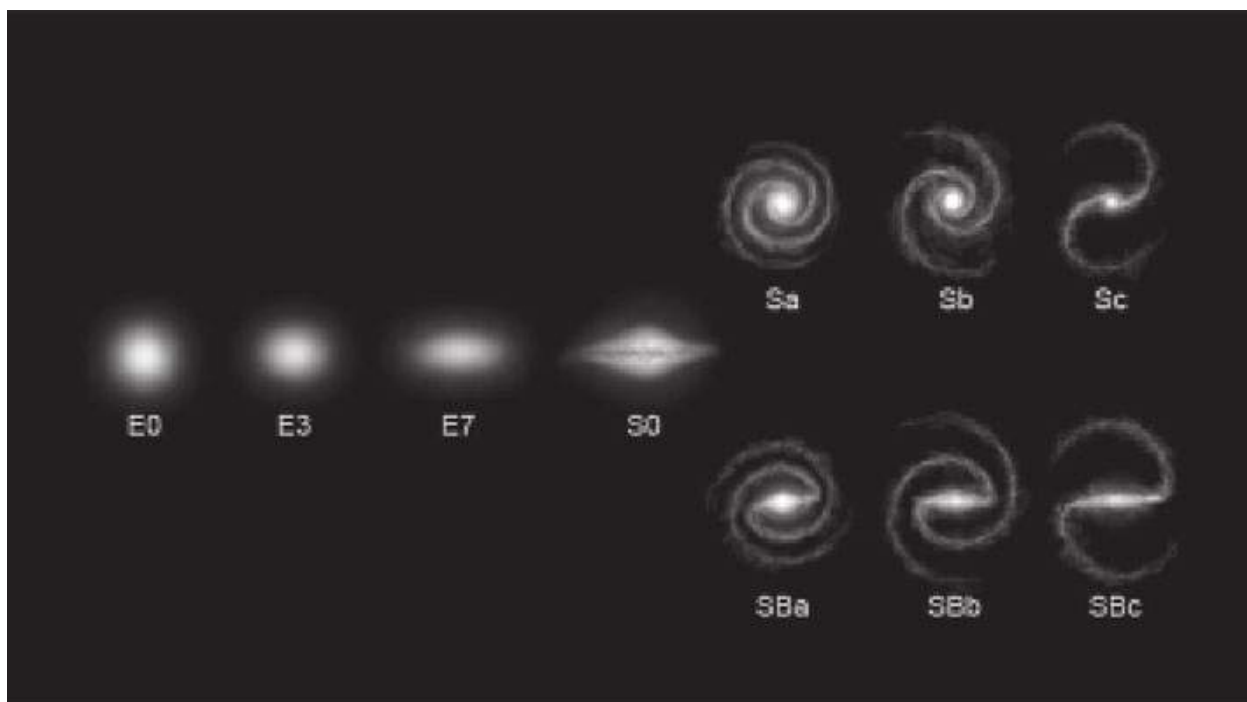
Линзовидные галактики внешне гораздо менее привлекательны и фотогеничны. Существует и множество совершенно бесформенных клочковатых галактик, получивших название неправильных. Около половины вещества в них составляет межзвездный газ.

Полная энергия, которую испускает «нормальная» галактика, представляет сумму излучений от всех ее звезд. Но есть такие галактики, которые в радио-, инфракрасной, ультрафиолетовой и рентгеновской областях электромагнитного спектра испускают энергии больше, чем следует. Такие галактики называются «активными». В чем же источник этой дополнительной энергии? Ответом на этот вопрос стало открытие черных дыр – объектов, в которых материя сжата настолько плотно, что не выпускает за свои пределы никакого излучения.

Если черная дыра с массой от миллиона до миллиарда солнечных масс находится в центре галактики с большой плотностью вещества, это вещество «засасывается» дырой. При этом гравитационные силы настолько велики, что заставляют падающее вещество излучать, превращая галактику в активную. Именно это излучение и выдает ученым присутствие черных дыр.

До сих пор детально изучены только окрестности Солнца в радиусе около 5 тысяч световых лет при общем размере Галактики около 100 тысяч световых лет. Полной карты галактического диска пока также не существует. Давняя мечта астрономов, которая, вероятно, сбудется не скоро – взглянуть на Галактику снаружи, увидеть рисунок ее спирального диска, заглянуть в ядро, изучить все интересные объекты, скрытые за темными облаками. Поскольку нет надежды получить фото нашей звездной системы от коллег из туманности Андромеды, радиоастрономам приходится самим расшифровывать радиокарты и восстанавливать рисунок спирального узора Млечного Пути.

По современным радиокартам не удастся подсчитать даже количество спиральных рукавов Галактики. Совмещая различные модели с картой солнечных окрестностей, исследователи получают от двух до двенадцати рукавов. Не ясно даже, расположено ли Солнце в межукавном пространстве или в одном из второстепенных рукавов. Проблема эта имеет прямое отношение к будущему Земли: с точки зрения биосферы условия в рукавах и между ними весьма различаются).



Камертон Хаббла

Современную классификацию галактик предложил в тридцатых годах прошлого века Эдвин Хаббл. На левом конце этой последовательности расположены эллиптические галактики – сферические звездные системы. Далее она тянется к плоским спиральным галактикам. Отдельно стоят неправильные галактики вроде двух самых заметных спутников Млечного Пути, видимых на небе Южного полушария, – Большого и Малого Магеллановых Облаков. При переходе к спиральным галактикам последовательность раздваивается, давая начало самостоятельной ветви спиральных галактик с перемычками – гигантскими звездными образованиями, пересекающими ядро галактики, от концов которых отходят спиральные ветви. По причине раздвоенности эту классификацию часто называют «камертоном Хаббла».

Расстояние от Солнца до центра Галактики служит масштабом всех прочих расстояний в нашей звездной системе и во многих случаях – за ее пределами. Для галактической астрономии эта величина так же важна, как для внегалактической астрономии и космологии важна постоянная Хаббла. И вот что удивительно: несмотря на огромные затраты сил астрономы вот уже более полувека не могут измерить величины обеих этих констант с точностью ближе 50 процентов. А не зная данной величины – метрической единицы галактической астрономии, мы теряем возможность точно

определять другие параметры Галактики, например, расстояния до далеких звезд, скоплений и туманностей, скорость вращения Галактики и даже ее массу. А как, скажем, разобраться в природе галактического ядра, не зная расстояния до него? Например, существует очень серьезная гипотеза о том, что в центре ядра находится гигантская черная дыра.

Столетие назад астрономы считали нашу Галактику всей Вселенной, расстояние до центра Млечного Пути принималось «главной мировой осью» до центра мира. Затем нашу Галактику признали одной из множества подобных, но ее размеры и положение в ней Солнца продолжают интересовать астрономов. Ведь Млечный Путь – уникальная звездная система, изучаемая изнутри в трех измерениях, а не в виде плоских изображений прочих галактик и звездных скоплений.

Обычно движение звезд вокруг центра Галактики сравнивают с обращением планет вокруг Солнца, но это не совсем точная аналогия: галактическая орбита звезды значительно сложнее, чем движение планеты по простому эллипсу. Это потому, что Галактика устроена гораздо сложнее Солнечной системы. Солнце можно уподобить дрессировщику, водящему лошадь (то есть планету) по кругу на привязи: она строго подчинена его влиянию, поскольку конкурентов нет. Но, выпустив лошадь в толпу людей или лошадей, мы бы увидели совсем иную картину. Звезда, движущаяся в Галактике, испытывает влияние множества близких и далеких звезд. И если далекие действуют более или менее сообща, принуждая ее обращаться вокруг центра звездной системы, то соседи так и норовят «толкнуть»: случайные сближения с ними заметно меняют движение звезды.

Еще сильнее действует сближение со звездными коллективами – скоплениями, содержащими сотни и тысячи звезд, а также с массивными межзвездными облаками. Такие встречи нарушают регулярное движение звезды и постепенно изменяют ее орбиту. Поскольку наиболее тесно населены центральные области Галактики, то следует ожидать, что звезды вроде нашего Солнца со временем должны отодвигаться на периферию. Предполагается, что Солнце за время своей жизни действительно удалилось от центра Галактики почти на 30 процентов начального расстояния. Это выяснилось по химическому составу Солнца, который отличается от состава соседних звезд, зато очень похож на тот, который имеют звезды, расположенные ближе к центру Галактики.

До недавних пор теория звездообразования традиционно изучала небольшие галактические структуры – туманности и звездные скопления – размером в несколько световых лет. С другой стороны, теория спиральной структуры Галактик имела дело с масштабами в десятки тысяч световых

лет. У истоков теории формирования звезд стоял сам Ньютон с идеей о гравитационном скручивании космического вещества. Спустя три столетия смелая гипотеза Ньютона подтвердилась почти буквально: наш мир действительно был некогда заполнен однородным веществом, оно действительно разделилось на части и сгустилось в гигантские светящиеся массы – звезды и галактики.

Вот только распределены эти массы в пространстве далеко не хаотично, как предполагал великий физик, а организованы в удивительные структуры – звездные комплексы, содержащие не только отдельные молодые звезды, но и скопления и облака межзвездного газа, из которого все это образуется. Как выяснилось, звездные комплексы служат базовой ячейкой звездообразования в галактиках.

Одним из самых загадочных вопросов физики космоса является происхождение нашей родной Галактики Млечный Путь. До сих пор эта проблема настолько сложна, что у исследователей даже нет согласия по принципиальному пункту, что было движущим процессом: распад более крупного облака или слипание из множества мелких частей, некоторые из которых еще сопровождает галактику в виде спутников, таких как Большое и Малое Магеллановы Облака.

Есть ли надежда разгадать процесс, происходивший многие миллиарды лет назад?

Астрономы, подобно палеонтологам, никогда не теряют надежду заглянуть в прошлое и найти там ответы на многие проблемы современности. Так, ученые считают, что основой для возникновения звездных островов послужили гигантские облака газа и пыли. Подобные зародыши-протогалактики состояли в основном из легчайших газов – водорода и гелия. Это первичное вещество в свою очередь распадалось на отдельные сгущения, сжимавшиеся к своим центрам. Из них возникли первые поколения звезд и шаровые звездные скопления. Они образовали сферические звездные подсистемы в галактиках. Рой быстрых звезд и шаровых скоплений, существующий вокруг главного тела нашей современной Галактики, имеет, по-видимому, именно такую природу. После того как в галактиках образовались звезды, дальнейшее их развитие пошло по разным направлениям в зависимости от массы и вращательного момента.

В настоящее время в нашей Галактике различают несколько подсистем, отличающихся возрастом входящих в них объектов, количеством тяжелых элементов, характером движения звезд и распределением их в пространстве.

Близкими родственниками квазаров, очевидно, являются Сейфертовские галактики и радиогалактики. Сейфертовскими называются галактики, в видимой области излучения похожие на обычные спиральные, но с очень активными ядрами, мощность излучения которых к тому же сильно меняется со временем, указывая на происходящие там грандиозные процессы. Радиогалактики, отличающиеся мощным излучением в радиодиапазоне, огромные и эллиптические. Мощности Сейфертовских и радиогалактик также обеспечиваются сверхмассивными черными дырами, находящимися в их центрах. Не исключено, что все это разнообразие типов – просто определенные этапы эволюции, которые наблюдаются во Вселенной сейчас.

Появляется все больше доказательств того, что главными движущими силами эволюции галактик и причиной их разнообразия являются взаимодействие и столкновение друг с другом. При этом не следует думать, что столкновение двух галактик – это смертный бой между входящими в них звездами. Вероятность столкновения двух звезд очень мала, потому что размеры их крайне незначительны по сравнению со средним расстоянием между ними. Но межзвездное пространство заполнено газом и пылью, и именно эти компоненты взаимодействуют, когда галактики сталкиваются.

Гравитационное взаимодействие приводит к нарушению структуры газопылевой среды и к перекачиванию вещества из одной галактики в другую.

Трение, возникающее между газом в сталкивающихся галактиках, порождает ударные волны, которые могут вызвать образование новых звезд. Новые звезды в первые несколько миллионов лет своей жизни имеют весьма необычную светимость и голубизну, а потому обнаружение их является наиболее очевидным признаком произошедшего столкновения.

Эти процессы сильно влияют на структуру галактик. Например, две спиральные могут слиться и сформировать эллиптическую. Большие галактики поглощают маленькие и еще вырастают. Все эти процессы длятся миллионы и миллиарды лет (не так уж много по астрономическим масштабам времени), но людям, чтобы увидеть динамику, нужно наблюдать несколько пар взаимодействующих галактик в различные моменты их слияния и затем составить последовательность изображений во времени.

Множество далеких, а следовательно, очень старых галактик носят следы разрушения, что свидетельствует о том, что в ранней Вселенной столкновения были скорее правилом, чем исключением. Наш Млечный Путь, очевидно, тоже является результатом слияния небольших галактик. Существует карликовая галактика, которая вливается в нашу прямо сейчас,

и еще восемь близко расположенных крошечных галактик вскоре сольются с нами.

Сравнивая количество звезд разных поколений у большого числа однотипных галактик, можно установить возможные пути их эволюции. У более старых наблюдается истощение запасов межзвездного газа и снижение в связи с этим темпов образования и общего количества звезд новых поколений. Зато в них много белых карликов – сверхплотных звезд малых размеров, представляющих собой одну из последних стадий эволюции звезд. В этом и заключается старение галактик.

Эволюция галактик в скоплениях и группах показывает, что при столкновениях их протяженные газовые короны должны «обдираться» и рассеиваться. Кроме того, массивные члены скоплений, двигаясь среди остальных, своим тяготением увлекают соседей. Иногда находящиеся в центре скопления массивные галактики не только «обдирают» газовые короны проходящих через них галактик, но захватывают и звезды «космического гостя». Предполагается, в частности, что многие галактики, обладающие массивными гало, образовали их таким «каннибальским» путем.

По существующим расчетам, через 3 млрд лет своеобразным «каннибалом» станет и наша Галактика: она поглотит приближающееся Большое Магелланово Облако.

Глава 8. Жизненный путь звезды

Изучение строения и эволюции звезд – не только теоретическая и познавательная проблема, это важно и для техники будущего. Далекие звезды, к которым мы, казалось бы, могли быть совершенно равнодушными, «близки» и нужны человеку.

С. А. Каплан.

Физика звезд

Итак, образовались атомы и молекулы, остыл вселенский пыл Большого взрыва, пронеслись «темные» века Вселенной, и вихревые облака молекулярного водорода озарил свет первой звезды... Сразу же оговоримся, что самое начало жизни звезд и их происхождение составляет одну из самых трудных астрономических задач космогонии (науки о происхождении небесных тел), до сих пор не имеющей однозначного решения. Так, большой сенсацией для астрономов стал анализ наблюдений, показавший, что первые звезды зажглись намного раньше, чем предполагалось, спустя всего лишь 200 млн лет после рождения Вселенной. Эти научные данные подтвердили не только теорию Большого взрыва, но и новые взгляды на состав нашей Вселенной.

Как это ни странно, первая попытка дать ответ на вопрос, из чего образуются звезды, была сделана еще до изобретения телескопа, 400 лет тому назад! Совершил ее знаменитый астроном эпохи Возрождения Тихо Браге после наблюдения вспышки сверхновой. Он считал, что появление новой звезды связано с внезапным сгущением туманной материи, рассеянной по всему Млечному Пути.

Во многом проницательный Тихо Браге оказался прав: звезды новых поколений образуются в облаках молекулярного водорода, богатых другими молекулами и космической пылью.

Но как возникают облака?

В межзвездном газе возникают плотные и холодные сгустки, окруженные разреженной и более нагретой средой. Давление среды, в которую они погружены, не дает этим облакам раствориться в межзвездных просторах. Их может разрушить лишь интенсивное звездообразование.

Физическое состояние космической среды определяется в первую очередь процессами нагрева и охлаждения. Нагрев осуществляется разнообразными космическими лучами и электромагнитным излучением, наподобие того как происходит в СВЧ-печках. Вблизи горячих ярких звезд источником нагрева межзвездного газа может служить и излучение звезд. Охлаждение обязано главным образом столкновениям атомов и молекул друг с другом. При столкновениях происходит возбуждение атомов и молекул за счет энергии их движения, а возвращаясь в исходное состояние они излучают полученную ими энергию в виде фотонов, понижая температуру окружающей среды. Так тепловая энергия частиц превращается в излучение. Но охлаждается космическая среда из газа и пыли быстрее, ведь нагрев производится посторонними частицами – космическими лучами или фотонами, а охлаждение требует парного столкновения самих частиц газа друг с другом. Поэтому в единичном процессе нагрева участвует одна частица газа, а в единичном акте охлаждения – две.

Итак, согласно теоретическому сценарию, гигантское молекулярное облако проходит стадию конденсации с образованием многих сгустков или протозвезд. Протозвезды несколько плотнее сжатого слоя, из которого они конденсируются, но все же гораздо более разрежены и протяженны, чем образующиеся из них звезды. Каким же образом протозвезда уменьшается до типичных звездных размеров? Эту фазу рождения звезды наблюдать трудно, поскольку пыль образует вокруг звездного эмбриона оболочку, которая практически непрозрачна для видимого излучения.

Плотный фрагмент молекулярного облака, в котором еще не достигнуты температуры, необходимые для начала термоядерных реакций, т. е. превращения облака в звезду, называется в звездной космогонии протозвездой. Когда температура в центре протозвезды достигает нескольких миллионов градусов, начинаются термоядерные реакции, сжатие прекращается, и протозвезда становится звездой. В среднем в Галактике ежегодно рождаются десятки звезд с массой Солнца.

Молекулярные облака – это своеобразные фабрики по производству звезд. Диапазон масс только что произведенных простирается от сотых долей до сотни масс Солнца, причем маленькие звезды появляются значительно чаще. Примерно половина звезд рождается одиночными; остальные образуют двойные, тройные и, гораздо реже, более сложные системы. (Представьте себе, что на Земле исчезла ночь, а на небосклоне с разной скоростью в течение нескольких суток проплывают семь солнц! Правда, из-за перепадов температур в таких звездных системах зарождение

жизни крайне маловероятно.)

Конечно, процесс рождения звезды длится миллионы лет, это таинство скрыто от нас в недрах темных облаков, поэтому процесс практически недоступен прямому наблюдению в обычный телескоп. Астрофизики исследуют рождение звезд в основном с помощью радиотелескопов, а также рентгеновских и инфракрасных инструментов. Недалеко то время, когда на вооружение астрономов поступят нейтринные и гравитационные детекторы, ну а сейчас им чаще всего приходится строить теоретические модели, применяя методы компьютерного моделирования.

Недавно у ученых появились прямые наблюдательные данные об удивительных волнах звездообразования, распространяющихся в больших молекулярных облаках. Это поразительное явление чем-то напоминает мерцание частиц планктона в южных морях, возникающее под воздействием волн от плывущей лодки.

Превращение протозвезды в звезду сопровождается существенными изменениями в окружающей ее среде. Это связано прежде всего с влиянием на среду излучения звезды, которое становится более коротковолновым. По мере прогрева поверхности звезды цвет испускаемого ею излучения меняется от красного к голубому, в излучении появляются и фотоны ультрафиолетовой части спектра.

Но что породило первые яркие звезды, с которых началась «цепная реакция» звездообразования? Несомненно, это связано с каким-то внешним воздействием на молекулярное облако. Может быть, на него налетело соседнее молекулярное облако – ведь облака хаотически движутся друг относительно друга в диске Галактики. Возникают две ударные волны, которые распространяются в разные стороны от поверхности соприкосновения облаков, в каждом из них формируется слой уплотненного газа, способный стать зародышем звезды. Правда, расчет показывает, что вероятность таких столкновений не очень велика, вряд ли можно ожидать во всей Галактике более одного столкновения за каждые 10 млн лет. Для наблюдаемого темпа звездообразования в молекулярных облаках этого явно недостаточно.

Другая возможность активации звездообразования связана с взрывами звезд на поздних этапах их эволюции. При таком явлении оболочка звезды, а то и весь ее материал, выбрасывается с большой скоростью, что создает в окружающей среде взрывную ударную волну. Если это произошло не очень далеко от соседнего молекулярного облака, то в этом облаке вполне может возникнуть достаточно значительное уплотнение, чтобы «поджечь запал» процесса звездообразования.

Наконец, ударные волны в молекулярных облаках могут возникнуть благодаря «галактическому прибою». Дело в том, что многие галактики напоминают детские волчки: вращение их дисков превращает возмущения газа и пыли в своеобразные спиральные волны. Эти волны «накатываются» на холодный газ облаков со скоростью большей скорости звука в газе, что и порождает ударный эффект «сверхзвукового хлопка». Мы слышим эти хлопки, когда реактивные самолеты преодолевают звуковой барьер. Причем энергия такого звукового удара может быть весьма значительна и на малой высоте способна разбивать окна и даже переворачивать автомобили.

В позапрошлом веке в астрономии произошла своеобразная научная революция. Ученые стали сходить с накатанного пути классической астрономии, их перестали интересовать ответы на вопросы типа «где это, как и куда оно движется?» на рельсы астрофизики с вопросами «что это и как оно устроено». Одной из первоочередных задач на этом пути стала задача хотя бы внешнего упорядочивания классификации наблюдаемых во Вселенной звезд. Это и привело к независимому созданию двумя астрофизиками диаграммы, которую сегодня принято в их честь называть диаграммой Герцшпрунга – Рассела (или, сокращенно, «диаграммы ГР», см. *цветную вклейку*).

Любой звезде на диаграмме Герцшпрунга – Рассела обязательно найдется свое место. «Нормальные» звезды, включая Солнце, расположены в пределах диагональной ветви главной последовательности (место Солнца в главной последовательности вы можете определить по его спектральному бело-желтому цвету). Над главной последовательностью находятся ветви гигантов и сверхгигантов; под ней – ветвь белых карликов. По диаграмме можно проследить и эволюцию звезд. В частности, Солнце представлено в своем нынешнем положении, а пунктиром отмечены его предыстория и дальнейшая судьба.

Звезды бывают множества типов. Есть звезды, диаметр которых в десятки раз превышает диаметр Солнца, и есть звезды размером всего лишь с большой земной город. Есть звезды настолько горячие, что основной цвет в спектре их излучения – фиолетовый, и есть настолько «холодные», что даже темно-красный свет в их спектре выражен крайне тускло.

Диаграмма ГР представляет собой график, на котором по вертикальной оси отсчитывается светимость (интенсивность светового излучения) звезд, а по горизонтальной – наблюдаемая температура их поверхностей. Оба этих количественных показателя поддаются

экспериментальному измерению при условии, что известно расстояние от Земли до соответствующей звезды. Смысл диаграммы ГР заключается в том, чтобы нанести на нее как можно больше экспериментально наблюдаемых звезд (каждая из которых представлена соответствующей точкой) и по их расположению определить некие закономерности их распределения по соотношению спектра и светимости.

Отдельно – правее и выше – расположена группа звезд с очень высокой светимостью, не пропорциональной их температуре, которая относительно низка, это так называемые красные звезды-гиганты и сверхгиганты. Условно говоря, они светят, но не греют. Ниже и левее главной последовательности расположены карлики – группа относительно мелких и холодных звезд. Еще раз отметим, что подавляющее большинство звезд относится к главной последовательности, и энергия в них образуется путем термоядерного синтеза гелия из водорода.

Три последовательности на диаграмме ГР строго соответствуют трем этапам жизненного цикла звезд. Например, в левом нижнем углу диаграммы мы видим белых карликов. Это очень горячие звезды – но очень мелкие, размером, обычно, не больше нашей Земли. Поэтому, излучая в космос относительно немного энергии, они, по причине весьма незначительной (на фоне других звезд) площади их поверхностной оболочки, светятся в достаточно ярком спектре, поскольку она оказывается достаточно высокотемпературной.

Распределение ГР носит не случайный характер: по соотношению спектра со светимостью звезды делятся на три астрофизические «последовательности». Из верхнего левого угла в правый нижний тянется так называемая главная последовательность. К ней относится, в частности, и наше Солнце. В верхней части главной последовательности расположены самые яркие и горячие звезды, а справа внизу – самые тусклые и, как следствие, долго живущие.

Вообще, по диаграмме ГР можно проследить весь жизненный путь звезды. Сначала звезда главной последовательности, подобная Солнцу, конденсируется из газо-пылевого облака и уплотняется до создания давлений и температур, необходимых для разжигания первичной реакции термоядерного синтеза. При этом она, соответственно, появляется где-то в основной последовательности диаграммы ГР. Пока звезда горит (запасы водорода не исчерпаны), она так и остается, как Солнце, в основной последовательности, практически не смещаясь. После того как запасы водорода исчерпаны, звезда сначала перегревается и раздувается до размеров красного гиганта или сверхгиганта, отправляясь в правый

верхний угол диаграммы, а затем остывает и сжимается до размеров белого карлика, оказываясь слева внизу.

Хотя по человеческой шкале времени звезды и кажутся вечными, они, подобно всему сущему в природе, рождаются, живут и умирают. Согласно общепринятой гипотезе звездообразования, оно происходит в результате гравитационного сжатия межзвездного газопылевого облака. По мере уплотнения такого облака сначала образуется протозвезда, температура в ее центре неуклонно растет, пока не достигает критического предела.

В последующем возможны два сценария развития событий: концентрация материи в больших структурах с последующим формированием в них звезд или формирование звезд с последующим объединением их в большие структуры.

Пока еще неизвестно, какой из них был реализован и что в действительности являлось источником энергии для первых источников света, осветивших Вселенную, – звезды с их термоядерным синтезом или излучение, вызванное падением материи на черные дыры.

Черные дыры могут играть важную роль на начальной стадии формирования галактик, собирая материю вместе посредством своей мощной гравитации. Новые открытия супермассивных черных дыр в центрах трех ближайших эллиптических галактик только прибавляют в этом уверенности.

Такая связь, естественно вызывает вопрос и о том, что появилось сначала – галактика или черная дыра, хотя последние данные в большей степени указывают на то, что именно черные дыры формируют вокруг себя галактики. Стало быть, есть надежда: спор по поводу того, что появилось раньше – «курица» (галактика) или «яйцо» (массивная черная дыра), по всей видимости, будет разрешен уже в обозримом будущем.

Рано или поздно, однако, любая звезда израсходует весь пригодный для сжигания в своей термоядерной топке водород. Что дальше? Это также зависит от массы звезды. Солнце (и все звезды, не превышающие его по массе более чем в восемь раз) заканчивают жизнь весьма банально. По мере истощения запасов водорода в недрах звезды силы гравитационного сжатия, терпеливо ожидавшие этого часа с самого момента зарождения светила, начинают одерживать верх – и под их воздействием звезда начинает сжиматься и уплотняться.

Этот процесс приводит к двоякому эффекту: температура в слоях непосредственно вокруг ядра звезды повышается до уровня, при котором содержащийся там водород вступает, наконец, в реакцию термоядерного синтеза с образованием гелия. В то же время температура в самом ядре,

состоящем теперь практически из одного гелия, повышается настолько, что уже сам гелий – своего рода «пепел» затухающей первичной реакции нуклеосинтеза – вступает в новую реакцию термоядерного синтеза: из трех ядер гелия образуется одно ядро углерода. Этот процесс вторичной реакции термоядерного синтеза, топливом для которого служат продукты первичной реакции, – один из ключевых моментов жизненного цикла звезд.

При вторичном сгорании гелия в ядре звезды выделяется так много энергии, что звезда начинает раздуваться. В частности, оболочка Солнца на этой стадии жизни расширится за пределы орбиты Венеры. При этом совокупная энергия излучения звезды остается примерно на том же уровне, что и в течение основной фазы ее жизни, но поскольку теперь эта энергия излучается через значительно большую площадь поверхности, внешний слой звезды остывает до красной части спектра. Звезда превращается в красный гигант.

Для звезд класса Солнца после истощения топлива, питающего вторичную реакцию нуклеосинтеза, снова наступает стадия гравитационного коллапса – на этот раз окончательного. Температура внутри ядра больше не способна подняться до уровня, необходимого для начала термоядерной реакции следующего уровня. Поэтому звезда сжимается до тех пор, пока силы гравитационного притяжения не будут уравновешены следующим силовым барьером. В его роли выступает давление электронного газа. Электроны, до этой стадии игравшие роль безработных статистов в эволюции звезды, на определенной стадии сжатия оказываются лишенными «жизненного пространства» и начинают «сопротивляться» дальнейшему гравитационному сжатию звезды. Состояние звезды стабилизируется, она превращается в вырожденного белого карлика, который будет излучать в пространство остаточное тепло, пока не остынет окончательно.

Срок жизни звезды и то, во что она превращается в конце пути, полностью определяется ее массой. Звезды с массой больше солнечной живут гораздо меньше Солнца, а время жизни самых массивных звезд – всего миллионы лет. Для подавляющего большинства звезд время жизни – около 15 млрд лет. После того как звезда исчерпает источники энергии, она начинает остывать и сжиматься. Конечным продуктом эволюции звезд являются компактные массивные объекты, плотность которых во много раз больше, чем у обычных звезд.

Подобно земной бабочке, жизнь белого карлика начинается с того, что он сбрасывает с себя кокон, под которым была скрыта сущность. Продолжая эту аналогию, можно сказать, что наше Солнце – это

своеобразная гусеница, а когда оно сбросит с себя кокон газовой оболочки, это будет великолепнейшее зрелище! Когда-нибудь наше Солнце тоже превратится в «бабочку белого карлика», но это случится не раньше, чем через 5 млрд лет.

С одной стороны, общая картина рождения и жизни звезд ясна, поскольку в радио– и инфракрасном диапазонах исследовано большое число протозвезд на разных стадиях процесса рождения. С другой – образование звезды происходит достаточно быстро, и некоторые наиболее короткие этапы этого процесса, к сожалению, не представляется возможным наблюдать. Кроме того, пыль (звезда ведь не рождается из ничего) мешает рассмотреть многие важные детали. Поэтому изучение звездообразования является одним из основных приоритетов в мировой астрономии, и многие крупные проекты (включая космические) нацелены на исследование именно этого процесса.

Любопытно, что в составе земных живых организмов и человека много кислорода, азота и углерода. И все эти элементы когда-то побывали внутри ядерных топок звезд, а потом, будучи выброшенными в межзвездное пространство, образовали пылегазовые облака.

Глава 9. Сверхновые, белые карлики и нейтронные светила

Так что, собственно, у нас общего с новыми и сверхновыми? Разве не правда, что за исключением случайного беглого взгляда, брошенного нами на какую-нибудь яркую звезду в небе, нам от них ни жарко, ни холодно, и мы оставляем их астрономам и писателям научно-популярной литературы?

К такому взгляду можно прийти, если мы, в самом деле, полностью безразличны к тому, как образовалась наша Вселенная, как появились Солнце и Земля, как развивалась жизнь и какие возможные опасности будут подстерегать человечество в будущем, потому что взрывающиеся звезды имеют самую тесную связь с каждой из этих вещей.

А. Азимов.

Взрывающиеся солнца.

Тайны сверхновых

Жизненный путь каждой звезды предопределен с самого начала ее массой. Солнцеподобные звезды умирают тихо и достойно, медленно сбрасывая внешние газовые оболочки, как деревья осеннюю листву. Более массивные звезды устраивают совершенно фантастический космический фейерверк, неистово разрываясь в чудовищных катаклизмах и превосходя на какое-то время по яркости целую галактику. Эта короткая вспышка звезды в конце ее жизненного цикла и является взрывом сверхновой (см. *цветную вклейку*).

Как и у человека, жизнь звезды – бесконечный поиск продуктов питания, т. е. новых источников энергии. Например, для нашего Солнца горение закончится где-то через 5 млрд лет на этапе образования гелия из водорода.

Чем массивнее и ярче звезда, тем быстрее она расходует запасы горючего, соответственно, быстрее сокращая свою жизнь. В основной

части жизненного цикла звезды идет процесс превращения водорода в гелий. Массивные звезды в десятки солнечных масс успевают сжечь весь водород всего за несколько миллионов лет. В конце эволюции, после завершения эпохи сияния, звезды сбрасывают внешние слои, а центральное ядро превращается в *белого карлика*, *нейтронную звезду* или *черную дыру*.

Пока еще мало известно о рождении звезд, но еще меньше астрономы знают о взрывах сверхновых. Эти редко наблюдаемые с Земли космические события могут оказаться просто смертельными для человеческой цивилизации своими губительными потоками высокоэнергетического излучения. Однако вероятность взрыва сверхновой вблизи Солнечной системы не столь велика. Гораздо чаще ученые наблюдают конечный результат таких космических сверхвзрывов. Взрыв тяжелой сверхновой звезды сопровождается не только резким увеличением светимости, но и выбросом огромной массы газа и пыли в окружающее пространство. Из подобного остывшего «праха» когда-то образовалась и наша Солнечная система. Затем на планете Земля появились растения, животные и человек. Таким образом, все атомы тяжелых элементов внутри нас когда-то были внутри бурлящего термоядерного реактора какой-то из звезд.

Наверное, нет в астрономии объектов более красивых, чем так называемые планетарные туманности с «белыми карликами». Белые карлики были открыты еще в позапрошлом столетии, но объяснить их природу удалось лишь используя новую квантовую механику. Эти удивительные звезды оказались первыми известными науке космическими объектами, живущими по квантовым законам. Ученые, объяснившие происхождение и физическую природу белых карликов, были отмечены высшей научной наградой – Нобелевской премией.

Видимый цвет звезды определяется температурой термоядерной реакции, происходящей в ее глубинах. Но поскольку у белых карликов нет источников энергии и все термоядерные реакции прекратились, белый цвет на начальном этапе их жизни определяется запасенным теплом. По мере остывания цвет этих звездных объектов меняется от белого к красному, и в конце концов почерневший темно-красный карлик будет иметь температуру всего лишь в несколько тысяч градусов. Кстати, ниже температура и не опустится, поскольку падение вещества из межзвездной среды на поверхность карлика будет его постоянно разогревать.

Современные телескопы позволяют разглядеть белые карлики на большом расстоянии, даже если те уже успели изрядно остыть. Изучение подобных объектов дает много важной информации об истории нашей Галактики, особенно о раннем периоде. Их исследование позволяет

определить возраст диска Галактики и различных скоплений, в которых наблюдаются белые карлики.

Если же белый карлик одинок, то он достаточно быстро становится слабым и тусклым объектом. Старые источники подобного типа в десятки тысяч раз слабее Солнца, которое само по себе является заурядным желтым карликом.

Белый карлик устойчив, поскольку гравитация, стремящаяся его сжать, уравнивается давлением вырожденного электронного газа. Однако с увеличением своей массы карлик в конце концов потеряет устойчивость и, вспыхнув на короткое время, станет *нейтронной звездой*. Каким же образом может увеличиться масса белого карлика? Прежде всего, путем захвата вещества у соседних звезд (астрономы называют этот процесс *аккреция*). Например, если у карлика есть звезда-компаньон, то ее материя может при определенных условиях начать перетекать на компактный объект карлика. Другой вариант увеличения массы возможен при слиянии двойной системы, состоящей из двух белых карликов.

Возникающие при этом сверхновые звезды очень важны для астрономов, поскольку они похожи друг на друга. Это позволяет использовать их в качестве так называемых «*стандартных свеч*». Наблюдая сверхновую этого типа в далекой галактике, можно с достаточной степенью точности определить расстояние до нее. Именно такие наблюдения позволили сделать недавнее сенсационное открытие об ускоряющемся расширении Метагалактики. Ниже будет рассказано, к каким важнейшим следствиям приводит этот удивительный факт все современное естествознание, а пока заметим, что белые карлики здесь сыграли очень важную роль. Сейчас даже планируется запуск специальных космических телескопов для поиска далеких сверхновых, разгорающихся из белых карликов.

Вспышки сверхновых представляют собой одни из самых катастрофических событий из тех, что известны астрономам. На деле эти чудовищные процессы, так же, как и Большой взрыв, по своей сути очень мало напоминают привычные нам взрывы. Нам просто не с чем сравнить в земных условиях подобные фантастические катаклизмы. Ведь «взрыв» сверхновой эквивалентен взрыву одного миллиона триллиона триллионов (единица с тридцатью нулями!) мегатонн одного из самых сильных взрывчатых веществ – тринитротолуола.

Масштаб бедствия для окружающей среды, в случае вспышки на одной из ближайших к нам звезд, сопоставим с ядерным взрывом в нескольких километрах (соответствующих световым годам) от

муравейника – нашей Солнечной системы.

После такого чудовищного взрыва остается расширяющаяся оболочка сверхновой, которая становится ярче всей галактики, но через месяцы ослабнет и перестанет быть видимой. Вызванные катастрофическим гравитационным сжатием (коллапсом) ядра массивной звезды или термоядерным взрывом белого карлика, вспышки сверхновых происходят приблизительно каждую четверть века.

После яростного взрыва сверхновой звезды образуются еще одни удивительнейшие космические объекты – *нейтронные звезды*. Сверхсильные магнитные поля этих звезд, сверхплотное вещество в недрах и сверхсильная гравитация на поверхности придают им совершенно уникальные свойства. Первые открытые нейтронные звезды были своеобразными радиомаяками – *радиопульсарами* или источниками рентгеновского излучения в тесных двойных системах.



Строение нейтронной звезды

Радиоизлучение пульсаров объясняется наличием сильного магнитного поля и невероятно быстрым вращением: шарик массой примерно с наше Солнце и диаметром несколько десятков километров

успевает повернуться вокруг своей оси за сотые доли секунды. Визуально заметить вращение многих нейтронных звезд невозможно, поскольку полный оборот они совершают быстрее, чем успевает смениться кадр в фильме.

Как часто взрываются звезды? Трудно точно ответить на этот вопрос, ведь в обычной спиральной галактике подобной нашему Млечному Пути свет интенсивно поглощается газом и пылью галактического диска. Поэтому наблюдения таких событий очень редки. В 1572 году знаменитый датский астроном Тихо Браге был свидетелем этого редкого события. Остаток вспышки можно еще наблюдать в виде ударной волны, которая родилась при взрыве и продолжает расширяться, взаимодействуя с газом и пылью межзвездной среды. Туманность, оставшаяся после этого взрыва, называется остатком вспышки Тихо.

Рентгеновское излучение нейтронной звезды возникает благодаря сильнейшей гравитации на ее поверхности. Камень, брошенный на такой объект, приведет к выделению такой энергии, которая превысит энергию взрыва атомной бомбы такой же массы. Если система двойная, то возможна ситуация, когда вещество начнет перетекать на нейтронную звезду со второго компонента, и мертвая нейтронная станет активно излучать рентгеновские кванты.

Итак, судьба звездных систем полностью определяется их массой, полученной при рождении. От массы зависит также и то, станет ли сконденсировавшийся из межзвездной материи комок вещества звездой. Для этого необходимо, чтобы в его недрах начались термоядерные реакции. Чем больше начальная масса газового шара, тем больше будут плотность вещества и температура в его центре. Соответственно, есть некоторая критическая масса, при достижении которой происходит синтез химических элементов и водород начинает превращаться в гелий. Если масса меньше критической, то звездная карьера прерывается и несостоявшиеся звезды превращаются в *коричневых* или *бурых карликов*.

При наблюдении в инфракрасном диапазоне спектра в этой близкой к нам области звездообразования было обнаружено более сотни мало массивных объектов – кандидатов в незаметные коричневые карлики. Коричневые карлики представляют собой неудавшиеся звезды, массы которых составляют только несколько процентов солнечной массы и ее недостаточно, чтобы поддерживать ядерные реакции горения водорода. Как известно, реакции горения водорода являются основным источником энергии у звезд типа Солнца. Однако массы коричневых карликов достаточно, чтобы протекали другие ядерные реакции, в которых

образуется дейтерий. При этом встречаются маленькие черные карлики с массой меньше процента солнечной, но ее недостаточно для образования дейтерия. Эти странные объекты напоминают гигантские планеты, дрейфующие «в свободном полете». Они весят в несколько раз больше Юпитера и сформировались около миллиона лет назад.

Интересно, что у бурых и белых карликов, несмотря на их разные судьбы, есть важная общая черта. Вещество и тех и других находится в совершенно особом квантовом состоянии, когда электроны оказываются настолько «плотно упакованными», находятся настолько близко друг к другу, что описать поведение вещества становится возможным лишь с помощью законов квантовой механики. В этом особом состоянии электронный газ создает сильное давление, которое и ограничивает дальнейшее сжатие протозвезды и, соответственно, рост ее температуры. Впервые такое предположение высказал американский астрофизик Кумар, поэтому предельную массу, отличающую «активные» звезды от потухших и неродившихся звезд, называют пределом Кумара. Он равен сотым долям солнечной массы (точное значение зависит от химического состава).

Бурые карлики были предсказаны в середине прошлого века. Но еще долгое время они существовали только на бумаге в теоретических моделях астрофизиков. Первый был открыт только в конце прошлого века. Сейчас благодаря внеатмосферным наблюдениям с помощью космических телескопов стало известно о многих звездных объектах этого типа. Астрономы уже наблюдали двойные бурые карлики, бурые карлики с планетами, звездные системы из карликов и иных звезд. Коричневых карликов настолько много, что они должны встречаться и в ближайших окрестностях Солнечной системы. Однако заметить эти слабосветящиеся объекты очень нелегко, особенно если они одиноки.

В образовании звезд и подобных им объектов есть еще немало загадок. По всей видимости, механизм образования бурых карликов такой же, как и у маломассивных звезд. Однако полной ясности здесь нет, и астрофизики рассматривают несколько возможностей.

Отгорев или еще не родившись, звезда оказывается в удивительно стабильном состоянии, которое может длиться миллиарды миллиардов лет. В современной сравнительно молодой Вселенной таких объектов не много, но со временем именно они составят основную массу видимой материи.

Массивные звезды расточительно сжигают ядерное топливо в реакциях ядерного синтеза, которые проходят при высочайших температуре и давлении. При этом из ядер легких элементов водорода и гелия образуются углерод, кислород и другие вещества, вплоть до железа. При

взрыве сверхновой – неизбежной и эффектной кончине массивной звезды – в космическое пространство выбрасывается вещество, обогащенное тяжелыми элементами, из которого образуются новые звезды и планеты.

Вспышки сверхновых не только оставляют после себя «звездные саваны» пылегазовых оболочек, но и активно формируют окружающий космический «рельеф», в значительной степени определяя свое галактическое окружение. Влияние их в том, что в результате взрывов сверхновых интенсивно перемешиваются облака пыли и газа, изменяется химический состав и месторасположение будущих поколений звезд и целых звездных систем. Подтверждением этому может служить сферическая туманность в соседней галактике Большое Магелланово Облако. Это яркий и очень большой пузырь в межзвездном пространстве протяженностью около 300 световых лет, выдутый вспышками сверхновых звезд и заполненный очень разреженным расширяющимся горячим газом.

У звезд более массивных, нежели Солнце, конец жизненного цикла куда более зрелищный. Даже после сгорания всего гелия массы такой звезды при ее сжатии оказывается вполне достаточно для разогрева ядра и оболочки до температур, необходимых для запуска следующих реакций ядерного синтеза углерода, затем кремния, магния и так далее, по мере роста ядерных масс. При этом каждая новая реакция в ядре звезды сопровождается продолжением предыдущей в ее оболочке.

Все химические элементы вплоть до железа, из которых состоит Вселенная, образовались именно в результате нуклеосинтеза в недрах умирающих звезд этого типа.

Но железо – это предел; оно не может служить топливом для реакций ядерного синтеза или распада ни при каких температурах и давлениях, поскольку и для его распада, и для добавления дополнительных нуклонов необходим приток внешней энергии. В результате массивная звезда постепенно накапливает внутри себя железное ядро, которое не способно послужить топливом ни для каких дальнейших ядерных реакций.

Как только температура и давление внутри ядра достигают определенного уровня, электроны начинают вступать во взаимодействие с протонами ядер железа, в результате чего образуются нейтроны. За короткий отрезок времени в несколько секунд свободные электроны буквально растворяются в протонах ядер железа. Так все вещество ядра звезды превращается в сплошной сгусток нейтронов и начинает стремительно сжиматься в гравитационном коллапсе, поскольку противодействовавшее ему давление электронного газа падает до нуля.

Внешняя оболочка звезды, из-под которой оказывается выбита всякая

опора, обрушивается к центру. Энергия столкновения обрушившейся оболочки с нейтронным ядром очень высока. Она с огромной скоростью отскакивает от ядра и разлетается во все стороны от него – звезда буквально взрывается в ослепительной вспышке сверхновой звезды.

За считанные секунды при вспышке сверхновой может выделяться в пространство больше энергии, чем выделяют за это же время все звезды галактики вместе взятые!

После вспышки сверхновой и разлета оболочки из звезд массой в десятки солнечных образуются нейтронные звезды с диаметром приблизительно 15–20 км. В конечном результате возникает быстро вращающаяся нейтронная звезда, испускающая электромагнитные импульсы с частотой ее вращения; такие звезды называются пульсарами.

У сверхплотных ядер нейтронных звезд более низкая энергия, чем у обычного атомного ядра. Так что прирост массы сверхплотного ядра будет энергетически выгоден.

Можно предложить заманчивую перспективу обуздания этого звездного «монстра», используя сверхплотное ядро в качестве своеобразного источника энергии путем рассеивания на нем потока обычных частиц.

Вполне может быть, что в далеком будущем человечество научится таким образом не только решать свои энергетические проблемы, но и утилизировать «отходы» жизнедеятельности, превращая «мусор цивилизации» в полезное излучение.

Таким образом, изучение парадоксальной физики нейтронных звезд дает возможность заново проверить единство законов природы. Со времени создания квантовой механики ученые настойчиво ищут макроквантовые явления, связывающие законы микро– и макромира. Поэтому было бы очень важно не только качественно описать, но и количественно смоделировать эволюцию таких квантовых астрофизических объектов, как нейтронные звезды. История научных исследований показывает, что многие гипотезы, которые казались когда-то экзотическими, становились простыми и очевидными истинами после экспериментального обнаружения явлений. Несомненно, что дальнейшее изучение процессов, протекающих в нейтронных звездах, позволит сделать еще много новых захватывающих открытий.

Астрофизики пытаются прогнозировать маршрут звездной эволюции, проходящий через вспышку сверхновой с помощью специальных компьютерных программ. Эти электронные модели позволяют понять самое главное: какие внешние и внутренние причины могут ускорить или

замедлить космическую катастрофу.

Наконец, если масса ядра звезды превышает 30 солнечных масс, ничто не в силах остановить ее дальнейший гравитационный коллапс, и после вспышки сверхновой образуется удивительнейший космический объект – *черная дыра*.

Глава 10. Бездонные провалы пространства–времени

Мы видим, что почти все космические объекты вращаются вокруг своих осей, это и планеты, и звезды, и галактики. С черными дырами сложнее, очень трудно непосредственно увидеть, что они вращаются, так как у них нет твердой поверхности, по которой можно было бы отметить вращение. Мы можем, однако, видеть свет, излученный веществом, падающим на черную дыру. Вещество очень быстро вращается вокруг черной дыры, прежде чем исчезнуть в ней навсегда.

Т. Стренер.

Исследование черных дыр

Мы уже упоминали о едва ли не самых загадочных объектах Вселенной – гравитационных коллапсарах, или застывших (замерзших) звездах, чаще всего называемых черными дырами. Черные дыры – самые грандиозные источники энергии во Вселенной. Мы, вероятно, наблюдаем их в далеких квазарах, во взрывающихся ядрах галактик. Они возникают также после смерти больших звезд. Возможно, черные дыры в будущем станут источниками энергии для человечества. Однако, что бы ни говорили физики, астрофизики и астрономы, на момент написания этой книги гравитационные коллапсары оставались *гипотетическими объектами*.

В конце шестидесятых годов видный астрофизик Джон Уилер, будучи убежденным противником модели застывших звезд коллапсаров, уничижительно назвал их в научно-популярной радиопередаче «черными дырами». И хотя в историю науки понятие гравитационного коллапсара вошло еще в XVIII веке, с легкой руки Уилера название «черная дыра» появилось в научных статьях и сообщениях журналистов именно после его критического высказывания в 1968 году.

Черной дырой коллапсара называется область пространства – времени, в которой гравитационное поле столь сильно, что ни один объект, включая свет, не может вырваться из нее. Из области пространства – времени

черной дыры невозможно никакое сообщение с внешней по отношению к ней Вселенной. У гравитационного коллапсара нет поверхности как таковой, но есть граница, которая называется *горизонтом событий*.

По загадочным законам распространения научной терминологии словосочетание «черная дыра» постепенно, но довольно быстро вытеснило использовавшиеся ранее определения «гравитационный коллапсар», «застывшая» и «замерзшая» звезда. Существует несколько разновидностей коллапсаров. В их состав входят первичные, возникшие в далекую эпоху формирования Вселенной, собственно застывшие звезды в конце своего эволюционного пути, загадочные ядра галактик и квазаров, а также микроколлапсары, которые физики надеются получить на новых сверхмощных ускорителях элементарных частиц. Исходя из этого мы в дальнейшем будем использовать всю имеющуюся терминологическую палитру для соответствующей смысловой окраски «провалов пространства – времени».

Исторически создание первых моделей гравитационных коллапсаров связано с именем английского геофизика и астронома Джона Мичелла. Основываясь на теории всемирного тяготения Ньютона, Мичелл рассмотрел существование сверхмассивных звезд, тяготение которых полностью задерживает лучи света, не способного покинуть их поверхность. Правда, называть коллапсарами «темные звезды» Мичелла было бы неправильно. Это была лишь первичная половинчатая схема расчетов, согласно которой звезда с массой Солнца при сжатии до радиуса в 3 км остановила бы своим притяжением даже корпускулы света Ньютона (в те времена господствовала корпускулярная теория светового излучения). Естественно, что заметить такую абсолютно черную звезду было бы невозможно. Свои построения Мичелл изложил на одном из заседаний Лондонского Королевского общества в 1783 году. Так возникла первая модель гравитационного коллапсара, которую сейчас называют «*ньютоновской черной дырой*».

В начале XX века разразилась вторая научная революция (первая произошла во времена Галилея и Ньютона), перевернувшая устоявшиеся представления об окружающей реальности. В глубинах микромира возникла новая квантовая физика, созданная великим Максом Планком, а космические просторы Вселенной стала описывать теория относительности не менее великого Альберта Эйнштейна.

Теория относительности состоит из двух частей: специальной теории относительности (СТО), описывающей движение с околосветовыми скоростями, и общей теории относительности (ОТО), содержащей новую

теорию гравитации. Теория тяготения Эйнштейна связывала гравитацию с искривлением пространства и сразу же привлекла внимание многих физиков. Один из них, Карл Шварцшильд, вместе с Эйнштейном был действительным членом Берлинской академии наук, где гениальный физик периодически докладывал результаты своих теоретических изысканий. Академик Шварцшильд одним из первых попытался применить еще малознакомый аппарат ОТО в некоторых задачах астрофизики. Расчеты Шварцшильда наглядно показали, что тяготение звезды не слишком искажает ньютоновскую структуру пространства и времени лишь в том случае, если ее радиус намного больше той самой величины, которую вычислил Джон Мичелл! Этот параметр и получил название *гравитационного радиуса Шварцшильда*.

Согласно ОТО, тяготение не влияет на скорость света, но замедляет течение времени вблизи массивных небесных тел и, следовательно, уменьшает частоту световых колебаний – свет начинает краснеть. К примеру, на поверхности звезды, в четыре раза превосходящей по радиусу сферу Шварцшильда, поток времени течет на пятнадцать процентов медленнее, а при двукратном превышении гравитационного радиуса время замедляет свой бег уже на сорок процентов. Самое же интересное начинается в непосредственной близости от радиуса Шварцшильда. При достижении гравитационного радиуса время на поверхности звезды полностью останавливается (все частоты обнуляются, излучение замораживается, звезда гаснет), но кривизна пространства все еще конечна. Вдали от светила геометрия по-прежнему остается евклидовой, да и время не меняет своей скорости.

Несмотря на внешнюю схожесть схем коллапсаров Мичелла и Шварцшильда их физическое содержание разительно отличается. У Мичелла пространство и время, согласно Ньютону и Галилею, абсолютно неизменно и однородно, а скорость света замедляется, будучи зависимой от силы тяготения. Звезда, размеры которой меньше ее гравитационного радиуса, продолжает светить, однако видна она будет только наблюдателю, находящемуся в непосредственной близости от гравитационного радиуса. В модели Шварцшильда скорость света абсолютна, согласно теории относительности, но само тяготение определяется искаженностью пространства – времени. Звезда, прошедшая в своей эволюции этап сферы Шварцшильда, навсегда исчезает для любого близкого наблюдателя.

И Мичелл, и Лаплас, и Шварцшильд, и даже сам Эйнштейн считали, что гравитационные коллапсары являются лишь своеобразным математическим парадоксом, не существующим в природе. Однако в

тридцатые годы прошлого века молодой индийский астрофизик Чандрасекар доказал, что истратившая свое ядерное топливо звезда сбрасывает газовую оболочку и превращается, если ее масса меньше где-то около полутора солнечных (в историю науки эта величина вошла как *предел Чандрасекара*), в медленно остывающий звездный объект, получивший название *белый карлик*. Белые карлики представляют собой компактные звезды с околосолнечными массами, но с радиусами в сотни раз меньшими, соответственно, их светимость меньше солнечной в тысячи раз. Плотность вещества белых карликов составляет тысячи тонн в кубическом сантиметре, что в миллион раз выше плотности обычных звезд. Белые карлики, несмотря на свои экзотические свойства, являются не столь уж редкими объектами во Вселенной, так, в нашей Галактике они составляют около десяти процентов звездного населения.

Следующий этап развития представлений о поведении вещества и света вблизи гигантских масс связан с именем знаменитого физика Роберта Оппенгеймера. Будущий отец американской атомной бомбы в конце тридцатых годов прошлого века занимался в Калифорнийском университете теоретическими исследованиями сжатия сверхбольших масс вещества под действием собственных сил гравитации. Применяв общую теорию относительности, Оппенгеймер получил удивительный результат: когда «сверхкритическая» масса начинает сжиматься, процесс не может быть остановлен и она устремляется в точку. Именно это явление и получило название «*гравитационный коллапс*», приводящий к возникновению «*коллапсаров*» (они же *застывшие* или *замерзшие* звезды и *черные дыры*).

Итак, мы видим, что разрывы ткани пространства–времени с застывшими в гравитационном коллапсе застывшими звездами давно уже не дают покоя физикам-теоретикам, астрофизикам и астрономам. И тут надо подчеркнуть, что все же черные дыры застывших звезд гравитационных коллапсаров, несмотря на множество самых разнообразных косвенных наблюдений, остаются пока еще гипотетическими небесными объектами. Строго говоря, мы не имеем даже права употреблять термин «*черная дыра*» без обязательной приставки «*кандидат в*». Да и в теории коллапсирующих объектов тоже далеко не все гладко, ведь внутри условной оболочки застывшей звезды – *экзосферы* свойства пространства – времени претерпевают странные изменения, стремительно становясь экстремально-сингулярными. Здесь даже известные своими «*математическими фантазиями*» теоретики не могут прийти к единому мнению и хотя бы качественно описать происходящие

там явления, ведь проблема сингулярности в условном центре коллапсара – это вечная задача о материи и энергии, стремящейся к бесконечной плотности.

Неутихающие споры вызывают и возможные космические сценарии происхождения коллапсаров. Так, большинство ученых считает, что застывшие звезды – это сингулярные остатки гравитационного коллапса достаточно больших масс, возникших при объединении нескольких мелких небесных тел и последующего гравитационного налипания вещества. Этот процесс очень напоминает рост снежного кома, первоначально слепленного из нескольких снежков и катящегося по снежному насту. Однако у определенной части космологов есть мнение, что черные дыры возникли изначально в процессе катаклизма Большого взрыва, приведшего к рождению нашей Вселенной. За последующие миллиарды лет часть из них слилась друг с другом, при этом многие коллапсары достигли гигантских размеров, образовав ядра квазаров и галактик.

Явление гравитационного коллапса дает столь обильную пищу для самых необычных теоретических построений, что среди них возникают даже представления о коллапсарах как протяженных телах, состоящих из вещества в необычном состоянии, застывшего в процессе коллапса подобно воде, превратившейся в лед. Международный коллектив физиков, сделавших такое смелое предположение, считает, что их модель сможет объединить общую теорию относительности и квантовую механику. Подобные инновационные модели застывших звезд позволяют избежать трудностей «стандартных» сингулярных схем, содержащих сингулярности с бесконечными плотностями материи – энергии, окруженные воображаемой поверхностью горизонта событий.

Эта воображаемая силовая оболочка является своеобразным Рубиконом для путешественников в глубины черной дыры, ведь перейдя этот незримый гравитационный барьер материальное тело в принципе не сможет возвратиться назад. Именно за горизонтом событий, или эргосферой, начинаются очень странные эффекты, о которых мы уже упоминали: пространство меняется по смыслу со временем, пространство – время меняет размерность и закручивается в кокон....

Как показали исследования Стивена Хокинга, гравитационная сингулярность глубоко парадоксальна и с точки зрения квантовой механики, поскольку допускает потерю информации из нашего мира. Впрочем, сам Хокинг в ходе умозрительных дальнейших построений уже неоднократно менял точку зрения.

В альтернативных концепциях черных дыр понятие горизонта событий

отсутствует. Общая идея состоит в том, что существует сила, способная на определенном этапе остановить коллапс звезды. При этом материя меняет свои фундаментальные свойства, вещество становится антигравитирующим и в нем начинают преобладать силы отталкивания. Предполагается, что подобными свойствами обладает основная «начинка» нашей Вселенной – темная энергия, которая и вызывает наблюдаемое ускоренное расширение Метагалактики.

В окружающей нас природе вещество постоянно переходит в различные агрегатные состояния: газ – жидкость – твердое тело, нечто подобное предполагается и в ходе гравитационного коллапса. При сверхвысоких плотностях энергии вещество переходит в новое агрегатное состояние, как бы затвердевая в состоянии особой сверхкритичной кристаллизации. В результате образуется совершенно уникальный физический объект, который ученые назвали *гравастаром*. Физики-теоретики придумали для него образ эскимо: твердая корка из очень плотного, привычного нам «материального» вещества на уровне горизонта событий, и необычное содержимое внутри.

Поверхность сферы Шварцшильда действительно может служить своеобразным порталом в иную физику, где рядом с уравнениями общей теории относительности стоят законы фазового перехода обычного пространства – времени в иную сущность. Все это очень напоминает агрегатные превращения жидкостей. Например, когда вода замерзает, молекулы остаются прежними, а их коллективное поведение резко изменяется вместе с физическими законами, поскольку законы, применимые к жидкости, перестают действовать. А вот переход жидкости в поразительное состояние сверхтекучести, когда она способна вытекать из сосуда «вверх», будут определяться уже законами квантовой механики, действующей в мире элементарных частиц. Именно подобный квантовый фазовый переход и может иметь место при пересечении горизонта событий.

Мы затронули обжигающие своей новизной физические модели застывших звезд гравитационных коллапсаров, и конечно же, у их критиков находится масса возражений и вопросов. Например, каким именно образом изменяется состояние вещества или пространства – времени в процессе коллапса звезды? Действительно, превращение массивной звезды, состоящей из обычного газа, подчиняющегося школьным законам физики в объект со столь странной структурой, как гравастар, довольно сложно обосновать. Правда, здесь на помощь могут прийти различные варианты теории квантовой гравитации, например, теория струн объясняет парадоксы черных дыр без отказа от горизонта событий и теории

относительности. Вот что писал о теории струн (она же теория стрингов, суперструн, мембран и многомерных бран) известный американский физик-популяризатор Джеймс Трефил:

«Различные версии теории струн сегодня рассматриваются в качестве главных претендентов на звание всеобъемлющей универсальной теории, объясняющей природу всего сущего. А это – своего рода священный грааль физиков-теоретиков, занимающихся теорией элементарных частиц и космологии. Теория всего сущего содержит всего несколько уравнений, которые объединяют всю совокупность человеческих знаний о характере взаимодействий и свойствах фундаментальных элементов материи, из которых построена Вселенная. Сегодня теорию струн удалось объединить с концепцией суперсимметрии, в результате чего родилась теория суперструн, и на сегодняшний день это максимум того, что удалось добиться в плане объединения теории всех четырех основных взаимодействий (действующих в природе сил).

Сама по себе теория суперсимметрии уже построена на основе априорной современной концепции, согласно которой любое дистанционное взаимодействие обусловлено обменом частицами-носителями взаимодействия соответствующего рода между взаимодействующими частицами. Для наглядности взаимодействующие частицы можно считать «кирпичиками» мироздания, а частицы-носители – цементом».

Что же находится в сердцевине застывших звезд, и какая концепция, новая или классическая, больше подходит для их описания? Здесь на помощь нам могут прийти еще одни таинственные объекты Вселенной – гравитационные волны. Согласно теории относительности массивные тела при ускоренном движении должны так искажать пространство – время, что по нему побегут колебания, воздействующие на другие массы. Такая своеобразная «рябь» пространства – времени и получила название гравитационных волн. Заметим сразу, что, несмотря на массу экспериментальных ухищрений, астрофизикам еще не удалось надежно зафиксировать сам факт наличия гравитационных волн, хотя теоретики и не сомневаются в их существовании.

Естественно, что массивные коллапсары должны в определенных условиях испускать гравитационные волны. Следовательно, если в будущем экспериментаторы откроют надежный способ детектирования гравитационных колебаний, то теория предсказывает, что по их спектру можно будет определить форму пространства – времени в окрестностях предполагаемых черных дыр.

А теперь давайте представим себе, что же увидит экспедиция,

рискнувшая исследовать коллапсар. Поскольку почти все модели – и классические, и инновационные – предсказывают невозвратность погружения в пучины застывшей звезды, то в центр коллапсара мы отправим автоматический исследовательский зонд. До границы сферы Шварцшильда ничего необычного не происходит, вот только датчики радиации начинают показывать возрастание потоков различных элементарных частиц и электромагнитного излучения. Природа источников излучения раскрывается в непосредственной близости к поверхности Шварцшильда.

Оказывается, что здесь происходит своеобразное «расщепление» физического вакуума. Дело в том, что вакуум в действительности не является школьной «торричеллиевой пустотой», а представляет собой кипящее море *виртуальных* частиц. Виртуальные (кажущиеся или мнимые) частицы живут настолько краткие мгновения, что их не может зафиксировать никакая сверхчувствительная аппаратура. Однако за невообразимо малое время своего существования виртуальные частицы успевают повлиять на поведение обыкновенных элементарных частиц. Заряженные частицы они окутывают своеобразной «шубой», как говорят физики, «поляризуя вакуум».

Виртуальные частицы рождаются парами частица-античастица, например, электрон-позитрон, это и позволяет обмануть физику с ее законами сохранения, поскольку от момента рождения до акта аннигиляции природа просто не успевает почувствовать столь вопиющего нарушения ее принципов построения. В особых условиях гравитационной сферы коллапсара виртуальные пары разделяются на компоненты, при этом тут же включаются законы сохранения – и виртуальные частицы превращаются в обычные. Это, конечно, касается только тех пар, которые попадают строго под разделяющее «лезвие» поверхности Шварцшильда, так что одна частица безвозвратно поглощается черной дырой, а вторая обретает свободу и покидает окрестности застывшей звезды.

Все, что касается микромира виртуальных частиц, относится к квантовой физике, но не менее интересные эффекты предсказывает и общая теория относительности. Так, при пересечении горизонта событий все приборы будут пребывать в невесомости, фиксируя только необычные радиационные эффекты, поскольку все вокруг окажется в свободном падении вместе с ними. Правда, впереди электронного разведчика ждут ужасные приливные силы, вызванные перепадом сил притяжения между носом зонда и его кормой. Их возрастающая величина настолько велика, что скрутит и разорвет любые конструкции из самых сверхпрочных

материалов. Вот так может закончить свое существование исследовательский зонд, положив свою электронную жизнь на алтарь науки. Однако осознать происходящее сможет только сторонний наблюдатель, и для него процесс падения зонда растянется на столетия, а в конце концов фактически остановится. Это связано с эффектом относительного замедления времени в рамках общей теории относительности, где ход часов напрямую зависит от силы гравитации.

Потери энергии в системе двойной звезды приводят к постепенному сближению звезд и уменьшению периода их обращения вокруг общего центра масс. Именно такое уменьшение периода и удалось зафиксировать астрономам в точном согласии с предсказаниями теории Эйнштейна.

Очень интересны в этом отношении пока еще гипотетические системы, состоящие из обычной и сколлапсировавшей звезд. Ведь при движении вокруг черной дыры будет происходить излучение гравитационных волн и постепенное уменьшение радиуса орбиты. Так будет продолжаться, пока дистанция между замерзшей звездой и ее спутником не сократится до радиуса критической орбиты, на которой движение звезды станет неустойчивым, и после нескольких оборотов вокруг коллапсара она исчезнет за его горизонтом.

Итак, при релятивистском коллапсе сколь угодно сложного не вращающегося тела, окруженного электрическим, магнитным и другими полями, возникает черная дыра со свойствами, полностью характеризуемыми всего двумя параметрами: массой, от которой зависит сила внешнего гравитационного поля, и электрическим зарядом, создающим электрическое поле.

Все другие отличительные особенности материи, которая образовала черную дыру, как бы исчезают, об этом в форме полшутливого афоризма высказался известный космолог Ричард Прайс: «Все, что может излучиться, – излучается».

Никакие измерения или опыты над черной дырой не помогут ответить на вопрос, возникла ли она, например, из вещества или антивещества, обладало ли вещество магнитным полем и т. д. Физики-теоретики предсказывают, что все однотипные черные дыры равной массы практически неразличимы и, как заметил знакомый нам американский астрофизик Джон Уилер, «черные дыры не имеют волос».

Очень интересна и полна парадоксов физика вращающихся коллапсаров. Согласно общей теории относительности вокруг вращающихся тел возникает своеобразное вихревое гравитационное поле, увлекающее за собой все тела в круговое движение.

Дело происходит таким образом, как будто слои пространства медленно вращаются вокруг такого тела, причем скорость их вращения нарастает с приближением к вращающемуся телу. Для обычных небесных тел эти эффекты ничтожно малы и экспериментально еще не обнаружены.

Как часто встречаются эти экзотические физические объекты в нашей реальности?

Астрофизики еще не пришли к единому мнению, хотя существуют гипотезы о том, что земную поверхность посещали микроколлапсары. В частности, со взрывом микроскопической черной дыры некоторые ученые связывают удивительнейшую историю Тунгусского метеорита. Правда, в этом случае где-то в районе Австралии должен был бы находиться кратер выхода этого уникального объекта, но ничего подобного этому еще не обнаружено.

С черными дырами связаны, пожалуй, одни из самых ярких катастрофических процессов в Метагалактике, когда в провалах гравитационных коллапсаров исчезает вещество звезд и планет. Движение какого-либо тела вокруг застывшей звезды по круговой орбите неустойчиво, и малейший импульс заставят это тело либо упасть в черную дыру, либо улететь в пространство. Таким образом, у черной дыры существуют самые широкие возможности для гравитационного захвата тел, прилетающих из космоса (см. *цветную вклейку*).

Наблюдая мощные вспышки рентгеновского излучения, приходящие из центров галактик, астрофизики сопоставляют им захват звезд сверхмассивными коллапсарами – квазарами. Открытие подобных уникальных процессов, по мнению теоретиков, подтверждает основные принципы эволюции коллапсаров, а также проясняет механизмы их влияния на звезды и межзвездное газовое вещество. Во всяком случае, существует устоявшееся мнение, что в центре галактик находятся массивные черные дыры, непрерывно поглощающие звездное вещество и галактические туманности. Это служит источником мощных потоков рентгеновских квантов, воспринимаемых земными и космическими рентгеновскими телескопами.

Астрономы пришли к заключению, что черные дыры не рождаются огромными, а постепенно растут за счет газа и звезд галактик. Данные показывают, что гигантские черные дыры не предшествовали рождению галактик, а эволюционировали вместе с ними, поглощая определенный процент массы звезд и газа центральной области галактики. Это означает, что в меньших галактиках черные дыры менее массивны, их массы составляют не многим более нескольких миллионов солнечных масс.

Черные дыры в центрах гигантских галактик включают в себя миллиарды солнечных масс. Все дело в том, что окончательная масса черной дыры формируется в процессе формирования галактики. В некоторых случаях дыры увеличиваются не только за счет поглощения газа отдельной галактики, но и путем слияния галактик, в результате чего их черные дыры объединяются.

В самом центре Млечного Пути располагается ядро нашей галактики – таинственный объект Стрелец А* (произносится «Стрелец А со звездочкой»). Астрономы считают, что это главный кандидат на роль черной дыры массой около 4 млн солнечных масс. И вот, если в ее сферу поглощения попадет звезда, то рентгеновское излучение окажется в десятки тысяч раз более сильным, чем регистрируемое в иных галактиках. Ведь перед исчезновением в черном зеве коллапсара звезда может разогреться до сотен миллионов градусов. При этом высвобождается энергия, сравнимая с катаклизмом при вспышке сверхновой звезды.

Рентгеновское излучение Стрельца А* слабее, чем то, что обнаружено в ядрах других галактик. Возможно, это связано с тем, что падение вещества осуществляется неинтенсивно, но когда оно происходит, фиксируется вспышка рентгеновского излучения. Один раз яркость объекта Стрелец А* увеличилась буквально за минуты – подобное невозможно для крупного образования. Значит, этот объект компактный и им скорее всего является застывшая звезда коллапсара.

Этот вывод астрономы обосновывают результатами наблюдений звезд, обращающихся вокруг центра галактики. Орбиты таких звезд испытывают сильные искажения под действием колоссальной силы притяжения невидимого объекта, который должен быть исключительно компактным. Это все полностью соответствует портрету, нарисованному физиками-теоретиками для черной сверхмассивной дыры. Точное положение центра Млечного Пути показывают стрелки в переполненной звездами области размером несколько световых лет. В дальнейшем астрофизики надеются не только точно определить массу черной дыры, но и осуществить очередную проверку теории гравитации Эйнштейна.

В принципе, можно создать и искусственную черную дыру. Для этого нужно сжать любую массу до размеров, когда ее радиус станет равным гравитационному радиусу Шварцшильда, дальше она уже сама будет сжиматься, испытывая гравитационный коллапс. Правда, на этом пути лежат огромные технические трудности. Чем меньшую массу мы хотим превратить в черную дыру, тем до меньших размеров ее необходимо сжать, поскольку гравитационный радиус прямо пропорционален массе. И если

гравитационный радиус Земли равен примерно одному сантиметру, то чтобы превратить в черную дыру Луну, ее пришлось бы сжать до размера крупной молекулы.



Эффект Доплера (к введению)

Цвет быстро приближающегося объекта постепенно смещается к коротковолновой ультрафиолетовой части спектра, а удаляющегося – к длинноволновой, инфракрасной. При движении источника или приемника волн (3) в направлении (2) происходит изменение воспринимаемой частоты колебаний в красную (1) или фиолетовую (4) часть спектра.

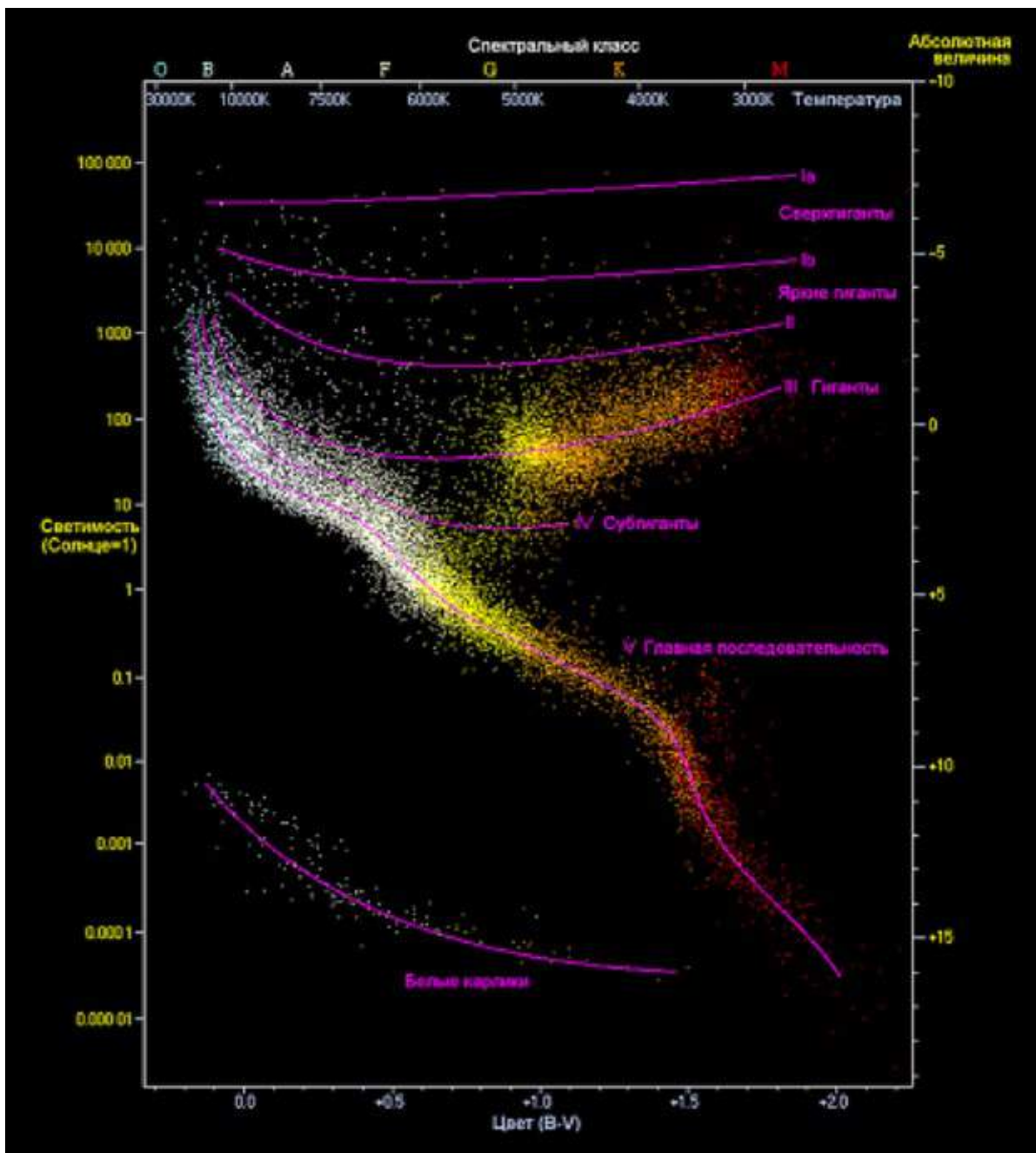
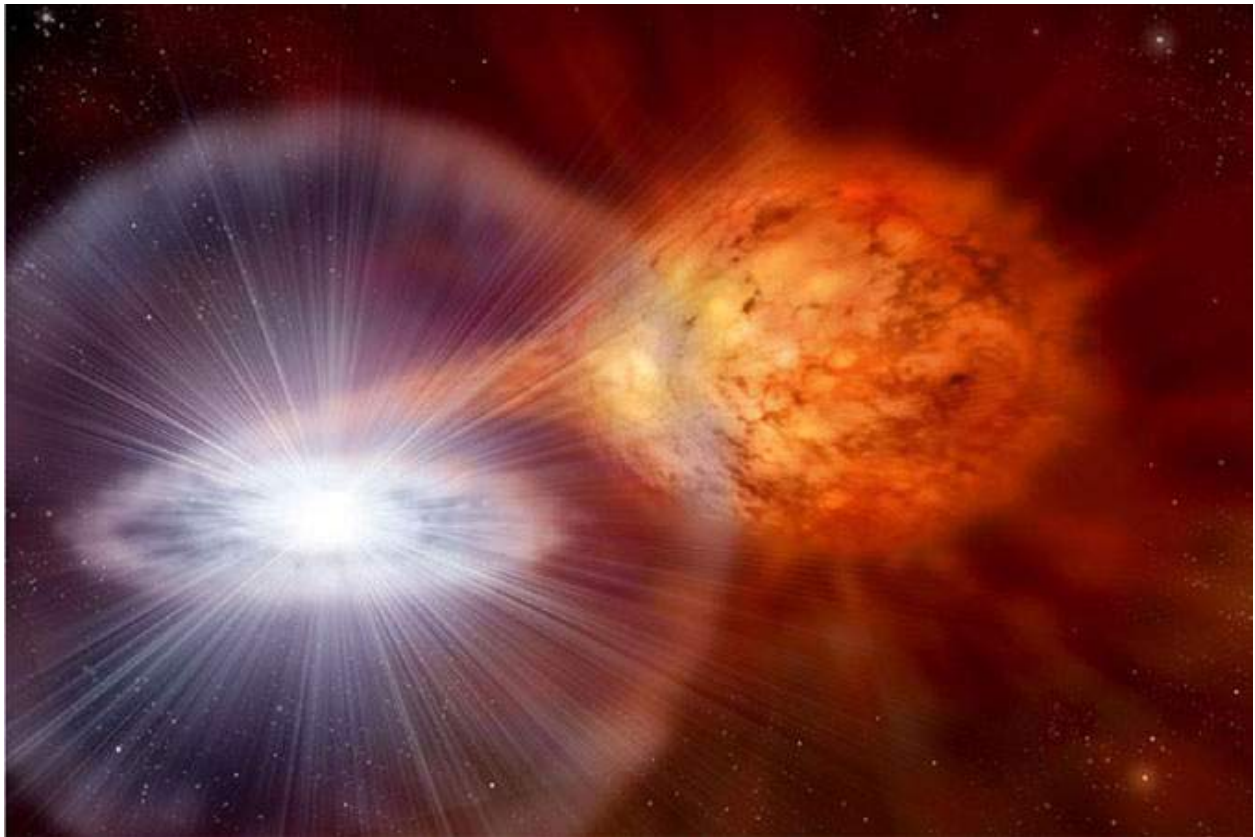


Диаграмма Герцшпрунга -Рассела – «температура – светимость»
(к главе 8)

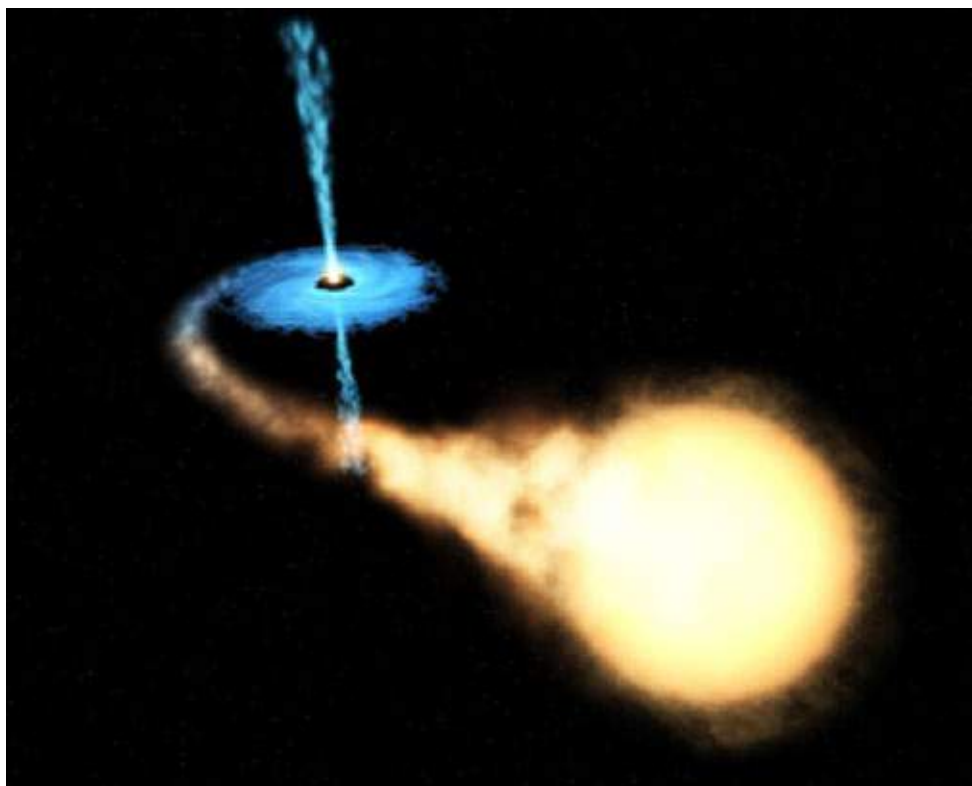
Красные гиганты и сверхгиганты в правом верхнем углу диаграммы ГР – это доживающие свой век звезды с до предела раздувшейся внешней оболочкой (через 6,5 млрд лет такая участь постигнет и наше Солнце – его внешняя оболочка выйдет за пределы орбиты Венеры). Они излучают в пространство примерно то же количество энергии, что и звезды основного ряда, но поскольку площадь поверхности, через которую излучается эта

энергия, превосходит площадь поверхности молодой звезды на несколько порядков, сама поверхность гиганта остается относительно холодной.



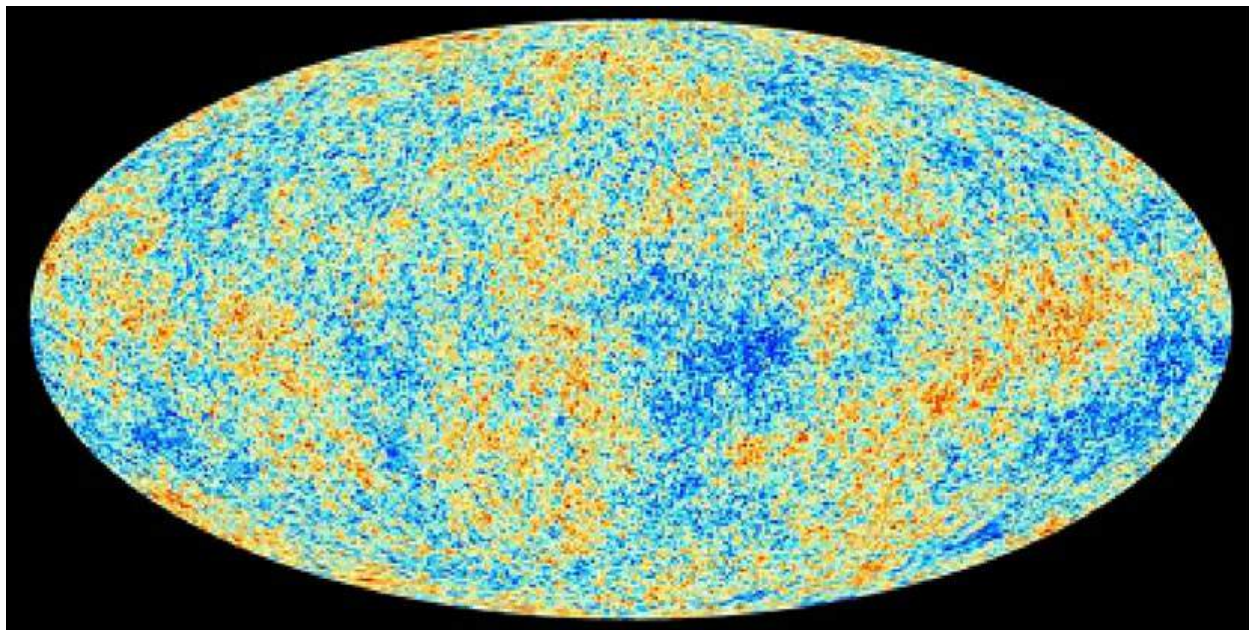
Перетекание вещества с красного гиганта на белый карлик (к главе 9)

В этой гипотетической двойной звездной системе, состоящей из красного и белого карликов, видны струи газа, перетекающего с одной звезды на другую. Когда масса белого карлика превысит полторы массы Солнца, он свернется, превратившись в нейтронную звезду, и засияет на краткий миг, как целая галактика. Это можно было бы увидеть с космического исследовательского корабля землян на расстоянии в несколько миллиардов километров.

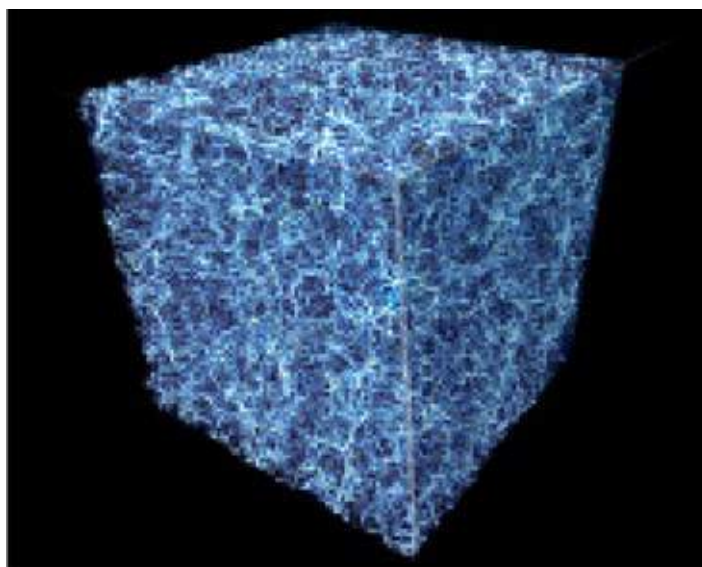


***Модель для двойной звездной системы с вращающимся коллапсаром
(к главе 10)***

Здесь изображена экзотическая система, в которой вещество с нормальной звезды под действием гравитационных и центростремительных сил падает на черную дыру. Кроме того, от черной дыры дует высокоскоростной ветер излучения, закручиваемый внешними магнитными силами. Внутренние же магнитные силы движут вещество во вращающемся диске в направлении к самой черной дыре. Черная дыра притягивает обращенную к ней сторону близко пролетающей звезды гораздо сильнее, чем противоположную. Такая мощная приливная сила растягивает звезду и вызывает падение газа из звезды на черную дыру. Другая часть остатков звезды отбрасывается назад.

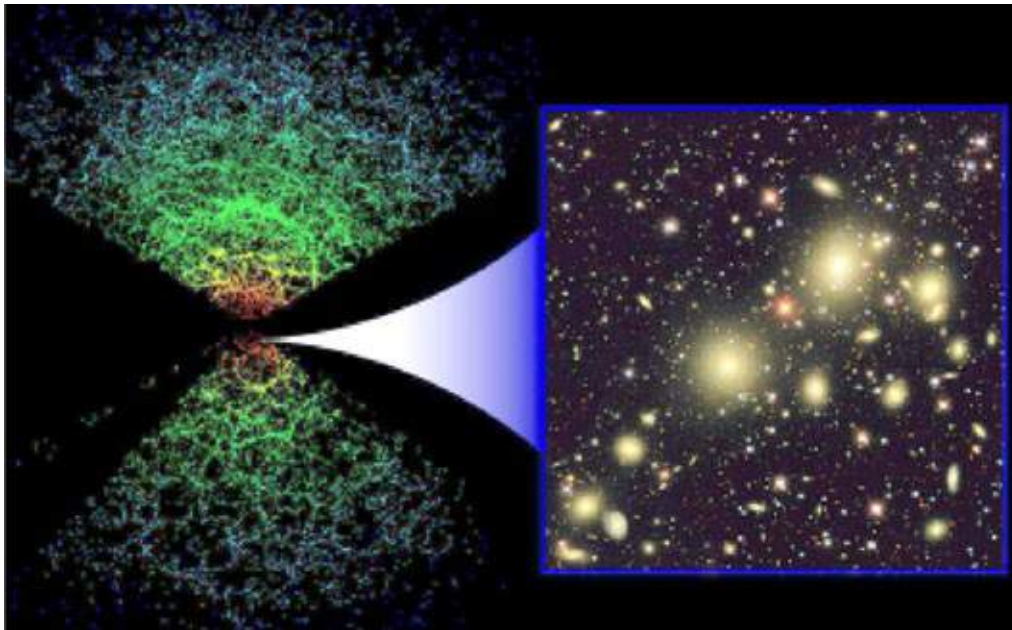


Последний уточненный атлас Метагалактики (космическая лаборатория ЕКА Планк) (к главе 14)



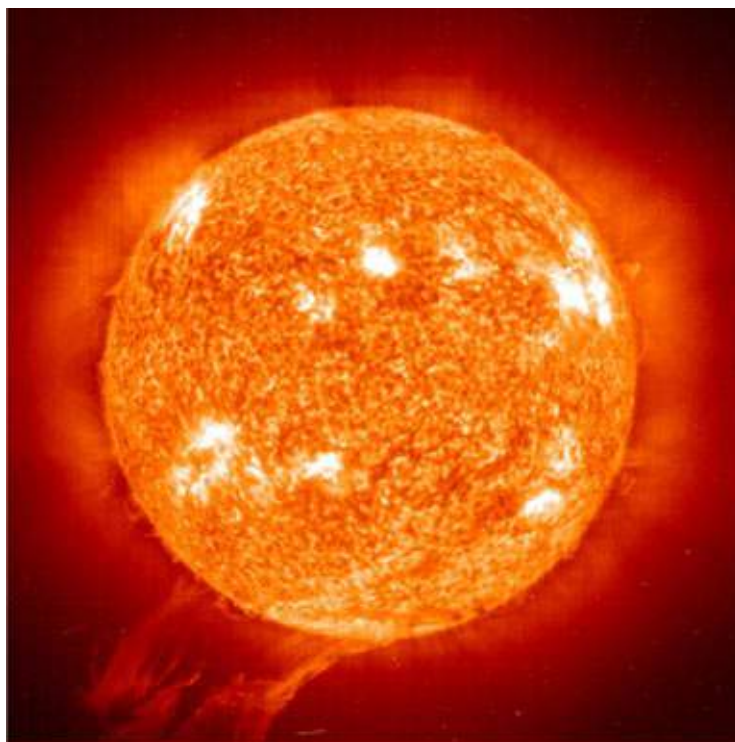
Сверхструктура Вселенной (к главе 15) На компьютерной модели представлено распределение вещества в Метагалактике. Светлые области на этой карте соответствуют уплотнениям, а темные означают пустоты. Скопление галактик на модели является одним из самых плотных в Метагалактике. Оно состоит из нескольких тысяч звездных систем с миллиардами обитателей, как и в нашей Галактике Млечный Путь. Даже от этого ближайшего по космическим масштабам звездного архипелага свет идет к Солнечной системе несколько сотен миллионов лет, а от одного его

края до другого световой луч путешествует уже миллиарды лет!

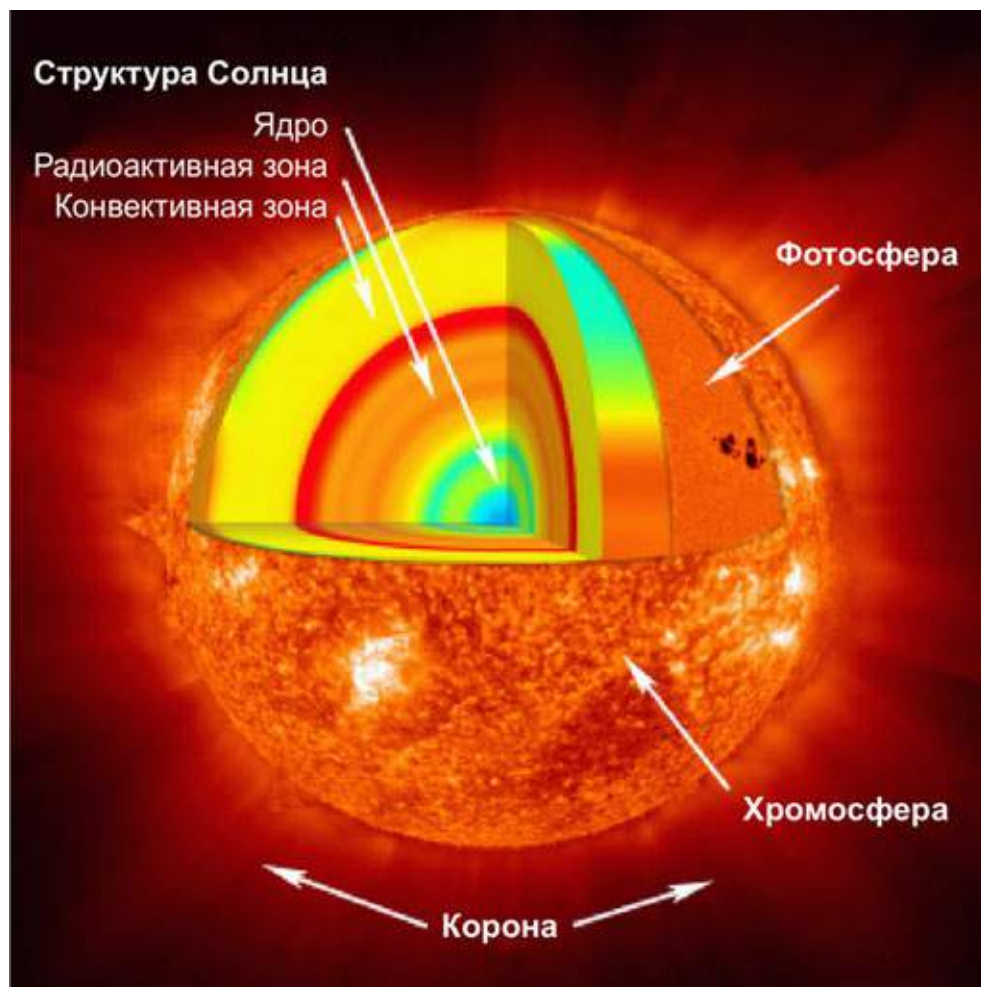


Строение метагалактических сот (к главе 15)

Яркие галактики образуют на небе полосу. Это явление вызвано существованием колоссальной материальной системы, гораздо большей, чем любое из облаков галактик. Она, по подсчетам французского астронома Ж. Вокулёра, имеет диаметр около 100 млн световых лет



Звезда по имени Солнце – газовый шар, не имеющий четкой границы, плотность его убывает постепенно (к главе 18)



Схематический разрез Солнца показывает его внешние особенности вместе с гипотетическим внутренним строением (к главе 18)

Глава 11. Полет по червоточине

Из всех измышлений человеческого ума, от единорогов и химер до водородной бомбы, наверное, самое фантастическое – это образ черной дыры, отделенной от остального пространства определенной границей, через которую из этой дыры ничто не может выйти; дыры, обладающей настолько сильным гравитационным полем, что даже свет задерживается его мертвой хваткой; дыры, искривляющей пространство и тормозящей время. Черная дыра кажется более уместной в фантастических романах или в мифах древности, чем в реальной Вселенной. И тем не менее законы современной физики фактически требуют, чтобы черные дыры существовали. Возможно, только наша Галактика содержит миллионы их.

К. Торн.

Путешествие среди черных дыр

Тема гравитационного коллапса является одной из наиболее плодотворно разрабатываемых в мировой литературе и кинематографии. Достаточно вспомнить многочисленные произведения, описывающие путешествия вне времени и пространства с помощью коллапсионных порталов или двигателей на основе микроколлапсаров. С образом замерзших звезд связывают различные гипотетические схемы путешествия по кротовым норам в пространстве – времени. Вращающиеся черные дыры могут послужить энергетическими генераторами в далеком будущем.

Примером может служить научно-фантастический блокбастер «Меж звездный», который вызвал большой интерес не только у кинозрителей, но и в ученом мире. Сюжет фильма включает полеты через гиперпространство, падения в черные дыры и путешествия во времени. Тем более, что научным консультантом фильма является сам Кип Торн. Впрочем, это уже вторая попытка физика-теоретика придать физико-математический реализм продукции Голливуда. А все началось с

экранизации романа Карла Сагана «Контакт»...

Как-то раз, тридцать лет назад, знаменитый астроном и популяризатор науки Карл Саган решил написать роман, при этом не погружаться в беспочвенные фантазии, а создать «по науке» транспортное устройство для межзвездных путешествий. Для этого Саган обратился к своему другу, видному физику-теоретику Кипу Торну.

Торн загорелся идеей Сагана и принялся за расчеты. Ему было известно, что еще в 1916 году австрийский физик Людвиг Фламм получил решение для «прокола пространства» в теории гравитации Эйнштейна. В 1930-х годах к подобному результату пришел и сам Альберт Эйнштейн со своим коллегой Натаном Розеном. Так возник образ «внепространственных переходов», названных «мостиками Эйнштейна – Розена». Долгое время это считалось сугубой абстракцией, однако Торн математически показал, что если объединить «проколы пространства» и черные дыры, то может получиться «ход в иномирье». Правда, для этого еще нужен антигравитационный материал. Может быть, когда-нибудь «антигравитационные частицы» найдут в загадочной темной материи, заполняющей Вселенную....

Созданный таким образом тоннель мог бы решить не только проблему межзвездных, но и межгалактических перелетов. Одновременно мы получили бы и своеобразную машину времени.

Сотрудничество Сагана и Торна привело к появлению научно-фантастического бестселлера «Контакт», вскоре положенного в основу очень зрелищного одноименного фильма. Ну, а соответствующие исследования коллектива физиков-теоретиков под руководством Торна породили многочисленные публикации, вызвавшие большой научный резонанс. Работы Торна заставили вспомнить не только о мостиках Эйнштейна – Розена, но и о «кротовых норах», «червоточинах» и «червячных ходах» известного физика Джона Уилера. Уилер ввел эти термины вместе с «черной дырой», совсем не ожидая, что они войдут в лексикон и ученых, и литераторов.

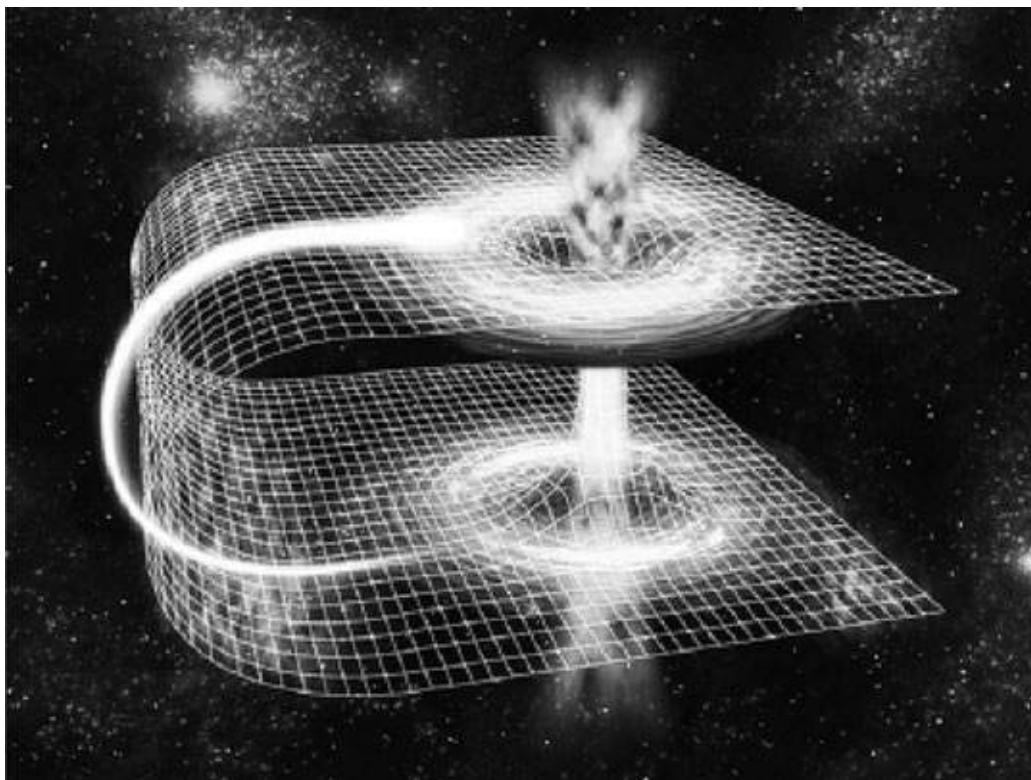
Насколько же правдоподобны подобные построения физиков-теоретиков? Существуют ли в действительности червячные ходы в пространстве-времени, или же это всего лишь математические фантазии? Но тогда почему они не реализуются, ведь опыт убеждает нас в том, что в мире воплощается все, что не противоречит законам природы? И главный вопрос: можно ли предложить какие-либо реальные эксперименты, вплоть до создания искусственных подпространственных кротовых нор, пусть даже в отдаленном будущем, когда наша цивилизация станет достаточно

развитой и мощной?

Модель червоточины подобна согнутому листу бумаги (именно так ее и иллюстрируют в фильме «Межзвездный»). Если проделать отверстие карандашом, то муравей-землянин не будет блуждать по листу, а мгновенно попадет на его другую половину.

Вот такой «прокол пространства» и служит для всяческих «нуль-транспортировок», «телепортаций» и «трансгрессий» из фантастических произведений.

Астрофизики считают, что многие свойства коллапсаров говорят о том, что воронки замерзших звезд вполне могут быть входными порталами червоточин пространства-времени. Если это так, то можно (пока еще чисто умозрительно) попытаться приспособить их для путешествий в пространстве и времени, ведь время в их окрестностях останавливается лишь для внешнего наблюдателя, а для космонавтов, устремившихся в жерло черной дыры, все будет идти своим чередом, никакого замирания процессов они не заметят.



Компьютерная модель червоточины

Эта гипотеза особенно интересна тем, что астрономические теории предсказывают существование удивительных объектов с прямо

противоположными коллапсарам свойствами. Такие «белые дыры» еще более загадочны. Нырнув в зев черной дыры, звездолет мог бы вынырнуть из диска ее белой сестры в какую-нибудь пространственно-временную область нашего мира или совсем в другую вселенную, связанную с нашей лишь тонкой горловиной червячного лаза.

Вообще говоря, здесь просматриваются два варианта фантастического будущего. Первый – из «Контакта» и «Межзвездного» – это создание некоего «подпространственного метро», позволяющего мгновенно перемещаться на парсеки и столетия. Второй – не ждать милостей от природы, а оснастить звездолет «генератором черных дыр».

Дело в том, что теоретически в невообразимых глубинах пространства – времени (в масштабах «планковской длины», равной $1,62 \times 10^{-35}$ метра, что в 10^{20} раз меньше атомного ядра) бушует удивительнейшая квантовая пена, насыщенная сверхмикроскопическими черными дырочками – микроколлапсарами.

Теоретически, если поймать микроколлапсар и насытить его энергией, то он вырастет в черную дыру, пригодную для путешествий через гиперпространство.

Сюжет фильма «Межзвездный» включает полет корабля через портал искусственного коллапсара, возникший в окрестностях Сатурна. Далее отважные земляне попадают в кротовую нору, где встречают пятимерных существ, которые переправляют их в чужую галактику.

Профессор Торн почему-то никак не обыграл весьма любопытный момент выхода из «подпространственного туннеля», а ведь это самый загадочный элемент межгалактического туннелирования. Черные дыры знают все, многие ученые считают их совершенно реальными космическими объектами, а вот белой дыры никто еще не наблюдал...

В «Межзвездном» много внимания уделяется временным парадоксам. Из общей теории относительности следует, что чем сильнее гравитация, тем медленнее течет время. С другой стороны, по специальной теории относительности, чем быстрее летишь, тем медленнее стареешь относительно неподвижного наблюдателя. Отсюда следует и знаменитый «Парадокс близнецов», когда моложавый космонавт возвращается к своему пожилому брату. Кстати, российский космонавт-рекордсмен Крикалев, кружась на орбите со скоростью более 7 км в секунду, за 800 суток «отыграл у вечности» не менее двух сотых секунды.

В фильме «червоточина» выбрасывает звездолет в десяти световых миллиардах от Солнечной системы у чудовищной черной дыры Гаргантюа, равной ста миллионам Солнц. Радиус дыры сравним с земной

орбитой, а ее аккреционный диск из притянутого вещества простирался бы чуть ли не до пояса астероидов. Из-за колоссальной гравитации коллапсара час на поверхности планеты Миллер равен семи годам.

После приключений на планетах системы Гаргантюа главный герой и его робот на двух зондах устремляются в сердцевину черной дыры за научными данными. В теории катастрофический перепад сил тяготения должен был бы скрутить, растянуть и разорвать астронавта и робота на бесчисленное множество фрагментов. Однако Торн считает, что чудеса практики могут опровергнуть любую теорию, и позволяет отважным исследователям легко проникнуть через горизонт событий, или эргосферу, отделяющую «точку невозврата» для всего, что попадает внутрь черной дыры. Есть тут и своеобразное объяснение. Гигантские размеры эргосферы минимизируют разрывающие «приливные силы» и при очень большом радиусе горизонта событий и его вращении с определенной скоростью есть шанс проникнуть невредимыми в таинственные глубины коллапсара.

Внутри вращающейся черной дыры исследователи находят... пятимерную вселенную.

Тут надо вспомнить, что еще А. Сахаров в своих удивительных космологических трудах разработал «многолистную модель Вселенной», которую затем дополнил несколькими временами. В ней Андрей Дмитриевич на совершенно новом научном уровне рассмотрел очень старую идею Теодора Калуца.

Для построения единой теории поля, над которой начал тогда работать А. Эйнштейн, Калуца в 1921 году предположил, что физическое пространство имеет не три, а четыре измерения, дополненные пятым: временем. При этом Калуца предположил, что четвертое пространственное измерение «свернуто» в сверхмикроскопические размеры и не может быть зафиксировано приборами.

Идеи Калуцы восторженно восприняли не только физики-теоретики, среди которых был и великий Эйнштейн, но и писатели. Так, Герберт Уэллс ввел многомерное пространство в роман «Люди как боги». В этой утопии выдающийся фантаст предложил очень необычную для того времени систему мироздания, в которой:

«...как в трехмерном пространстве бок о бок может лежать любое число практически двумерных миров, подобно листам бумаги, точно так же многомерное пространство, которое плохо приспособленный к таким представлениям человеческий разум еще только начинает с большим трудом постигать, может включать в себя любое число практически трехмерных миров, лежащих, так сказать, бок о бок и приблизительно

параллельно развивающихся во времени».

Вселенная Уэллса напоминает книгу, каждый лист которой является новым миром. Путешествовать тут можно по «книжному корешку», соединяющему вместе все миры. Долгое время этот зримый образ множественного мироздания, или Мультиверса, вдохновлял научных обозревателей и писателей-популяризаторов, но все считали его лишь блестящей выдумкой.

Академик Сахаров, развивая теорию Пульсирующей Вселенной, много внимания уделял теории изначального момента рождения мироздания. И однажды ему в голову пришла совершенно невероятная мысль: а если процесс появления новых миров в пучинах Большого взрыва никогда не прерывается? Тогда появляется образ динамичного, можно даже сказать в чем-то «живого» Мультиверса, стремительно растущего, как луковица миров, где в каждое неизмеримо малое мгновение появляется листок новорожденной вселенной.

Выдающийся мыслитель почему-то не стал достраивать столь необычный космологический сценарий и больше никогда к нему не возвращался. Между тем в последнее время квантовая механика добавила много существенных деталей в возникающую на наших глазах физику времени. Эксперименты показали, что в мире существует магическое явление квантовой нелокальности, когда частицы связаны друг с другом не силами, а особым квантовым образом. Когда-то подобное очень не нравилось Эйнштейну, он критически называл это «квантовой телепатией».

Сейчас мало кто сомневается в эффекте «квантовой запутанности», тем более, что на его основе собираются строить квантовые компьютеры с совершенно фантастическими характеристиками.

Есть догадки, что существует и «хроноквантовая спутанность». Тогда миры, возникающие в сингулярности Большого взрыва, должны быть не только прошиты временными нитями, но и полностью повторять друг друга.

А теперь представьте себе бесконечную вереницу развивающихся одинаковых миров, нанизанных на «стрелу времени». Что это будет напоминать стороннему наблюдателю?

Ну конечно же! Перед нами предстает хорошо знакомый образ «линейного времени», возникший у нас в детстве и сопровождающий всю жизнь. Классическая физика учит, что это мнимый образ, помогающий решать школьные задачи. А вот современная квантовая теория предлагает считать подобные модели вероятным образом множественного мироздания.

И тогда возникает удивительный парадокс – оказывается, что лишь невообразимый хроноквант отделяет наш мир от предшествующей и соответственно последующей Вселенной, «летающей» вместе с нами в будущее. А вместе с этими мирами несутся по стреле времени и неисчислимые множества наших двойников...

Глава 12. Темные стороны мироздания

Темная энергия темна по крайней мере в двух смыслах. Во-первых, она невидима – не излучает света, не поглощает и не отражает его. Во-вторых, ее физическая природа и микроскопическая структура полностью неизвестны.

А. Д. Чернин.

Темная энергия вблизи нас

Одной из самых интригующих загадок астрономии является наличие скрытой от наших глаз и всяческих возможных приборов основной массы Вселенной, которую астрономы называют темной материей. Эта материя должна была возникнуть почти сразу же после Большого взрыва, в отличие от «сильно запоздавших в развитии» знакомых нам атомов. Последние наблюдения показали, что галактики, как осколки Большого взрыва, не только не замедляют свой разбег, двигаясь «на излете», а наоборот, продолжают наращивать скорость. Все это ученые связывают с влиянием темной материи.

Еще более странной субстанцией является *темная энергия*. В настоящее время главным кандидатом на ее роль является физический вакуум с его виртуальными частицами и полями. Плотность энергии вакуума не меняется при расширении Вселенной, а это и означает отрицательное давление вакуума. Другой кандидат – новое сверхслабое поле, пронизывающее Вселенную; для него употребляют термин «квинтэссенция». Есть и другие кандидаты, но в любом случае темная энергия представляет собой что-то совершенно необычное.

В отличие от сгустков массивных частиц слабого взаимодействия темная энергия равномерно «разлита» по всей нашей Вселенной. В галактиках и скоплениях галактик ее столько же, сколько в пустых провалах физического вакуума. Самое необычное в том, что темная энергия в определенном смысле связана с антигравитационным воздействием. Современными астрономическими методами можно не только измерить нынешний темп расширения Вселенной, но и определить, как он менялся со временем. Так вот, астрономические наблюдения

свидетельствуют о том, что, начиная с недалекого прошлого, Вселенная начала расширяться с возрастающим ускорением, как если бы включился гипотетический генератор антигравитации. Обычная гравитация с течением времени должна была бы приводить к обратному эффекту – замедления разбегания галактик.

Видный исследователь темной энергии, имеющий свои собственные оригинальные взгляды на ее происхождение и эволюцию, профессор МГУ Артур Чернин считает, что такая картина, вообще говоря, не противоречит общей теории относительности, однако для этого темная энергия должна обладать специальным свойством – отрицательным давлением. Это резко отличает ее от обычных форм материи.

Правда, существуют и иные объяснения ускоренного расширения нашего мира, исходящие из предположения, что сами законы гравитации видоизменяются на космологических расстояниях и космологических временах. Такие гипотезы ведут к далеко лежащим выводам об определенной ограниченности самой общей теории относительности. По-видимому, если ее обобщение вообще возможно, то оно будет связано с представлением о существовании дополнительных размерностей пространства, помимо тех трех, которые мы воспринимаем в повседневном опыте.

К сожалению, сейчас не видно путей прямого экспериментального исследования темной энергии в земных условиях. Это, конечно, не означает, что в будущем не может появиться новых блестящих идей в этом направлении, но сегодня надежды на прояснение природы темной энергии (или, более широко, причины ускоренного расширения Вселенной) связаны исключительно с астрономическими наблюдениями и с получением новых, более точных космологических данных.

Прежде считалось, что разбегание галактик может только замедляться под действием их собственного тяготения. Но ускорение означает, что в природе имеется не только всемирное тяготение, но и всемирное антитяготение, которое преобладает. Антитяготение создается не галактиками (с их обычным светящимся барионным веществом и темной материей), а некоей особой космической энергией, в которую погружены все галактики мира. Эта темная энергия, как ее сейчас чаще всего называют, и создает антитяготение. Темная энергия темна по крайней мере в двух смыслах. Во-первых, она невидима – не излучает света, не поглощает и не отражает его. Во-вторых, ее физическая природа и микроскопическая структура полностью неизвестны.

В одной из своих последних замечательных работ профессор Чернин

подчеркивал, что с темной энергией вполне можно работать, изучать ее роль в реальном мире. Для этого, правда, нужно принять те или иные исходные предположения, хотя бы минимальные, о ее свойствах. Простейший (и как кажется, самый правдоподобный) из обсуждающихся сейчас вариантов связывает темную энергию с космологической постоянной.

Эта универсальная константа была введена в космологию Эйнштейном, когда он применил только что созданную им общую теорию относительности к изучению мира, рассматриваемого как некое единое целое. Эйнштейн решил эту задачу и представил результат в виде физико-математической модели Вселенной. Модель описывала Вселенную как статическую, вечную и неизменную физическую систему. Во Вселенной Эйнштейна притяжение всех тел природы друг к другу... отсутствовало. Ньютоновское всемирное тяготение при этом, однако, не отменялось; но помимо него в эйнштейновской модели действовал еще один силовой фактор – всемирное антитяготение, которое полностью компенсировало взаимное тяготение космических тел в масштабе всей Вселенной.

Ничего подобного прежняя, классическая физика не знала. Но антитяготение не вытекало в действительности и из общей теории относительности. Это была совершенно новая идея. Тем не менее она органично и в исключительно экономной форме была введена в структуру общей теории относительности, в ее математические уравнения. Антитяготение было представлено в этих уравнениях всего одной и притом постоянной физической величиной, которая получила позднее название космологической константы. Она обеспечивала в модели Эйнштейна компенсацию всемирного тяготения – без нее теория не допускала бы статичности мира.

Большинство современных космологов так же, как и профессор Чернин, однозначно связывают физический смысл космологической константы с параметрами вакуума, считая, что открытая астрономами темная энергия – это энергия вакуума. Кроме ясности и простоты такая интерпретация привлекательна еще и в том – самом важном, в действительности, – отношении, что наблюдения, в которых темная энергия была открыта, полностью с нею согласуются. Похоже, что иные, более сложные и, в общем, произвольные варианты интерпретации темной энергии постепенно вытесняются наблюдениями.

Разумеется, отрицательное давление вакуума со всех точек зрения является совершенно необычным явлением, ведь давление в жидкости или газе, как правило, положительно. Но и в жидкости (например, в потоках

воды у винта парохода), и в твердых телах (например, во всесторонне растянутой стальной болванке) отрицательное давление тоже может возникать. Это требует особых, специальных условий, но не является чем-то исключительным. Однако в случае вакуума ситуация совсем особая. Давление вакуума не только отрицательно, но к тому же равно – по абсолютной величине – его плотности энергии. Ничего подобного нет ни в одной другой среде. Это абсолютно и исключительно свойство одного вакуума и только его.

Темную энергию открыли в наблюдениях далеких вспышек сверхновых звезд. Из-за их исключительной яркости сверхновые можно наблюдать на очень больших, по-настоящему космологических расстояниях. Это позволяет проследить, как видимая, регистрируемая яркость источников зависит от расстояния до них. Оказалось, что убывание яркости происходит несколько быстрее, в среднем, чем этого следовало бы ожидать по космологической теории, которая до того считалась стандартной. Но это возможно тогда, когда космологическое расширение происходит с ускорением, т. е. когда скорость удаления от нас источника света не убывает, а возрастает со временем. Именно благодаря этому эффекту ускорения и удалось распознать темную энергию и даже весьма точно измерить ее плотность.

Почему вакуум создает не тяготение, а антитяготение? Все дело в том, что физический вакуум обладает не только определенной плотностью, но также и давлением. Уравнение состояния вакуума таково, что если его плотность положительна, то давление отрицательно. Причем по абсолютной величине плотность и давление равны. Согласно общей теории относительности, тяготение создается не только плотностью среды, но и ее давлением. Так что эффективная плотность, создающая тяготение, складывается как бы из двух слагаемых. Отсюда и антитяготение вакуума: отрицательная эффективная плотность создает эффект антигравитации. Если поместить в вакуум две частицы, то он заставит их двигаться прочь друг от друга. В отличие от всемирного тяготения, всемирное антитяготение стремится не сблизить тела, а, напротив, удалить их друг от друга.

Далее нужно понять, какие еще силы, кроме антитяготения вакуума, действуют на ближние галактики. Особенно интересны для нас самые близкие расстояния – те, где располагаются две гигантские галактики – наш Млечный Путь и галактика Андромеды. Они образуют связанную пару и движутся навстречу друг другу. Вместе с сотней карликов эти две галактики образуют Местную группу, причем вклад карликов в ее полную

массу пренебрежимо мал по сравнению с массой двух гигантов. Вокруг Местной группы наблюдаются десятки галактик-карликов, движущихся в разные стороны от центра. Эти мелкие галактики практически не взаимодействуют между собой; к тому же их полная масса пренебрежимо мала по сравнению с массой Местной группы, так что карлики локального потока вполне можно рассматривать как пробные тела, которые движутся в поле тяготения Местной группы и поле антитяготения темной энергии.

Так как по наблюдательным данным о сверхновых плотность вакуума превышает суммарную плотность всех остальных видов космической энергии, в наблюдаемой Вселенной антитяготение сильнее тяготения, и космологическое расширение обязано происходить с ускорением. Раз наблюдаемое расширение Вселенной происходит с ускорением, оно будет продолжаться неограниченно долго – ничто уже не способно этому помешать. При этом средняя плотность не-вакуумной компоненты – вещества и излучения – будет при расширении только убывать. Но это означает, что создаваемое ими тяготение никогда не уже не возобладает во Вселенной. Доминирование вакуума будет только усиливаться, а разбегание галактик происходить все быстрее и быстрее.

Обратимся от будущего Вселенной к ее прошлому. Если смотреть назад по времени, мы увидим, что плотность вещества в прошлом была больше, чем сейчас. В раннюю эпоху расширения она превосходила плотность вакуума. Был и такой момент в истории Вселенной, когда плотность вещества равнялась эффективной плотности вакуума. В этот миг тяготение вещества точно компенсировалось антитяготением вакуума: это был момент нулевого ускорения в динамической истории мира.

Так что же происходит с пространством – временем мира, когда в нем доминирует вакуум? Если пренебречь влиянием всего не-вакуумного вещества, то только вакуум и будет определять свойства пространства – времени. Поскольку плотность и давление вакуума не меняются со временем, то с вакуумом вообще ничего не происходит, он всюду и всегда один и тот же. Но раз неизменный вакуум и только он определяет свойства пространства – времени, то и само пространство – время всюду и всегда должно быть тогда одним и тем же. Это означает, что мир, в котором безраздельно господствует вакуум, должен быть неизменным во времени, статичным. В полном соответствии с этим рассуждением космологическая теория Фридмана (а в ней с самого начала учитывалась возможность существования вакуума, представляемого космологической константой) описывает мир вакуума как мир статичный и неизменный. Но каким образом происходит это превращение мира подвижного и расширяющегося

в мир неподвижный? Как из мира исчезает эволюция? Ведь разбегание галактик в нем продолжается...

Да, галактики удаляются друг от друга в мире вакуума, причем с возрастающими скоростями. Из теории Фридмана вытекает, что их скорости возрастают в этом случае по экспоненциальному закону. Но чем быстрее разбегаются галактики, тем меньше плотность их общего распределения, и, значит, тем слабее их влияние – через их собственное тяготение на свойства пространства – времени. А влияние вакуума – через его антитяготение – становится тем временем все более сильным. В итоге галактики, да и вообще все не-вакуумное вещество, оказываются в мире, свойства которого как целого определяются не ими, а вакуумом. Так эволюция мира в целом затухает, его пространственно-временной каркас застывает и остается таким навсегда.

Можно сказать, что чем сильнее разгоняется космологическое расширение под воздействием антигравитации вакуума, тем ближе становится наш мир как целое к абсолютной неизменности и полному покою. В таком мире все события неразличимы, а это означает, что в нем нигде ничего не происходит, и потому этот мир вечен и неизменен как целое. Такой мир напоминает статический мир модели Эйнштейна. Но в модели Эйнштейна покой достигался равновесием тяготения вещества и антитяготения вакуума. В мире вакуума такого равновесия нет, ведь антигравитация вакуума ничем не уравновешена, и тем не менее этот мир тоже находится в покое. Оказывается, что покой не обязательно предполагает равновесие сил – если речь идет о вакууме, это необязательно. Будучи сам неизменным, он делает и мир неизменным – в отсутствие других сил.

Из всех этих данных и соображений вытекает простая картина ближнего объема Вселенной. Главные ее черты таковы: имеется центральная масса Местной группы галактик и разбегающиеся от нее ближайшие галактики, а все это погружено в однородную темную энергию космического вакуума. На достаточно больших расстояниях от Местной группы ее тяготением можно полностью пренебречь по сравнению с антитяготением темной энергии вакуума. На таких расстояниях галактики движутся на идеально регулярном фоне вакуума, который их разгоняет. Так к глобальное расширение всей Вселенной и локальное разбегание галактик в ближнем объеме оказываются динамически сходными и связанными – благодаря темной энергии вакуума.

Поиски новых экспериментальных свидетельств присутствия темной энергии и попытки теоретически осмыслить их результаты превратились

сегодня в целую космологическую индустрию, включающую самые разнообразные исследования по всему временному спектру от ранней до современной Вселенной. Есть множество указаний на то, что уравнение состояния темной энергии менялось со временем, так что для воссоздания достаточно полной картины необходимо накопить информацию, относящуюся ко всем эпохам эволюции Вселенной. Таким образом, космологи получают информацию о замедлении расширения Вселенной вследствие притяжения материи и об его ускорении темной вакуумной энергией в различные исторические периоды подобно тому, как сведения об изменении климата на Земле черпают из наблюдений за шириной колец на спилах деревьев.

Здесь решающая роль отводится сверхновым звездам, видимая яркость которых позволяет довольно точно судить об их удаленности от нас и, значит, о моменте их взрыва, а красное смещение в спектрах – не что иное, как соотношение размеров Вселенной сейчас и в то время. Взятые в совокупности, они дадут полное представление о характере эволюции Вселенной. Еще одно направление перспективных исследований включает накопление данных о возрастании скорости формирования крупномасштабных структур во Вселенной типа скоплений галактик. В реализации всей этой грандиозной программы и состоит самая фундаментальная задача космологии на ближайшие годы. Дальнейшие исследования должны также ограничить произвол в выборе параметров различных теоретических моделей и предсказать более определенно судьбу нашей Вселенной, включая, быть может, и оценку времени, которое осталось до «Страшного космического суда».

Парадоксальные и даже в чем-то противоречивые свойства темной энергии дали повод физикам назвать новую полевую субстанцию архаичным термином натурфилософов древности – *квинтэссенция*. Означает оно, что это некое новое универсальное поле фундаментального характера, но на деле это пока только сугубо умозрительные соображения. Есть и другие гипотезы, весьма экзотические, о том, что гравитация на больших расстояниях не подчиняется теории относительности. Но пока построить в границах подобных инновационных представлений внутренне непротиворечивую теоретическую модель не удастся. Теоретики не могут также предложить экспериментаторам какие-либо разумные схемы проверочных экспериментов. В целом ситуация, когда не видно способов проверить лабораторно хотя бы отдельные части теории, является достаточно необычной, можно сказать даже странной, для физики.

Все модели нашей физической реальности в конечном итоге связаны с

вопросом, стабильна ли темная энергия.

Если таинственная квинтэссенция стабильна, то через вполне определенный период все видимое пространство Метагалактики расширится настолько, что другие галактики уйдут за горизонт Вселенной, откуда свет никогда не сможет достичь земных наблюдателей. А наша Галактика примет вид черной гигантской дыры, окруженной потухшими звездами. Но если темная энергия нестабильна, то возникают и другие варианты.

Разумеется, футурологам хотелось бы пофантазировать на тему освоения загадки темной квинтэссенции. Разумеется, рано еще делать научные прогнозы, но если темная энергия будет обнаружена в лабораторных условиях, то физики и инженеры обязательно найдут ей практическое применение. К примеру, из антигравитирующей субстанции вполне можно было бы строить те же подпространственные червоточины, используя их в Т-агрегатах и тоннелях, ведущих в иные миры... Правда, современных мечтателей несколько расхолаживают оценки астрономов для плотности темной энергии во Вселенной, обеспечивающей ее ускоренное расширение: если темная энергия распределена равномерно, получается совершенно ничтожная величина, близкая к 10^{-29} грамм в кубическом сантиметре. Для обычного вещества такая плотность соответствует 10 атомам в одном кубическом метре. Даже сверхразряженный межзвездный газ в несколько раз плотнее. Та к что если этот путь к созданию машины времени и может стать реальным, то очень и очень не скоро.

В среде астрономов обнаружение антигравитационной квинтэссенции принесло не только радость научного открытия, но и множество трудноразрешимых проблем. Так, под угрозой оказался проверенный временем стандартный сценарий развития модели Большого взрыва. В то же время существует довольно много скептически настроенных ученых, которые вообще отказываются верить в само существование темной энергии и вызванное ею ускоренное расширение пространства. Такое ускорение, по их мнению, противоречит здравому смыслу и просто невозможно.

Сейчас уже можно сказать, что открытие удивительной квинтэссенции застигло врасплох не только астрономов, но и привыкших ко всяческим сюрпризам природы физиков-теоретиков – похоже, что вначале им просто нечего было предложить по существу. Первые объяснения феномена темной энергии были связаны со структурой физического вакуума. Возникли предположения, что в нем скрыто отрицательное давление и из-за этого в веществе возникает сила, приводящая к дополнительному

расталкиванию галактик. Но ничего конкретного об этой субстанции науке не известно.

Другой путь привел к ранним построениям Эйнштейна, когда он пытался ввести в свои уравнения некий загадочный параметр – космологическую постоянную; впоследствии великий физик считал, что здесь он допустил свою самую большую научную ошибку. Если эту постоянную снова ввести в уравнения, то появится эффект антигравитации, приводящий к ускоренному расширению Вселенной. Однако космологическая постоянная предполагает некоторую кривизну пространства – времени. А свойства реликтового излучения свидетельствуют о том, что наша Вселенная «плоская» и никакой кривизны не имеет. В этой «темной» истории ясно одно: необходимы новые фундаментальные идеи о пространстве, времени и материи.

Подобные гипотезы призваны радикально изменить интерпретацию достаточно надежно наблюдаемого ускоренного расширения видимой части Метагалактики. Физическая основа этих теоретических работ выглядит элегантно: в результате инфляционного раздувания после Большого взрыва на ранней стадии развития образовалась Мультивселенная, в которой видимая нами Вселенная составляет лишь крошечную область; при этом наша Вселенная не обязательно должна покоиться в этой Мультивселенной, а может двигаться в ней с некоторой скоростью, причем скорость движения зависит от времени в космологическом понимании масштабов эволюции. Именно эта зависимость относительной скорости движения видимой нами Вселенной от времени, которая в общей теории относительности Эйнштейна трактуется как эффект распространения гравитационных волн с гигантским периодом колебаний, может наблюдаться как эффект ускоренного расширения нашей Вселенной.

Наблюдаемое сейчас ускоренное расширение Вселенной можно представить в виде гигантских волн пространства – времени, масштаб которых превышает размер видимой части Вселенной. Тут достаточно ввести в общую теорию относительности Эйнштейна новый ключевой элемент – гравитационную рябь на ранних стадиях эволюции Вселенной, чтобы объяснить наблюдаемое ускорение ее расширения. И тогда вроде бы нет никакой необходимости изобретать таинственные фантомы темной квинтэссенции. Другими словами, пространственно-временная рябь, образовавшаяся на инфляционной стадии, со временем превращается в гигантские гравитационные волны, пронизывающие наш мир.

Отсюда истекает еще одно интересное следствие. Инфляционное

расширение можно характеризовать как короткий период, во время которого физическая скорость света, то есть максимальная скорость причинно-следственного влияния одних событий на другие, сама увеличивалась гигантскими темпами. Так что видимая нами сейчас скорость распространения света существенно меньше, следовательно, и видимая часть Мультивселенной достаточно мала.

По-видимому, такая интерпретация наблюдаемых космологических эффектов может подлить очередную порцию масла в огонь споров о том, насколько постоянны так называемые фундаментальные физические постоянные, включая пресловутую скорость света. Но, как бы там ни было, уже сейчас появились как сторонники, так и противники этой гипотезы.

Глава 13. Великий аттрактор

В пространстве есть течения. Некоторые из них углеродные. Звезды, проходя сквозь течения, захватывают из них несчетные количества атомов. Однако общая масса захваченных атомов микроскопически мала в сравнении с массой самой звезды и ничуть не влияет на нее. Кроме углерода! Звезда, проходящая сквозь течение с повышенным содержанием углерода, становится устойчивой... Это означает, что углеродное течение должно быть широким, а звезда – входить в него под малым углом. Во всяком случае, как только количество углерода, просочившегося в звезду, перешло известный критический уровень, излучение звезды внезапно и резко возрастает. Внешние слои разлетаются в чудовищном взрыве, и рождается новая звезда.

А. Азимов.

Космические течения

За время звездно-галактической эволюции Вселенной на ее просторах возникло очень много странного... Представим себе, что уже пять миллиардолетий на периферии колоссального звездного острова кружились вокруг неприметной звездной искры песчинки нескольких планет. Желтоватое светило вместе со своим звездным окружением медленно обращалось по периметру гигантской галактической спирали. Сам по себе этот звездный мир вместе с подобными космическими гигантами величественно плыл к границам расширяющейся Вселенной. Казалось бы, ничто не может помешать плавному течению галактической эволюции от Большого взрыва к Большому хлопку.

Однако непредсказуемый космос готовил удивительный сюрприз вечному движению скоплений исполинских звездных спиралей, облаков и шаров. Из мрака запыленного вакуума к приближающимся галактикам протянулись хищные гравитационные щупальца колоссального космического монстра, наполненного десятками тысяч разнообразных

галактик, погруженных в загадочную темную материю. Нечто сверхмассивное и непонятное покоилось в гравитационной воронке, сильно искажая окружающий рельеф пространства – времени. Со всех сторон в пропыленное и укрытое густыми облаками молекулярного водорода логово чего-то неведомого стекались космические течения материи. Они неумолимо несли с собой все, что встречали на пути – от мельчайших частиц до звездных вселенных.

Куда же может принести космический поток нашу Галактику в составе ее соседей, входящих в Местную группу, и что ждет Млечный Путь в конце?

Сейчас уже невозможно сказать, кто из современных астрономов, перечитывая рассказ Эдгара По «Низвержение в Мальстрём», увидел в фантастическом водовороте прямую аналогию с колоссальным образованием, затягивающим нашу Галактику в необозримую гравитационную воронку, названную Великим притягивающим центром – Аттрактором. Так или иначе, но словосочетание «космический Мальстрем» стало часто появляться на страницах научных и особенно научно-популярных изданий.

Чуть ли не пятая часть окружающего нас космоса скрыта газопылевой завесой диска Млечного Пути. Множество тайн, загадок и будущих открытий скрывают эти невидимые глубины Метагалактики. Однако в последнее время чувствительные астрономические приборы все чаще прорываются сквозь это покрывало.

Подобно тому как даже в темную безлунную ночь пыль и смог, подсвеченные морем огней, скрывают от городских жителей красоту звездного неба, мы видим лишь мерцающий свет широкой полосы Млечного Пути, пересекающего небосклон. Это – призрачное свечение нескольких сотен миллиардов звезд, рассеивающих свой свет на крошечных частичках пыли и газа. Наша Солнечная система лежит в одном из галактических рукавов где-то на середине галактического диска. Далеко не сразу астрономы поняли смысл фантастического зрелища Млечного Пути. Когда же пришло понимание, что это силуэт нашего звездного острова, этот восхитительный свет стал для них источником постоянной «головной боли», мешая разглядеть вселенские дали. Было высказано много фантастических гипотез о том, что может скрывать туманный ореол нашей Галактики, но действительность превзошла самые смелые ожидания.

Много интересного увидели астрономы, проникнув специальными телескопами за пылевую завесу Млечного Пути. Так, в конце прошлого

столетия стало понятно, что галактики разлетаются в космическом пространстве не поодиночке, а огромными скоплениями, роясь, как пчелы.

Измерения, сделанные с помощью спутника НАСА Cosmic Background Explorer в 1989–1990 годах, показали, что наша Галактика и ее соседи, составляющие Местную группу, движутся с трудно вообразимой скоростью, часто превышающей сотни километров в секунду, в направлении созвездия Гидра. Это направление было получено после учета всех известных движений, начиная от вращения Солнечной системы вокруг галактического ядра до движения Млечного Пути к соседней спиральной галактике Андромеда.

Какова же причина этого причудливого космического дрейфа, столь отличного от хрестоматийного разлета галактик осколками Большого взрыва? Тут надо учитывать, что взаимное притяжение прежде всего собирает галактики в группы и скопления, переходящие в сверхскопления. При этом образуются еще и гигантские «пузыри» пустого пространства – «войды», лишенные не только галактик, но и звездных систем. Неоднородно распределенная масса вещества, окружающая Местную группу, может вызвать несбалансированное притяжение в каком-то одном направлении. На первый взгляд трудно понять, как галактики могут влиять друг на друга через такие огромные расстояния. Однако соотношение масс и расстояний дает поразительный результат – галактики в скоплениях связаны друг с другом гораздо сильнее, чем отдельные звезды внутри галактик.

Так и наш Млечный Путь вместе со сверхскоплениями галактик в созвездиях Девы и Волосы Вероники, увлекая с собой гигантскую массу межзвездной материи, мчится куда-то со скоростью, превышающей 2 млн километров в час.

В данном направлении был выявлен мощнейший источник гравитации с общей массой, превышающей десять тысяч крупных галактик.

Перед изумленными астрономами предстали сверхскопления галактик и Великий Аттрактор – гигантская гравитационная аномалия, жадно тянущая к себе несколько тысяч галактик. От него до Млечного Пути приблизительно 300 миллионов световых лет. Он расположен в небе южного полушария и тянется от созвездий Павлина и Индейца до созвездия Парусов. Пытаясь определить природу этого объекта, ученые выдвинули несколько гипотез. Так, согласно одной из них, Великий Аттрактор представляет собой скопление нового, неизвестного науке вида материи. Сторонники другой гипотезы доказывали, что это не что иное, как «космическая струна», возникшая в «эмбриональном состоянии» нашей

Вселенной.

Надо заметить, что только после этих ошеломляющих открытий стало возможным хотя бы эскизно набросать достаточно полную карту обозримой части космоса. Это в свою очередь позволило вплотную подойти и к важнейшим вопросам космологии. Каковы размеры космических структур? Как они возникают? Какова плотность вещества в сверхскоплениях?

Изучение вселенского Мальстрёма принесло много нового. Вокруг Великого Аттрактора было обнаружено несколько неизвестных скоплений галактик, группирующихся вокруг колоссального ядра гравитационной аномалии. Сразу же встал вопрос о конечном пункте падения нашей Галактики в этот космический водоворот. Однако увидеть что-либо в той бесконечной дали, куда с огромной скоростью несется наш материальный мир, пока не удалось.

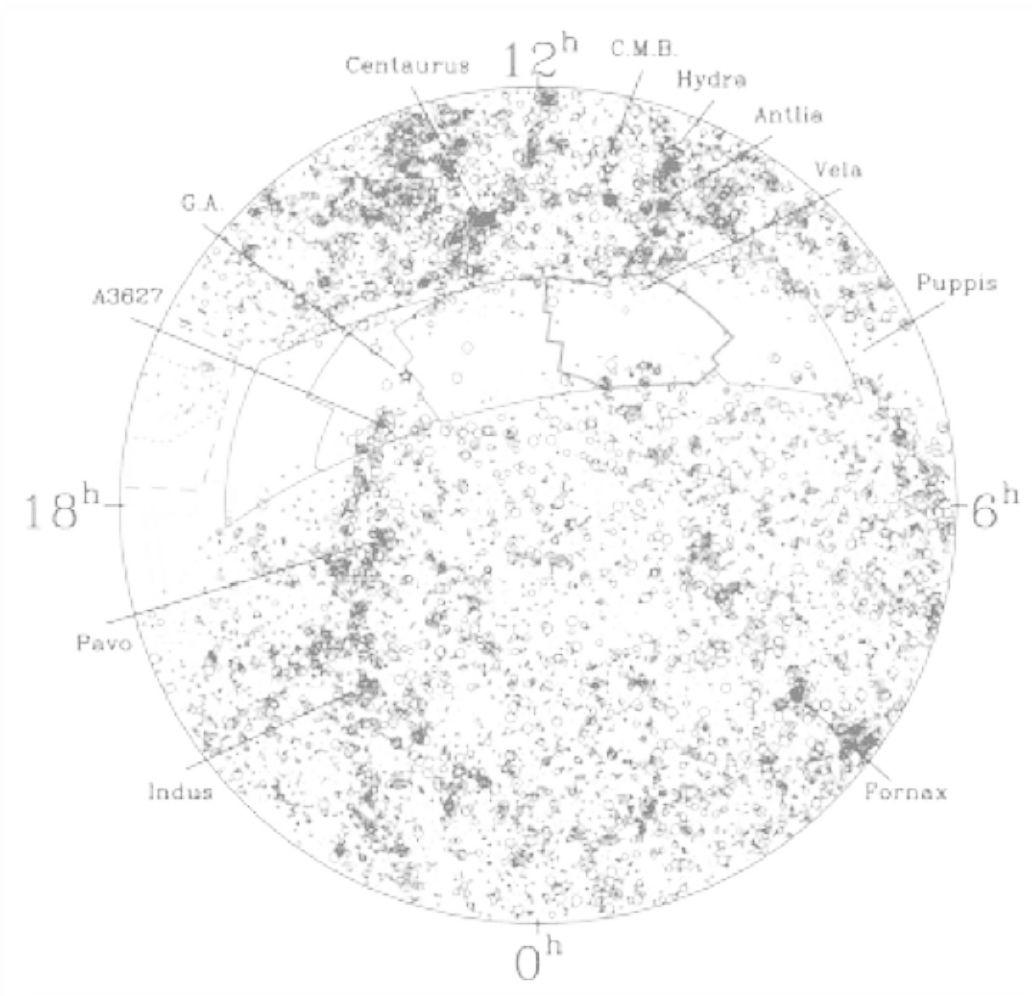


Схема расположения Великого Аттрактора

История изучения ближнего и дальнего космоса свидетельствует, что в нем нет совсем уж уникальных вещей, и любой объект имеет более-менее отдаленный аналог. Совершенно так обстоит дело и с Великим Аттрактором. Вскоре после открытия этой структуры астрономы стали обнаруживать все новые центры притяжения. Особенно преуспела в изучении новых аттракторов международная группа астрономов, работавшая в Токийской обсерватории, которую коллеги прозвали «Семь самураев». Изучив относительное движение сотен галактик, «самураи» нашли сразу несколько аналогов Великого Аттрактора.

Оказалось, что за обладание нашей Местной группой галактик долгое время сражалось несколько гравитационных центров. Сейчас в этом космическом состязании вроде бы с минимальным перевесом побеждает Великий Аттрактор. Однако у него есть мощный соперник, расположенный на таком же расстоянии – сверхскопление галактик в направлении созвездий Персей и Печь. Ряд астрономов вместе с командой «самураев» считает, что в отдаленном будущем картина гравитационной битвы может измениться.

В последующем был открыт еще более грандиозный объект в виде сверхдлинной цепочки галактик, названный «сверхгалактическая плоскость». Предполагается, что формирование подобной мегаструктуры тесно связано с природой невидимой темной материи, составляющей основу Метагалактики. Материальный мир, который окружает нас в повседневности, и все, что мы можем увидеть в глубинах Метагалактики, составляет лишь около четырех процентов содержимого Вселенной. Это малая песчинка в масштабах вселенского мира, заполненного неуловимыми темными субстанциями. При этом около четверти массы Вселенной составляет темная материя, невидимая субстанция, которая не отражает и не излучает света, но оказывает гравитационное воздействие на другую материю.

Группируясь вокруг скоплений галактик, темная материя во много раз увеличивает их массу, заставляя перемещаться галактики в самых разных направлениях. То есть, в космосе царит полный «темный» кавардак. Такая ситуация приводит к тому, что в пространстве не редко происходят столкновения не только одиночных галактик, но и их сверхскоплений.

Открытие удивительных сверхскоплений галактик, не говоря уже о Великом Аттракторе, вызвали небывалый всплеск интереса среди астрономов. Было даже решено разработать специальную международную миссию «Евклид» из тысяч специалистов Европейского космического

агентства (ЕКА) и НАСА. Этот проект включает создание специального космического телескопа, разработанного для исследования тайн сверхструктур, наполненных темной материей. На данный момент запуск космического аппарата «Евклид» запланирован на 2020 год.

Главной особенностью этого космического телескопа будут 16 современных детекторов инфракрасного излучения. Поскольку инфракрасные волны хорошо проникают сквозь пыль и газ, астрономы надеются заглянуть в самую сердцевину Великого Аттрактора и других галактических сверхскоплений. Многочисленная интернациональная команда исследователей во главе с ученым из НАСА Джейсоном Роудсом рассчитывает открыть много интереснейших эффектов, сопровождающих катастрофические столкновения звезд и галактик в глубинах гравитационных водоворотов.

С целью более глубокого понимания всего того, что таит в себе наша Вселенная, миссией «Евклид» запланировано масштабное наблюдение, охватывающее около 2 млрд галактик, которые занимают более трети звездного неба.

Ученые, которые будут проводить исследования в рамках программы «Евклид», собираются осуществить самые точные измерения «темных сторон» нашей Вселенной. Основным методом под названием «слабое линзирование» предусматривает анализ формы миллиардов галактик, возникших 7–8 млрд лет назад. Суть здесь в том, что когда темная материя находится перед галактиками, она невидима, но ее гравитация искривляет свет от далеких галактик, расположенных на заднем плане. Чем массивнее темная материя, тем значительнее искривления. Измеряя их, ученые определяют структуру распределения темной материи между галактиками.

Изменения, происходящие со временем в наблюдаемых структурах темной материи, регулируются результирующим взаимодействием между силами притяжения, обусловленными гравитацией, и силами отталкивания темной энергии. Таким образом, изучение форм галактик позволит выявить информацию не только о темной материи, но и о темной энергии.

Сможет ли близлежащее сверхскопление галактик противостоять колоссальной гравитационной мощи Великого Аттрактора? Исследователи миссии «Евклид» полагают, что смогут разрешить эту загадку далекого будущего, просчитав результат борьбы двух космических сверхгигантов.

Предполагается, что проект «Евклид» позволит прояснить, что же может произойти с Солнечной системой, когда Млечный Путь погрузится в ядро Великого Аттрактора. Наблюдения за процессами образования скоплений галактик также помогут дополнительно «прозондировать»

темную материю. Все это может пролить свет не только на далекое будущее нашей Галактики, но и раскрыть самые «темные» тайны, скрывающиеся в глубинах Метагалактики.

Глава 14. Вселенская ось зла

Трудно представить область интеллектуальной деятельности, которая на протяжении прошлого века подверглась бы изменениям большим, чем космология. Мы кардинально пересмотрели нашу точку зрения на структуру окружающего мира. Но должна ли наука будущего постоянно требовать больше опытных знаний, чем было доступно ранее? Согласно последним исследованиям, на космологических промежутках времени ответ будет: нет, не должна. Возможно, мы живем именно в тот период эволюции Вселенной, когда ученые могут достичь полного понимания ее истинной природы.

Л. Кросс, Р. Шеррер.

Наступит ли конец космологии?

Полученные приемником зонда Уилкинсона данные подтвердили и вселенскую асимметрию, и тень от Оси зла, и полное доминирование «темных сторон» мироздания. К тому же мы теперь знаем точный возраст нашего мира: 13,81 млрд лет. Античные философы считали центром мира Ойкумену – гигантский остров Средиземноморья, омываемый Великим океаном. Затем центром мироздания стала уже вся Земля, заключенная в хрустальные небеса со звездами и планетами. Николай Коперник устроил революционный переворот в небесных сферах, сведя роль Земли к обычной планете в Солнечной системе. С тех пор принцип Коперника, гласящий, что нет никакого «пула Вселенной» в окружающем мире, уже неоднократно разжаловал статус нашего места в мироздании. Так Солнечная система превратилась в ординарную частичку гигантского звездного острова Млечного Пути. Затем и Галактика приобрела себе десятки соседей в Местной группе. Ну, а потом и сама Местная группа в нашем галактическом сверхскоплении прочно заняла свое место в необозримой сети метагалактической материи, перемежаемой колоссальными космическими пузырями – войдами.

Казалось бы, трудно уже придумать что-то новое для этой

потрясающей картины Мета Вселенной – видимой нами части безбрежного мира. Однако список космических чудес, судя по всему, далеко не исчерпан. И вот среди привычного хаоса переплетающихся нитей и ячеек Метагалактики астрономы увидели нечто, тут же получившее одиозное название: Ось зла.

5 сентября 2002 года Космический центр НАСА погрузился в глубокую скорбь. Ушел из жизни научный руководитель одного из самых грандиозных проектов последнего времени Дэвид Уилкинсон. В тот же день было принято решение переименовать космический зонд «Карта» (Map) в WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Так возникла аббревиатура, хорошо известная каждому, кто интересуется исследованиями строения Вселенной.

Вспоминая профессора Уилкинсона, его коллеги единодушно отдают ученому пальму первенства в организации уникальной космической миссии НАСА по изучению реликтового излучения Большого взрыва. Она началась 20 апреля 2001 года, когда на ракетодом НАСА доставили 840-килограммовый аппарат. После двух месяцев тестов и проверок миссия была признана выполнимой и 30 июня 2001 года ракета «Дельта-2» понесла зонд в далекий космос.

1 октября 2001 года, пролетев полтора миллиона километров, аппарат достиг «точки либрации Лагранжа», где земное тяготение полностью уравнивается солнечным. Прошло еще полгода, и в аналитический центр НАСА поступили данные первого панорамного сканирования небесной сферы.

Команда профессора Уилкинсона очень хорошо подготовила проект, так что зонд WMAP вместо запланированных двух лет передавал на Землю ценнейшую информацию с октября 2001 до сентября 2009 года. И лишь когда в работе этой астрофизической обсерватории начались множественные сбои, она была выведена из эксплуатации.

Собранная WMAP информация позволила ученым построить самую детальную на сегодняшний день карту видимой Вселенной – Метагалактики. В основу ее легли исследования эха Большого взрыва – распределения микроволнового излучения на небесной сфере. Первые попытки создать подобный космический атлас были сделаны с помощью аппарата НАСА COBE в 1992 году, однако точность данных WMAP была выше почти в 35 раз.

В свое время на предстартовом брифинге профессор Уилкинсон объяснял журналистам, что миллиарды лет назад наша Вселенная родилась в труднообъяснимом катаклизме Большого взрыва. С тех времен по

космосу гуляют остатки взрывной волны, наполняя все вокруг реликтовым микроволновым радиоизлучением. Точно так же, как закрытое тучами небо подсвечивают солнечные лучи, окружающие нас галактики и межзвездные облака газа и пыли «просвечивают» реликтовые микроволны. Принять их и расшифровать означает увидеть образ окружающей нас Вселенной. Именно так данные WMAP показали распределение по небесной сфере температуры реликтового излучения.

Важность полученной модели Метагалактики трудно переоценить. Во-первых, она подтвердила, что наблюдаемая Вселенная состоит всего лишь из 4 % обычного вещества. Оказалось, что основу окружающего мира составляет 23 % загадочной темной материи и 73 % еще более таинственной темной энергии, вызывающей ускоренное расширение Вселенной. Данные WMAP позволили уточнить и возраст Вселенной, остановившись на цифре $13,73 \pm 0,12$ миллиардов лет.

Зонд Уилкинсона совершил еще ряд удивительных открытий, но все они требовали независимого подтверждения. Эстафету исследований миссии WMAP подхватило Европейское космическое агентство (ЕКА), запустившее 14 мая 2009 года с экваториального космодрома Куру во Французской Гвиане ракету-носитель «Ариан-5» с космической обсерваторией «Планк» (см. цветную вклейку).

Миссия ЕКА «Планк» не только уточнила и дополнила результаты WMAP, но и получила собственные оригинальные данные, позволившие еще раз по-новому взглянуть на «вселенский глобус». Некоторые очень странные детали на новом атласе Метагалактики заставили вспомнить мифы о древе Мира, вселенском столпе и особенно мировой оси, тут же получившей имя «Ось зла». У астрофизиков были весьма веские основания предложить такое необычное поэтизированное название, ведь новые данные плохо вписывались в традиционную схему мироустройства.

Разгорелась бурная научная полемика, затронувшая многие разделы астрономии. Что же именно поразило ученых в новой картине мироздания?

Одним из первых термин «Ось зла» употребил лондонский космолог Жоао Магуэйо. С его легкой руки среди астрономов пошел гулять образ некоего сверхгалактического лайнера, пролетевшего сквозь Вселенную. Его расплывшийся «инверсионный след» оставил на небосводе странный феномен в виде череды холодных и теплых областей микроволнового фона. Вначале никто не поверил в столь странное метагалактическое явление, но компьютерное моделирование в целом его подтвердило. Оказалось, что гигантские сгустки материи расположены на небесной сфере не случайным, как следовало бы, а упорядоченным образом.

Как же родилась Ось зла во Вселенной и к чему может привести ее дальнейшая эволюция?

Профессор Магуэйо считает, что подобный характер распределения вещества возник в совсем юной Вселенной, когда ее размеры были сравнительно невелики и в них просто не могли возникнуть более протяженные области возмущения (правда, не совсем ясно, какие же процессы могли привести к подобной неоднородности).

После того как существование Оси зла уже было невозможно игнорировать, в борьбу за спасение традиционных представлений бросились многие видные астрономы. Громче всех против «несимметричной Метагалактики» возражал Крис Вале из Калифорнийского университета. Профессор Вале уверен, что истинный фон может оказаться искаженным чудовищной концентрацией галактик в определенных областях небесной сферы.

Сторонники Магуэйо утверждают, что обнаружение Оси зла было последней каплей, переполнившей чашу терпения противников стандартной модели мира, которую они считают не только запутанной, но и просто уродливой.

Во всяком случае, открытие Оси зла грозит настолько фундаментальными потрясениями, что НАСА уже выделило ученым средства на пятилетнюю программу детального исследования и проверки данных WMAP. Естественно, нельзя исключать и чисто инструментальные ошибки, хотя большинство фактов говорит о обратном.

Не так давно прошла первая в мире конференция под названием «Кризис в космологии», на которой констатировалось неудовлетворительное состояние нынешней модели мира и рассматривались пути выхода из кризиса. По всей видимости, мир стоит на пороге очередной космологической революции.

Ее последствия могут превзойти все ожидания с учетом того, что теория Большого взрыва имеет общекультурное и даже религиозное значение, отлично согласовываясь с догмами сотворения мира.

Обнаружение странного космологического феномена – Оси зла – стало наряду с другими открытиями последнего времени чрезвычайно серьезным испытанием для современной космологии. Уже привычная и устоявшаяся научная картина мира, судя по всему, вот-вот подвергнется коренному пересмотру. Группа ученых из Мичиганского университета во главе с Майклом Лонго решила проверить невероятную гипотезу о буквальном смысле термина «ось» мира. Для этого исследовали направления вращения 15 872 спиральных галактик и пришли к очень странному выводу о том, что

наша Вселенная вращается некоторым образом вокруг той же самой Оси зла.

Вначале ученые пытались найти доказательства того, что Метагалактика зеркально симметрична. В этом случае количество галактик, закрученных по часовой стрелке, должно, в пределах некоторой погрешности, равняться числу противоположно закрученных. Однако оказалось, что в направлении северного полюса Млечного пути преобладают «правосторонние» спирали. Эта тенденция просматривается даже на расстоянии более 600 млн световых лет.

Если данные результаты подтвердятся, их будет очень трудно применить к стандартной модели сферически симметричного Большого взрыва, напоминающего лопнувший круглый мяч. Получается, что новорожденная Вселенная должна была вращаться вокруг своей оси.

Впрочем, критики творчества коллектива Лонго справедливо замечают, что принцип асимметрии широко распространен в окружающем мире. Ведь и человеческое тело далеко не симметрично, если принять во внимание анатомию. В ответ группа Лонго продолжает поиск новых аргументов, переходя к изучению галактик в южном полушарии, где, по идее, должны были бы преобладать галактики, вращающиеся по часовой стрелке...

Сможет ли наша Метагалактика вместить в себя еще и Ось зла, сохранив свою стандартную модель во вселенском вращении, должны показать уже ближайшие астрономические наблюдения. Но как бы там ни было, сам факт, что нам не известен состав практически всего космоса, говорит обо многом, позволяя ожидать новых сенсаций.

Глава 15. Соты метагалактики

Сегодняшняя Вселенная заполнена скоплениями галактик. Некоторые из них совсем невелики, всего-то несколько десятков галактик... Другие скопления содержат несметные орды из тысяч галактик, связанных взаимными гравитационными узами....

В самом крупном масштабе мы живем во Вселенной галактик, которая, вероятно, содержит сотни миллиардов изысканных образцов космического созидания и разрушения, в равной мере обнаруживающих и порядок, и хаос.

К. Саган.

Космос. Эволюция Вселенной, жизни и цивилизации

С тех самых пор как первобытный троглодит бросил первый более-менее осмысленный взгляд на небосвод, его неустанно преследовал вопрос о безбрежности мироздания. И для астрономов будущего одной из главных задач еще долго будет оставаться поиск границ нашей Вселенной. Несколько иной путь предлагает современная кибернетика. Давайте попробуем представить себе, что удалось наконец создать некий сверхкомпьютер с совершенно фантастическими возможностями. Тогда астрономы могли бы ввести в него все, что они знают о доступной нам части Вселенной – Метагалактики. Эта трудновообразимая по величине область космоса предстала бы в виде электронной модели – небесного глобуса, где на месте созвездий были бы мириады галактик. Надо сказать, что подобные проекты изучает особая наука, формально входящая в астрономию, но претендующая на совершенно особую роль в познании окружающего мира – космология.

Космология в основном изучает крупномасштабную структуру Вселенной, объекты которой луч света обегает за десятки миллионов лет. Прежде всего тут выделяются скопления и сверхскопления галактик. Космологи считают, что современный вид Метагалактики определили первоначальные малые сгущения вещества 13 млрд лет назад. Под

действием гравитации они обросли веществом, как комья липкого мокрого снега на склоне горы. Затем стали действовать пока еще неясные процессы, и из рыхлых комков материи возникли прекрасные кружева галактических скоплений.

По современным представлениям, основным компонентом межзвездной среды является газ, перемешанный с пылью. Газопылевые облака, подсвеченные звездами и пронизанные космическими лучами, иногда представляют собой совершенно фантастическое зрелище. Однако и они совершенно теряются на фоне метагалактических скоплений галактик, считающихся самыми крупными системами во Вселенной (см. *цветную вклейку*).

Как образовался «улей» Метагалактики? В чем заключается его эволюция при ускоренном разлете нашего мира? Есть ли у ячеистого здания Вселенной какие-то еще сверхструктуры: «стены», «крыша» и «подвал»?

Астрономы-наблюдатели, космологи и физики вместе с математиками-программистами выполнили уже несколько впечатляющих проектов. В них они поистине пытаются объять необъятное, представляя, как выглядит «со стороны» наша вселенская среда обитания.

В последние годы выяснилось, что крупномасштабная структура Метагалактики ячеистая. Группы, скопления и сверхскопления галактик расположены главным образом в сравнительно тонких слоях или цепочках. Слои и цепочки пересекаются, соединяются друг с другом и образуют колоссальные ячейки неправильной формы, внутри которых галактик практически нет.

Ф. Ю. Зигель. *Астрономическая мозаика.*

Объекты мегамира. Структура Метагалактики

Всякое исследование внешнего вида Метагалактики наталкивается на недостаток информации о пограничных областях, насыщенных сверхдалекими юными галактиками. Здесь столько загадок и противоположных мнений, что прийти к астрономическому консенсусу пока совершенно невозможно. Кто-то считает, что в момент, когда вспыхнула первая звезда, вселенский «улей» представлял собой одну лишь грудку строительных материалов. Другие утверждают, что еще в «темные

беззвездные века» воздвиглись основные несущие стены и пролеты ячеистой Метагалактики. Третьи относят образование сверхструктуры Вселенной к гораздо более позднему времени, когда равномерный разлет пространства сменился ускоренным расширением.

Между тем исследовать метагалактическое пограничье крайне трудно, ведь далекая галактика становится даже для очень сильного телескопа практически неотличимой от более близкой звезды. Как уж тут воссоздать галактические сверхскопления и «соткать» из них кружева метагалактических сот (см. цветную вклейку).

Все надежды космологов связаны с новыми инструментами их коллег – астрономов-наблюдателей. Это могут быть стометровые наземные телескопы-рефлекторы, состоящие из множества сравнительно небольших зеркал, управляемых компьютером. Их будут дополнять всеволновые космические обсерватории нового поколения, размещенные в «гравитационных гаванях» Лагранжа, где земное тяготение равно лунному или солнечному.

Космические телескопы, как и их старшие земные собратья, будут состоять из многих компьютеризованных зеркал, что по расчетам должно их сделать уникальнейшими телескопическими системами. Эти астрономические инструменты смогут колоссально приблизить к нашим глазам самые удаленные уголки Метагалактики. Более того, составляя сверхглубокие обзоры космического простора, мы наконец-то сможем осуществить вековую мечту астрономов о паромном обзоре Вселенной. Это будет не взгляд в одном направлении, напоминающий подглядывание через замочную скважину, а глубокие связанные изображения обширных областей космоса.

Это очень важно по многим причинам, но одна из них просто захватывает воображение!

Дело в том, что ускоренное расширение пространства через сотню миллиардолетий неузнаваемо изменит облик окружающего мира. Вся Метагалактика сожмется для наших далеких потомков в исполинскую Сверхгалактику, состоящую из Млечного Пути, галактики Андромеды и Местной группы галактик. Несмотря на вроде бы впечатляющие размеры это будет жалкая крупинка сегодняшней зримой Вселенной. Куда же исчезнет все остальное? Оно просто разлетится в пространство вне всякой досягаемости любых, даже самых грандиозных телескопов. Кроме того неузнаваемо изменится химический состав космоса и исчезнут всяческие признаки реликтового фона – отклика Большого взрыва.

Получается, что космологи далекого будущего будут считать, что вся

Вселенная состоит из их медленно стареющего звездного острова, плывущего в вечной и неизменной пустоте космического вакуума. Единственная возможность донести научную правду до будущих астрономов – это оставить им современные знания о Большом взрыве, ускоренно расширяющейся Вселенной и сотовом «улее» Метагалактики.

Атмосфера Земли непрозрачна для многих излучений, поэтому главными инструментами для астрономов, строящих атлас Вселенной, служат разнообразные космические обсерватории. Они довольно успешно ведут наблюдения «края мира» в инфракрасных, ультрафиолетовых и рентгеновских частях электромагнитного спектра. К примеру, сравнительно недавно международная космическая группа астрономов уже получила изображение звездных объектов в тысячи раз слабее, чем наблюдаемые в самые мощные наземные телескопы. На таком изображении без труда можно было бы рассмотреть нашу Солнечную систему с окраины соседней галактики – туманности Андромеды!

Наблюдая с помощью совершенствующихся телескопов сверхдальние космические объекты, ученые не только проникают все дальше в глубины мирового пространства, но и получают возможность путешествовать на своеобразной машине времени, зрительно проникая на все более ранние стадии эволюции Вселенной. Ведь чем дальше от нас находится тот или иной космический объект, тем больше времени затрачивают световые лучи, чтобы преодолеть расстояние, отделяющее его от Земли. Следовательно, наша астрономическая машина времени углубляется во все более отдаленное прошлое. Впрочем, космическое прошлое не прошло бесследно и так или иначе проявляет себя в современной Вселенной. Эти следы далеких эпох намечают путь к разгадкам многих тайн происхождения нашей Вселенной.

Исследования космологов иногда могут перевернуть все представления об окружающем мире. Хорошим примером здесь служат споры об ускоренном расширении нашей Вселенной. Это странное ускорение возникло по совершенно непонятным причинам несколько миллиардов лет назад (чаще всего встречаются оценки в 5–6 миллиардов лет) и полностью изменило прогнозы на далекое будущее. По многим причинам возникла полемика, в целом оспаривающая ускоренный разлет галактических скоплений. Контр аргументами служат наблюдения, позволяющие считать, что никакого ускоренного расширения нет. Вместо этого наше галактическое окружение оказывается внутри сверхгигантского пузыря – войда. В этом случае все эффекты ускоренного разлета групп галактик связываются со стенками войда. Определить, кто тут прав, пока

очень трудно. Нужны наблюдения близких и сверхдалеких галактик.

Сейчас мы являемся свидетелями непрекращающегося потока удивительных астрономических открытий. Так случилось, что совпадение развития космических и земных телескопов привело к одновременным прорывам на нескольких направлениях научных исследований. Это вызвало целый ряд уникальных космологических открытий, связанных с загадочными темными материей и энергией, заполняющими нашу Вселенную. В скором времени новые космические орбитальные обсерватории наподобие «Джеймса Уэбба» позволят вплотную приблизиться к пределу наблюдения первых звездных объектов, возникших во Вселенной.

Быть может, наша Вселенная – это всего лишь краткая вспышка энергии в какой-то другой вселенной. К сожалению, четко ответить на вопрос, где находятся все эти вселенные, наука пока не может, как и объяснить, что было до возникновения нашего мира.

Сегодня, как и в давние времена первых астрономических атласов, возникают первые карты Метагалактики с удивительными сотами галактических звездных островов. Можно смело сказать, что космология переживает в наше время настоящую революцию, результаты которой еще предстоит оценить нашим потомкам.

Глава 16. Космические диковины

Детали рельефа пространства – времени зависят от плотности ранней Вселенной. В современной Вселенной следы такой структуры проявляют себя в расположении материи и излучения. Короче говоря, если и существует «атомарность» пространства – времени, то не потребуются многовековых поисков ее следов, как в случае нахождения структуры вещества. При удачном стечении обстоятельств мы сможем прояснить этот вопрос уже в грядущем десятилетии.

М. Боджовальд.

В погоне за скачущей Вселенной

Гравитационные щупальца планет, звезд и галактик всячески пытаются притянуть к себе друг друга. Иногда это приводит к удивительным результатам. Так, международный коллектив астрономов, возглавляемый Сельмой де Минк из университета Амстердама, открыл аномальную звездную систему VFTS 352 в спутнике нашей Галактики – Большом Магеллановом Облаке. С помощью телескопа VLT, установленного на высокогорном чилийском плато Чакантор Европейской южной обсерватории, ученые наблюдают гравитационный поединок светил в туманности Тарантула. В этих крупнейших «звездных яслях» можно встретить много необычных явлений. К примеру, недавно открытая звезда VFTS 102 вращается вокруг себя со скоростью в 3 млн км/ч, ее сосед VFTS 682 в 3 млн раз ярче Солнца, а удаленная R136a1 сверхмассивна и в 256 раз тяжелее нашего светила.

В случае крупных звезд VFTS 352 (каждая звезда примерно в 28,5 раз тяжелее Солнца и в сотни тысяч раз ярче его) все выглядит еще более необычно. Светила буквально соприкасаются, «кусая» друг друга, и треть массы каждой звезды является «общей» для них. Интенсивный обмен материи между тандемом, разделенном всего 12 млн километров (четверть расстояния между Меркурием и Солнцем), вполне может привести к его слиянию. Это вызовет колоссальный взрывной катаклизм с мощнейшей гамма-вспышкой и образованием черной дыры. По другому сценарию

«слипшиеся» гиганты могут избежать «распухания» в гигантскую мегазвезду – так возникнет какой-то неизвестный путь жизненной эволюции звезд с рождением пары сверхновых, оставивших после себя черные дыры, излучающие мощные гравитационные волны.

Первый сценарий считается более вероятным, ведь именно так должны возникать супергиганты, подобные R136a1, чья масса превышает все мыслимые пределы обычного звездообразования. Вторая гипотеза ведет в неизвестность, поскольку астрономы еще не научились моделировать процесс перемешивания «кипящего плазменного супа» из материи двух вгрызающихся в плоть друг друга светил.

* * *

Сегодня астрономы с гордостью отмечают 20-летний юбилей открытия первой землеподобной планеты, обращающейся вокруг звезды, похожей на наше светило. Большинство экзопланет было открыто с помощью космического телескопа «Кеплер». Эта орбитальная обсерватория занимается поиском новых планет с мая 2009 года. К глубокому сожалению, после четырех лет эксплуатации телескоп перестал реагировать на команды с Земли. Три месяца специалисты НАСА пытались вернуть его к жизни, но были вынуждены прекратить использование этого уникального астрономического инструмента. Тем не менее, за время своих наблюдений Кеплер передал громадный объем интереснейших данных, анализ которых все еще продолжается. Если вы где-то встретите технический индекс «Кеплер», это означает, что небесное тело открыл именно данный космический телескоп.

Одним из самых сенсационных открытий космического телескопа стала планета Кеплер-186f, находящаяся в 5 сотнях световых лет от нас. Это была первая скалистая планета, входящая в «зону жизни» у своей звезды. Она близка по размеру Земле и на ее поверхности может существовать вода. Теоретически там могла бы возникнуть земная белково-углеродная жизнь. Тем не менее само светило совсем не похоже на нашего желтого карлика, а внешний вид планеты может сильно отличаться от созданных компьютерных моделей.

Первая компактная планетарная система Кеплер-11 чем-то напоминает уменьшенную Солнечную систему и состоит из шести планет, пять из которых вращаются на расстоянии, сравнимом с орбитой Меркурия.

Не менее удивительна первая планета «двух солнц» Кеплер-16b. Как и

фантастический Татуин из «Звездных войн», она входит в двойную звездную систему.

Еще одна необычная планета Кеплер-78b превышает земную массу в 1,8 раза, а радиус – в 1,2 раза. Благодаря таким габаритам ее плотность близка к земной, но при этом мы наблюдаем страшную картину: планета удалена от своего светила всего на 1,6 млн км, что в 90 раз ближе расстояния от Земли до Солнца; она стремительно летит по орбите, год равен лишь 8,5 земным часам. На таком незначительном расстоянии на планету изливаются чудовищные потоки звездной энергии. Светило видно там как в 80 крат увеличенное Солнце на Земле, оно разогревает поверхность до $1650\text{--}2850^{\circ}$ – вполне достаточно, чтобы расплавить большинство минеральных пород и создать реки и озера из кипящей лавы.

Естественно, что в таких «адских условиях» там не может быть ни воды, ни какой-либо белковой жизни.

* * *

Космогония – наука о происхождении небесных тел – в настоящее время находится на распутье. Это связано с сенсационным открытием международного астрономического коллектива необычайного «гибридного газопылевого диска» вокруг далекой звезды HD 21997. Что же так взволновало планетологов и породило разговоры о пересмотре сценариев рождения небесных тел?

Ранее считалось, что новорожденные солнцеподобные звезды окружены диском из газа и пыли – строительным материалом для планетной системы. Согласно учебникам астрономии, в ходе такого строительства газ вокруг звезды исчезает за десяток миллионов лет. Между тем в системе HD 21997 возрастом в 30 миллионов лет прошло уже 20 млн лет после «сдачи планетарного объекта», а газовое облако так и не исчезло. Кроме того звезду охватывает протяженное газовое кольцо, в полусотню раз превышающее земную массу.

Надо сказать, что астрономы, как и другие ученые, очень не любят переписывать общепризнанные теории. Поэтому сегодня они настойчиво ищут аналоги HD 21997 для дальнейшего изучения «аномальных гибридов» и решения дальнейшей судьбы звездной космогонии.

* * *

Недавно астрономам с помощью новейшего телескопа ALMA, расположенного в высокогорной пустыне Атакама в Южной Америке, удалось найти в туманности Бумеранг полюс космического холода. Необычный объект имеет температуру всего 1^0 Кельвина ($-272,15^0$ Цельсия).

Туманность Бумеранг была открыта в 2003 году космическим телескопом Хаббла в созвездии Центавра на расстоянии в 5000 световых лет. За прошедшие годы ученые сначала выявили необычную форму газового облака, напоминающую призрачный галстук-бабочку или песочные часы. Затем заметили, что его окутывает вытянутая оболочка газа, напоминающая «космическое привидение».

Температура Бумеранга всего на один градус выше абсолютного нуля – наименьшей температуры во Вселенной, при которой замерзает даже легчайший водород. Поэтому и сама туманность чуть видна на фоне микроволнового фона Вселенной (остатков Большого взрыва, породившего наш мир).

Туманность содержит какую-то жгучую научную тайну, ведь ее призрачное свечение при такой низкой температуре противоречит физике космоса! Впрочем, наука о сверххолодных космических объектах еще только начинает вырабатывать модели этих загадочных явлений.

Возможно, центр туманности представляет собой кладбище небольших умирающих звезд, которые и подсвечивают окружающий сверххолодный газ. Может быть, столь низкая температура «туманного призрака» связана с редкими полупогасшими светилами, работающими как хладагенты в холодильниках – тогда звезды просто забирают все тепло из туманности, превращая ее в гигантскую морозильную камеру.

* * *

Астрономы считают, что внешний вид нашей Галактики так же прекрасен, как и ее ближайшей крупной соседки, туманности Андромеды. Однако два этих звездных острова стремительно летят навстречу и однажды столкнутся. Между тем этот феерический катаклизм раз в пятьсот уступает вселенской катастрофе, разразившейся на расстоянии 800 световых миллионов лет в крупнейшем скоплении галактик Abell 2256.

Группа астрономов, возглавляемая Фрейзером Оуэном из Национальной радиоастрономической обсерватории США, считает, что ныне две части Abell 2256 переживают серию мощнейших столкновений и

слияний. При этом задействованы некие загадочные физические процессы, неизвестные науке.

Abell 2256, называемое за его форму скоплением Большого Хвоста, является самым близким к Млечному Пути сверхскоплением, простирающимся на 4 млрд световых лет. На ночном небе его границы сопоставимы с полной Луной, а общая масса звезд в 1000 трлн раз превышает Солнце.

В общей сложности в него входит около 500 галактик, вовлеченных в водоворот столкновений, сопровождаемых массивными вспышками звездообразования и всплесками радиоизлучения.

Профессор Оуэн и его коллеги с помощью телескопа VLA сумели получить полноцветные высококачественные снимки скопления и рассмотреть его отдельные регионы. Эти фотографии впервые помогли понять весь масштаб чудовищной вселенской катастрофы в Большом Хвосте и перейти к составлению компьютерных моделей самого грандиозного столкновения звездных миров во Вселенной.

* * *

Полвека назад свет увидел научно-фантастический роман французского писателя Франсиса Карсака «Бегство Земли». В нем рассказывалось о далеком будущем, в котором человечеству выпало пережить новый ледниковый период, вызвавший эпоху упадка и долгое возрождение цивилизации от первобытного уровня.

Через пять тысячелетий на Солнце начались странные процессы, ведущие к сверхновой вспышке. Чтобы избежать испепеляющего взрыва светила, грозящего уничтожить Солнечную систему, земляне принимают смелое решение отправиться в межзвездное путешествие.... на своей планете, используя «космомагнетические двигатели». С собой космические скитальцы решают прихватить еще и колонизированную Венеру с Луной.

Беспримерная «космическая сага» приводит беглецов в звездную систему Этанор, где уже обитают далекие потомки земных звездопроходцев. Они выбросились сюда в одном из первых неуправляемых гиперпространственных рейдах.

Сюжет «космической оперы», изобилующий битвами со «своими» и «чужими» аборигенами, приводит земную миссию к звезде Белюль. В этой системе также находятся «космические робинзоны» с Земли, и прибывшие земляне освобождают их от рабства инопланетных каннибалов. Так беглые

планеты наконец-то находят свой новый звездный дом.

В отличие от своего великого предшественника Жюль Верн Карсак весьма свободно обращался с научными данными. Поэтому юбилей его творения вряд ли привлеч чье-либо внимание, кроме историков фантастики, если бы не одно поразительное астрономическое открытие...

Целое десятилетие астрономы Монреальского университета занимались «поиском одной-единственной иголки в тысячах стогов сена». И вот им удалось выявить совершенно «бездомную» планету, названную CFBDSIR2149. Это странное блуждающее небесное тело, в 7 раз превышающее Юпитер и нагретое до 400⁰ Цельсия, не входит ни в одну звездную систему.

Свободно плывущий в звездных далях «космический бомж» родился всего сотню миллионов лет назад где-то в окрестностях созвездия Золотой Рыбки.

Ученые продолжают спорить об истории появления CFBDSIR2149, считая ее то миниатюрным звездным зародышем – «коричневым карликом», то сверхгигантской экзопланетой, выброшенной гравитацией из своей системы.

Во всяком случае теперь у астрономов есть надежда встретить и другие удивительные блуждающие планеты, вращающиеся по дальним орбитам вокруг звездных скоплений.

Впрочем, открыть такое небесное тело далеко не просто – оно должно быть близко к нам и далеко от других звезд. Ведь, как говорят астрономы, увидеть блуждающую планету – это все равно что заметить светлячка, сидящего на мощном прожекторе.

Ну, а могут ли подобные странники нести семена жизни или даже разума? Здесь мнения космических биологов расходятся. Хотя трудно придумать иной «ковчег», уносящий разумных обитателей от гибнущей звезды....

* * *

Приблизительно в то же время, когда Карсак создавал свою космическую сагу «Бегство Земли», вышел и замечательный роман российского писателя Ивана Ефремова «Туманность Андромеды». В нем на гораздо более высоком научном уровне рассказывалось об обитателях системы погасшего светила Железной звезды, ужасающих медузах и парящих крестах... Могла ли возникнуть подобная жизнь в недрах «темной

планеты»?

На Земле все определяют процессы фотосинтеза, создающие под влиянием солнечного света кислород для дыхания. Благодаря солнечным лучам наше тело вырабатывает различные вещества, включая жизненно необходимые витамины.

Если же наше светило погаснет, то Земля быстро превратится в ледяной шар. Некоторое время холоду будет сопротивляться мировой океан, но через десятилетия и он почти весь промерзнет. Лишь некоторое тепло будет поступать из глубин планеты. Почти все крупные существа неминуемо погибнут...

Что же может происходить на блуждающих планетах, напоминающих наших газовых гигантов Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун? Может быть, и здесь иногда возможны условия для произрастания зерен жизни? Ведь по оценкам астрономов количество планет-бродяг в нашей Галактике скорее всего составляет миллиарды....

Мы пока мало знаем об иных мирах и вряд ли скоро побываем в иных звездных системах, но в одном твердо уверены – для нашей жизни абсолютно необходима вода. Чтобы растопить лед (а он в космосе встречается повсюду), блуждающим планетам нужно внутреннее тепло. Внутренний жар может обогревать миллиарды лет, но он в тысячи раз меньше звездного тепла. Впрочем, многие планеты могут «набросить» на себя газовые и ледяные шубы. Если у блуждающего вдали от светил тела есть плотная атмосфера и многокилометровый слой льда, то у него могут быть и внутренние океаны.

Именно такие водоемы астрономы мечтают открыть у лун Юпитера – Европы и Ганимеда.

Плотная атмосфера странствующей планеты, скажем, из водорода, также в принципе может поддерживать на поверхности положительную температуру с морями, наполненными жизнью.

Уверенность в этом космобиологам придают земные подводные оазисы – «черные курильщики». Там в полном мраке и при чудовищном давлении вблизи геотермальных источников кипит жизнь удивительных организмов, поглощающих тепло земных недр. Там можно встретить экзотические водоросли, причудливых рыб, двухметровых кольчатых червей и громадных безглазых креветок.

Другой вопрос – может ли жизнь самостоятельно зародиться на странствующей планете-бродяге, или она должна быть занесена извне? Наука не знает ответа, но блуждающая планета может быть усеяна уникальными формами жизни вокруг внутренних источников тепла.

Блестящее описание подобного мира в глубинах юпитерианской Европы дал Артур Кларк в своей «Космической Одиссее».

* * *

Блуждающая планета может также послужить космическим полустанком в долгой дороге к звездам. Подобный трамплин позволит годами путешествовать, не тратя драгоценного топлива и выбирая наилучший момент для старта межзвездной экспедиции. Может быть, когда-нибудь странствующая планета и сыграет роль космического «ковчега» для будущих поколений землян, как об этом писал французский фантаст.

Разумеется, тут больше подойдет не покрытое километровыми льдами тело, а планета с плотной водородной атмосферой. Поскольку это дело далекого будущего, человечество наверняка овладеет к тому времени методами терраформирования и сможет изменить атмосферу новой планетарной базы. Тогда земные колонисты смогут перерабатывать запасы местной биомассы, скопившейся на дне океанов.

Еще один фантастический вариант включает создание искусственных лун из крупных тел пояса Койпера, раскинувшегося за Плутоном. Подправляя траекторию этих планетоидов, их можно было бы вывести к ближайшей блуждающей планете и, сделав сателлитами, разогреть ее недра приливным воздействием.

Можно также представить, что земные колонисты зажгут вблизи своего нового дома мини-солнце в виде термоядерного реактора, точно так же, как это сделал внеземной разум в вышеупомянутом романе Кларка. Там Юпитер вспыхнул новой звездой – Люцифером, растопив льды Европы и других своих спутников.

В нашем ближайшем галактическом окружении блуждают не только отдельные планеты, но и целые звездные системы. Некоторые из них могут когда-нибудь оказаться и в гостях у Солнечной системы. Например, звездным гостем может стать светило HIP85605 из созвездия Геркулеса. Сейчас оно находится на расстоянии 16 световых лет, а через 300–400 тысячелетий приблизится 8000 астрономических единиц (а. е. – расстояние от Земли до Солнца). Возможно, что это будет далеко не безобидная встреча и HIP 85605 вытолкнет из облака Оорта, окружающего Солнечную систему, множество крупных астероидов и кометных ядер.

Часть из них непременно устремится к Солнцу, пересекая земную

орбиту, что создаст много проблем нашим далеким потомкам.

Астрономы считают, что в далеком прошлом у ворот нашего «солнечного дома» уже не раз оказывались звездные посетители. Так, 3,8 млн лет назад гигантская звезда гамма Микроскопа, в два с половиной раза превышающая Солнце, прошла в одном парсеке от нашей системы и скорее всего обрушила массу астероидов из облака Оорта. А примерно 70 тысяч лет назад через внешний регион Солнечной системы пролетела пара карликовых звезд, известная как звезда Шольца из созвездия Единорога. Сегодня она удалась на 20 световых лет, а некогда приблизилась на 52 000 астрономических единиц.

Существует гипотеза, что это «звездное рандеву» вызвало поток комет из облака Оорта, которые буквально снесли атмосферу Марса и высушили его моря. На Земле кометные удары катастрофически изменили климат и привели к наступлению Великого ледникового периода...

Глава 17. Солнечный замок в рукаве млечного пути

Представив мир в состоянии простейшего хаоса, я объяснил великий порядок природы только силой притяжения и силой отталкивания – двумя силами, которые одинаково достоверны, одинаково просты и вместе с тем одинаково первичны и всеобщы.

Иммануил Кант.

*Всеобщая естественная история и теория
неба*

Как же возник наш прекрасный космический дом – Солнечная система и ее жемчужина – планета Земля? Многие здесь еще не совсем ясно, и забавным парадоксом выглядит то, что ученые гораздо четче представляют себе эволюцию Вселенной в целом, чем конкретные физические механизмы образования нашей планеты.

История возникновения нашего солнечного космического дома содержит множество жгучих загадок и будущих открытий. Например, непонятно, почему вся энергия вращения Солнечной системы сосредоточена в планетах, ведь практически вся ее масса заключается в Солнце.

Впрочем, астрономы в последнее время сильно воспряли духом, надеясь, что новые поколения космических астрофизических лабораторий, оборудованных уникальными приборами, позволят прояснить большинство неясных моментов в эволюции нашего мира. Ведь уже сейчас непрерывно поступающие удивительные космические данные позволили возродить или отбросить десятки разнообразных космогонических теорий, давая ответы на поразительные загадки мироздания. Следует верить, что потребуются всего несколько десятков лет, чтобы ученые начали представлять себе общие контуры нашего мира.

Астрономы древности полагали, что Вселенная и Солнечная система существовали вечно и будут существовать еще столько же в неизменном виде. С появлением христианства возраст Солнечной системы значительно уменьшился. Джордано Бруно первым предположил, что звезды, подобно

Солнцу, окружены планетными системами, которые непрерывно рождаются и умирают. В 1745 году французский ученый Жорж Бюффон высказал гипотезу, что планеты образовались из вещества, выброшенного из Солнца после столкновения Солнца с кометой. А первую научную теорию, исходя из общих умозрительных соображений, выдвинул немецкий философ Иммануил Кант. Однако настоящее развитие она получила в трудах французского математика Пьера Симона Лапласа, объяснившего образование Солнечной системы с помощью небесной механики Ньютона.

Кант в 1755 году впервые изложил идею о возникновении Солнечной системы из облака холодных пылинок, находящихся в хаотическом движении. Планеты, по Канту, формируются из того же газопылевого облака, что и Солнце. В 1796 году Лаплас описал образование Солнца и Солнечной системы из медленно вращающейся раскаленной газовой туманности. Под действием гравитации центральная часть Солнца сжималась, скорость его вращения увеличивалась, поэтому оно приобретало сплюснутую форму. Сгустки отделялись от протосолнца и затем охлаждались. Вещество, из которого образовались планеты, первоначально, по Лапласу, находилось в горячем расплавленном состоянии. Так возникла знаменитая космогоническая теория Канта – Лапласа о происхождении нашей планетной системы, но прошли века, и ученым стало ясно, что Земля, скорее всего, никогда не представляла собой раскаленное газовое облако.

Была предложено много новых теорий. К примеру, рассматривалось прохождение вблизи Солнца иной звезды, притяжение которой вызвало выброс солнечного вещества, сформировавшего планеты. Или же предполагается, что Солнце вначале было двойной звездой. Вторую звезду разорвало силами гравитации при тесном сближении с другой, третьей звездой. Как вариант двойной звездной системы высказываются предположения, что вторая звезда прошла весь путь эволюции и взорвалась как сверхновая, сбросив всю оболочку. Из остатков этой оболочки и образовалась планетная система.

В сороковых годах прошлого века академик Отто Шмидт предположил, что Солнце захватило при обращении вокруг Галактики облако пыли. Из вещества этого огромного холодного пылевого облака сформировались холодные плотные допланетные тела – *планетезимали*, развившиеся впоследствии в полноценные планеты. Эти и элементы многих других теорий активно использует современная космогония.

В начале всех космогонических сценариев предполагается наличие

газопылевой туманности. По чистой случайности или в силу действия каких-либо внешних факторов (вспышек сверхновых, других звезд и туманностей) отдельные области этой туманности оказываются плотнее окружающего их вещества и, следовательно, обладают большей массой. Тут в действие вступает сила тяготения, и окружающая материя начинает устремляться к этим центрам повышенной плотности, масса которых все возрастает. В конечном итоге материя в области каждого такого центра уплотняется настолько, что в результате гравитационного сжатия температура повышается до уровня запуска ядерных реакций – загорается звезда. Сегодня астрономы наблюдают в нашей Галактике достаточно много подобных центров формирования звезд.

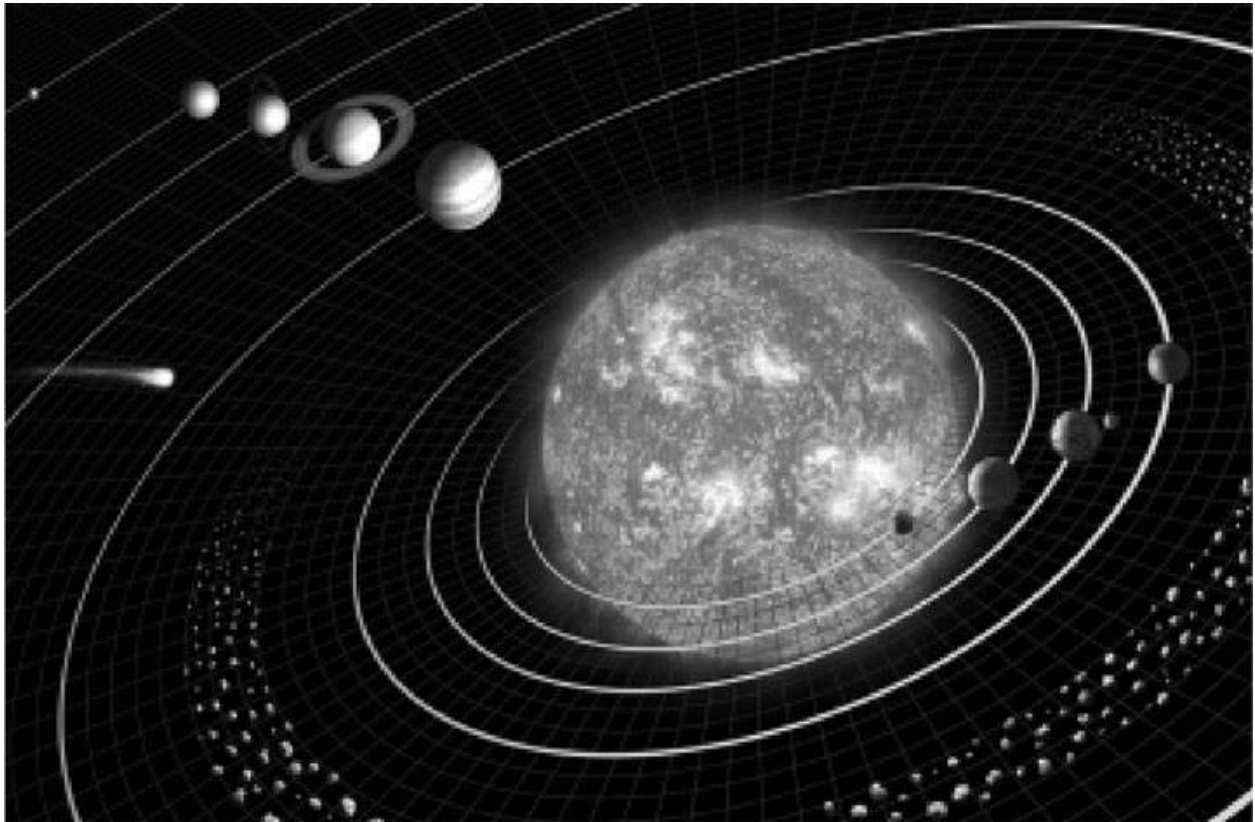
В целом остаточное газопылевое облако вокруг формирующейся звезды ведет себя хаотично, и частицы материи движутся внутри него во всех направлениях. И тут, опять же по чистой случайности, может оказаться, что большая часть газа и пыли оказываются «закрученными» в одну сторону. Соответственно, газопылевое облако вокруг формирующейся звезды начинает вращаться наподобие своеобразной космической карусели. В итоге, после завершения сжатия газопылевого «волчка», большая часть его массы оказывается сосредоточенной в центре (где впоследствии сформируется звезда), а незначительная периферийная масса облака оказывается распределенной в экваториальной плоскости вращения протозвезды вокруг собственной оси. Происходит это в результате «сплющивания» остатков распыленного раскрученного вещества под действием центробежной силы. Из вещества этого остаточного диска в дальнейшем и сформировалась Земля вместе с остальными планетами.

Итак, мы дошли до самого интересного места в истории мироздания, когда в окружающем новорожденную звезду – Солнце – газопылевом диске начали формироваться сгустки материи. Подобно снежным комам, катящимся с горы, они в свою очередь стали служить центрами притяжения для распыленного вокруг вещества. Затем околосолнечное вещество расслоилось в кольца и собралось в сгустки на определенных орбитах, из которых в конечном итоге и возникли планеты.

Размеры появившихся планет в первую очередь зависели от расстояния до Солнца. На небольшом удалении от светила из-за высокой температуры все летучие легкоплавкие вещества испарились в окружающее космическое пространство, не имея возможности сконденсироваться в жидкое или твердое состояние. В результате ближние планеты земного типа оказались небольшими и относительно плотными из-за преобладания

в их составе тяжелых химических элементов – в Солнечной системе к этой категории относятся Меркурий, Венера, Земля и Марс.

Вообще, этот период в эволюции Солнечной системы выглядит очень загадочно. Ведь такой сценарий предсказывает образование еще, как минимум, десятка планет размером с Марс. Их отсутствие можно объяснить тем, что эти первичные планеты попросту рассыпались во взаимных соударениях и под действием гравитационных сил.



Солнечное семейство

После этого часть их вещества осела на успешно сформировавшихся планетах, а часть вещества оказалась на периферии Солнечной системы под воздействием мощного гравитационного поля Юпитера. Таким образом, в нашей Солнечной системе, скорее всего, до сих пор кружится на большом удалении от светила значительная масса протопланетных тел.

Вообще, подобные столкновения на ранней стадии формирования Солнечной системы были явлением распространенным. Это, кстати, объясняет и еще одну загадку Солнечной системы. Угловые скорости вращения планет вокруг собственной оси (иными словами, продолжительность солнечных «суток» на планетах) варьируют в весьма

широких пределах. В случае Венеры наблюдается уникальное явление обратного суточного вращения: эта планета вращается в противоположную по сравнению со всеми прочими планетами сторону. Такое отличие трудно увязать с размеренным, упорядоченным формированием планетной системы. Однако если предположить, что итоговое собственное вращение планеты вокруг оси сложилось в результате суммы импульсов, полученных ею в результате мощных соударений с другими протопланетами, все становится на свои места.

На большем удалении от молодого Солнца на ранней стадии формирования планетной системы было не так жарко, там сформировались планеты иного типа. Достаточно низкие температуры не препятствовали конденсации и кристаллизации относительно легких химических элементов, в результате чего родились сверхмассивные твердокристаллические ядра из скальных пород и льда. Обладая мощным гравитационным полем, они захватили из окрестных газопылевых скоплений значительные объемы легких и летучих веществ – гелия и водорода, образовавших их океаны и/или атмосферу, – и стали еще массивнее (планеты земного типа с их слабым гравитационным полем на это оказались не способны).

К категории так называемых газовых гигантов нашей Солнечной системы относятся Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. При огромных по сравнению с планетами земного типа размерах эти планеты характеризуются очень низкой средней плотностью вещества. Плотность Сатурна, например, вообще ниже плотности воды, так что, если бы нашелся океан сопоставимых с этой планетой размеров, Сатурн плавал бы в нем, как поплавков. Тем не менее, согласно современным гипотезам, внутри этих газожидкостных гигантов все-таки есть достаточно массивное плотное ядро из твердого вещества, напоминающее собой планету земного типа и образовавшееся аналогичным образом.

Особый случай представляет собой Плутон, недавно исключенный из почетного списка «настоящих» планет Солнечной системы. По размеру он сопоставим с планетами земной группы и представляет собой, по сути, огромную глыбу льда летучих элементов. Долгое время ученые считали Плутон не то курьезным недоразумением, не то захваченным Солнечной системой инородным телом. Однако открытие далеко за Плутоном так называемого пояса Койпера, подобного поясу астероидов, – еще одного пояса малых планет, многие из которых вполне сравнимы по размерам и массе с Плутоном, двигаясь по очень вытянутым, «неправильным» орбитам, – заставило астрофизиков пересмотреть свои взгляды.

Расположенный за орбитой Нептуна пояс Койпера – неиссякаемый основной источник комет, залетающих в окрестности Солнца. Согласно современным взглядам, Плутон, скорее всего, представляет собой все-таки самое крупное небесное тело пояса Койпера – зародыш так и не сформировавшейся крупной планеты, вращающийся среди миллионов других «осколков» Солнечной системы.

Такая картина формирования планетной системы хорошо объясняет многие наблюдаемые характеристики Солнечной системы: небольшие размеры, тяжелый элементный состав и конденсированное состояние внутренних планет; большие размеры, легкий элементный состав и жидкостно-газообразное состояние внешних планет; единое направление движения планет по орбитам вокруг Солнца.

Не так давно астрономами были получены первые доказательства существования планетных систем у других звезд и выяснены некоторые их характеристики. Благодаря этому сегодня мы точно знаем о том, что за пределами Солнечной системы планет существует гораздо больше, чем внутри нее; сейчас уже известно свыше сотни планет и звездных систем. Однако лишь отдельные планетные системы похожи на наш космический дом. Во всех остальных, судя по всему, планеты движутся вокруг своей звезды по сильно вытянутым эллиптическим траекториям, в то время как в нашей Солнечной системе орбиты всех планет, за исключением Плутона, приближаются к круговым. Кроме того, в большинстве этих систем все планеты обращаются вокруг звезд на расстояниях, не превышающих радиус орбиты Меркурия. У некоторых планет период обращения вокруг их солнца и вовсе составляет всего несколько земных суток.

Вот тут и выяснилось, что, как давно подозревали некоторые астрономы, наша Солнечная система довольно необычна по своему строению. И прежде всего, конечно же, надо обратить внимание на центральное тело нашего небольшого космического мира – дневную звезду по имени Солнце.

Глава 18. Звезда по имени Солнце

Когда-то где-то на Землю упал луч Солнца, но он упал не на бесплодную почву, он упал на зеленую былинку пшеничного ростка, или, лучше сказать, на хлорофилловое зерно. Ударяясь об него, он потух, перестал быть светом, но не исчез. В той или другой форме он вошел в состав хлеба, который послужил нам пищей. Он преобразился в наши мускулы, в наши нервы. Пища служит источником силы в нашем организме потому только, что она – не что иное, как консерв солнечных лучей.

К. А. Тимирязев.

Жизнь растений

Наши славянские предки поклонялись богу солнечных лучей – Яриле. У древних римлян был бог Солнца – Аполлон. Цари и князья, чтобы возвеличить свою власть, старались внушить людям представление о своем происхождении от бога Солнца. Не отставала от них и церковь, приспособливая к своим нуждам различные религиозные верования и обряды, связанные с древнейшими суеверными представлениями о Солнце.

Всякое движение на Земле происходит главным образом за счет энергии, которая поступает к нам в солнечных лучах. Солнце – источник жизни на Земле.

Возраст Солнца – приблизительно 4,5 млрд лет. Процессы, происходящие в нем начиная с рождения, исчерпали приблизительно половину водорода, содержавшегося в ядре. Примерно еще через 5 млрд лет водородное топливо будет израсходовано. Это приведет к радикальным переменам, в результате которых, как это ни банально по звездным стандартам, произойдет полное разрушение Земли (и, возможно, образование планетарной туманности).

В солнечной атмосфере непрерывно бушуют шторма, периодически переходящие в ураганы. Бури на нашем светиле, прежде всего, сопровождаются появлением *солнечных пятен и протуберанцев* – гигантских выбросов вещества фотосферы. Солнечные пятна часто

образуют группы из нескольких больших и малых пятен, и такие группы могут занимать значительные области на солнечном диске. Картина группы постоянно меняется, пятна рождаются, растут и распадаются. При этом общий уровень активности нашей дневной звезды однозначно определяется количеством пятен. Особенно много их бывает в период так называемого года активного Солнца. Живут группы пятен долго, иногда на протяжении двух или трех оборотов Солнца (примерно 27 суток).

Солнце состоит из ряда концентрических сфер, или областей, каждая из которых обладает своей спецификой. Схематический разрез Солнца показывает его внешние особенности вместе с гипотетическим внутренним строением.

Наше Солнце – огромный светящийся газовый шар, внутри которого протекают сложные процессы, и в результате непрерывно выделяется энергия. Внутренний объем Солнца можно разделить на несколько областей; вещество в них отличается по своим свойствам, энергия распространяется посредством разных физических механизмов. Познакомимся с ними, начиная с самого центра.

Солнце состоит главным образом из водорода и гелия. Глубоко под наружным сверкающим покровом светила царит температура, равная примерно 13 млн градусов. При таких условиях солнечное вещество не может быть похожим на обычный газ. Бешено мчащиеся и сталкивающиеся атомы разбиваются вдребезги. Получается плотное скопище атомных осколков – ядер и электронов. Эту смесь физики называют *плазмой*.

Солнечная корона – самые внешние, очень разряженные слои атмосферы Солнца. Во время полной фазы солнечного затмения вокруг диска Луны, который закрывает от наблюдателя яркую фотосферу, внезапно как бы вспыхивает жемчужное сияние – это на несколько десятков секунд становится видимой солнечная корона. Важной особенностью короны является ее лучистая структура.

Рост температуры в хромосфере объясняется распространением волн и магнитных полей, проникающих в нее из конвективной зоны. Вещество нагревается примерно так же, как если бы это происходило в гигантской микроволновой печи. Скорости тепловых движений частиц возрастают, учащаются столкновения между ними, и атомы теряют свои внешние электроны: вещество становится горячей ионизованной плазмой.

Атмосфера Солнца начинается на несколько сотен километров глубже видимого края солнечного диска. Эти самые глубокие слои атмосферы называют фотосферой. Поскольку их толщина составляет не более одной трехтысячной доли солнечного радиуса, фотосферу иногда условно

называют поверхностью Солнца.

По современным представлениям, вспышка – это внезапное выделение энергии, накопленной в магнитном поле активной зоны. На определенной высоте над поверхностью Солнца возникает область, где магнитное поле на небольшом протяжении резко меняется по величине и направлению.

Жизнь на нашей планете полностью зависит от излучения Солнца, оно же в летний полдень поднимается высоко над горизонтом, а зимой проходит низко, что отражается и на продолжительности дня, и на количестве получаемой теплоты. Изучение истории Земли показывает, что наша планета в течение миллиардов лет получала от Солнца столько же тепла и света, сколько получает и теперь.

* * *

Итак, нам удалось краем глаза заглянуть в удивительнейшую эпоху рождения нашей планетной системы и ее населения. Почти до конца прошлого века раннюю историю «создания» природой нашего космического дома приходилось изучать лишь на основе косвенных данных. И только на границе веков стали доступны для наблюдений невидимые ранее объекты – газопылевые диски, вращающиеся вокруг некоторых молодых звезд, сходных с Солнцем. Газопылевую туманность, в которой возникли планеты, их спутники, мелкие твердые тела, в космогонии называют протопланетным, или допланетным облаком. Это облако имело уплощенную, чечевицеобразную форму, поэтому его называют еще диском. Ученые полагают, что и этот диск, и Солнце образовались из одной и той же вращающейся массы межзвездного газа – протосолнечной туманности. Наименее изучена в космогонии самая ранняя стадия происхождения Солнечной системы – выделение протосолнечной туманности из гигантского родительского молекулярного облака, принадлежащего Галактике.

Тогда Солнце было окружено обширным облаком пыли, состоявшим из песчинок графита, похожего по составу на грифель в простом карандаше и кремния в виде тончайшего песка, покрывающего морские и речные пляжи. Возможно, изредка попадались окислы железа, напоминающие частички ржавчины, смерзшиеся вместе с аммиаком, метаном и другими углеводородами, горящих ярким пламенем в наших кухонных плитах. Столкновения этих песчинок привели к образованию камешков побольше, диаметром до нескольких сантиметров, рассеянных по колоссальному

комплексу колец вокруг Солнца.

Расчеты астрофизиков показывают, что эти кольца были внутренне неустойчивы из-за взаимного притяжения, и поэтому составляющие их камешки и песчинки объединялись в большие тела типа метеоров, метеоритов и астероидов. В современную эпоху эти и подобные им небесные тела заполняют все пространство между Марсом и Юпитером, причем многие из них имеют диаметр в несколько километров. В свою очередь нестабильной оказалась и сама система астероидов. Процесс объединения и укрупнения продолжался многие сотни миллионов лет, пока не возникли зародыши будущих планет.

Вначале Солнечная система состояла из планет и множества астероидов, еще не объединенных вместе и распределенных по очень сложным орбитам. 3 млрд лет назад падение астероида на планету должно было быть явлением довольно частым; те небесные тела Солнечной системы, которые практически лишены атмосферы (как Луна, Марс и Меркурий), до сих пор несут на себе следы этих бомбардировок. На Земле воздействие атмосферы уничтожило следы таких событий, и только некоторые из недавно образованных кратеров еще видны.

Наиболее близкие к Солнцу планеты сформировались в более горячей области, нежели дальние планеты; более того, вскоре после своего рождения Солнце пережило период большой активности, когда его масса, уносимая горячим солнечным ветром, уменьшалась с огромной скоростью, всего за несколько миллионов лет масса Солнца уменьшилась вдвое. Ученые весьма поэтично называют этот период «эрой Тельца» – по имени звезды, переживающей сходные метаморфозы в созвездии Тельца. Раскаленное дыхание Солнца очищало межпланетное пространство от газов и остаточной пыли, перемещая их в сторону внешнего пространства. Действительно, около дальних планет (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) и теперь встречаются в изобилии различные элементы, в то время как около внутренних каменных планет их сравнительно мало. А вот единого мнения насчет происхождения комет до сих пор нет.

Как только вес зародыша планеты достигнет нескольких масс Земли, он приобретает способность формировать собственную атмосферу. Газовые гиганты – Юпитер, Сатурн, Нептун и Уран очень быстро, за сотни лет увеличили свою массу в десятки раз путем захвата газов из окружающего межпланетного пространства.

Так в нашей Солнечной системе на периферии образовались планеты-гиганты, способные удержать возле себя газовые оболочки. Сначала сформировались ядра планет-гигантов, а затем они «нарастили» себе

оболочку из водорода и гелия. При этом чем больше масса планеты, тем быстрее она присваивает пыль и газы на своем пути. По современным расчетам, рост Юпитера продолжался десятки миллионов лет, а рост Сатурна – сотни миллионов. В процессе эволюции у планет-гигантов возникли собственные диски из газа и пыли, из которых затем сформировались кольца и многочисленные спутники.

Глава 19. Смерть окружающего мира

Изучение будущего Вселенной принципиально отличается от изучения прошлого. Прошлое оставило свои следы, и, обнаруживая их, мы проверяем правильность своих представлений. Картина будущего – это всего экстраполяция, прямая проверка здесь невозможна. И тем не менее сегодня фундамент физических и астрофизических знаний настолько прочен, что позволяет с достаточной уверенностью рассматривать отдаленное будущее Вселенной.

И. Д. Новиков.

На крыльях времени

Итак, вскоре после катаклизма Большого взрыва вещество было рассеяно во Вселенной почти равномерно. Причина, по которой из однородной среды образовались массивные тела (звезды, планеты, галактики и т. д.) кроется в силе гравитации. Там, где плотность была чуть выше средней, сильнее было и притяжение, значит, более плотные образования становились еще плотнее. Изначально однородная масса со временем разделилась на отдельные «облака», из которых сформировались галактики. Прошли еще сотни миллионов лет, и под действием гравитационных сил начался процесс гравитационной конденсации первичной газовой-пылевой среды в небесные тела – звезды и планеты.

Ну, а какая же судьба может ожидать нашу Вселенную в отдаленном будущем?

Первый из таких процессов сейчас ни у кого не вызывает сомнений – звезды в будущем погаснут. Солнце закончит свою активную эволюцию через несколько миллиардов лет и превратится в белый карлик размером с Землю, который начнет постепенно остывать. Звезды менее массивные, чем Солнце, живут дольше, но и они рано или поздно превращаются в остывшие карлики.

А теперь о судьбе галактик. Звездные системы – галактики – состоят из сотен миллиардов звезд. В центрах галактик, вероятно, находятся сверхмассивные черные дыры, о чем свидетельствуют бурные процессы в

галактических ядрах, наблюдаемые астрофизиками. Для будущего галактик существенны очень редкие в наше время события, когда какая-либо звезда в результате гравитационного взаимодействия с другими звездами приобретает большую скорость, покидает галактику и превращается в межгалактического странника. Звезды начнут постепенно покидать галактику, а ее центральная часть – понемногу сжиматься, превращаясь в очень компактное звездное скопление. В таком скоплении звезды будут сталкиваться друг с другом, превращаясь в газ, и этот газ в основном станет падать в центральную сверхмассивную дыру, увеличивая ее массу. Звезды, пролетая слишком близко от этой дыры, также будут разрушаться.

Конечный этап – это сверхмассивная черная дыра, поглотившая остатки звезд центральной части галактики, и рассеивание около 90 процентов всех звезд внешних частей в пространстве. Процесс разрушения галактик закончится примерно через 10^{19} лет, все звезды к этому времени давно погаснут и потеряют право именоваться звездами.

Для дальнейших процессов определяющей является предсказываемая современной физикой нестабильность ядерного вещества. Имеется в виду, что протон хотя и очень долго живущая, но все же нестабильная частица. Теория «великого объединения», которая предсказывает бурные процессы в эпоху с 10^{-34} секунды по 10^{-32} секунды после начала расширения Вселенной, предсказывает и необходимость распада протона (а также и нейтрона в составе сложных ядер, который в этих условиях также считался стабильным). Среднее время его жизни оценивается примерно в 10^{32} лет. Конечный продукт распада протона – один позитрон, излучение в виде фотона, нейтрино и, возможно, одна или несколько электронно-позитронных пар. Хотя распад протона еще не наблюдался непосредственно, мало кто из физиков сомневается в неизбежности такого процесса.

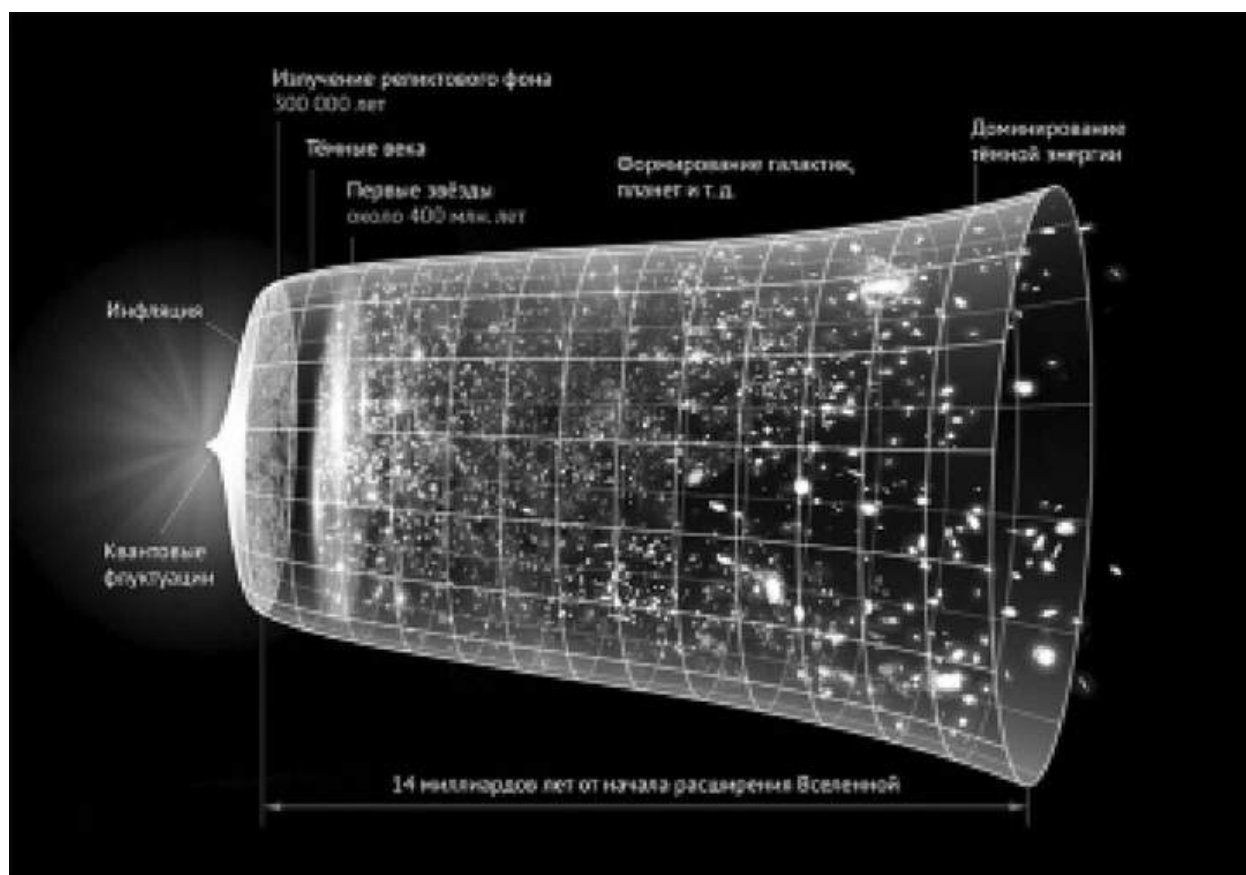
Итак, примерно через 10^{32} лет ядерное вещество полностью распадется. Из мира исчезнут даже погасшие звезды. Но распад ядерного вещества уже задолго до этого срока начнет играть важную роль в эволюции Вселенной. Позитроны, возникающие при распаде нуклонов (общее название протонов и нейтронов), аннигилируют с электронами, превращаясь в фотоны, которые вместе с фотонами, прямо возникающими при распаде нуклона, нагревают вещество. Только нейтрино свободно покидают звезду и уносят около 30 процентов всей энергии распада.

Спустя 10^{32} лет все ядерное вещество полностью распадется, звезды и планеты превратятся в фотоны и нейтрино.

Несколько иная судьба у рассеянного в пространстве газа, который останется после разрушения галактик (по массе он может составить около одного процента всего вещества Вселенной). Ядерное вещество этого газа тоже, разумеется, распадется через 10^{32} лет. Однако в этом случае позитроны, возникающие при распаде, уже не будут аннигилировать с электронами – из-за крайней разреженности газа вероятность встречи этих частиц чрезвычайно мала, и в результате образуется разреженная электронно-позитронная плазма.

К этому времени, то есть через 10^{32} лет, во Вселенной останутся еще черные дыры, возникшие из массивных звезд после их угасания, и сверхмассивные черные дыры, образовавшиеся в центрах галактик (об их судьбе мы скажем немного позже).

Что же будет происходить во Вселенной после распада ядерного вещества?



История мироздания

С расширением Вселенной плотность массы излучения быстро будет падать, так как уменьшается и плотность числа частиц, и энергия каждого

кванта (а значит, и его масса). Средняя плотность обычной материи в виде электронно-позитронной плазмы и черных дыр убывает только из-за уменьшения их концентрации при расширении Вселенной.

Значит, плотность этих видов материи убывает медленнее, чем плотность излучения. Поэтому ко времени 10^{33} лет плотность материи уже будет определяться главным образом массой, заключенной в черных дырах. Ее будет гораздо больше, чем в электронно-позитронной плазме. Если масса покоя нейтрино не ноль, как мы это разбирали выше, то значительная доля массы останется также в нейтрино. На смену эре излучения придет эра черных дыр!

Но и черные дыры не вечны. В поле тяготения вблизи черной дыры происходит, как мы знаем, рождение частиц; причем у черных дыр с массой порядка звездной и больше возникают кванты излучения. Такой процесс ведет к уменьшению массы черной дыры, она постепенно превращается в фотоны, нейтрино, гравитоны. Но процесс этот чрезвычайно медленный. Скажем, черная дыра с массой в 10 масс Солнца испарится за 10^{69} лет, а сверхмассивная черная дыра, масса которой еще в миллиард раз больше, – за 10^{96} лет. Но все же постепенно все черные дыры превратятся в излучение, и оно вновь станет доминирующим по массе во Вселенной, снова наступит эра излучения. Однако это излучение несравненно более холодное, чем излучение в эпоху распада вещества.

Вследствие расширения Вселенной плотность излучения, как уже говорилось, падает быстрее плотности электронно-позитронной плазмы, и через 10^{100} лет станет доминирующей именно эта плазма и, кроме нее, во Вселенной не останется практически ничего.

Означает ли это, что в будущем замрут все процессы, не будет происходить активных движений физических форм материи, невозможно будет существование каких-либо сложных систем, а тем более разума в какой бы то ни было форме?

Нет, такой вывод был бы неверен. Конечно, с нашей сегодняшней точки зрения все процессы в будущем будут чрезвычайно замедлены, но ведь и пространственные масштабы тогда будут иными. Напомним, что в самом начале расширения Вселенной, когда температура составляла примерно 10^{27} Кельвинов, происходили процессы рождения вещества, текли бурные реакции, продолжительность которых исчислялась 10^{-34} секунды, а пространственные масштабы были порядка 10^{-24} сантиметра. С точки зрения подобных масштабов и сверхбыстрых процессов сегодняшние события во Вселенной, в том числе и наша жизнь, это нечто невероятно

медленное и чрезвычайно растянутое в пространстве. По мнению известного американского физика Фримена Дайсона, в любом отдаленном будущем возможны будут сложные формы движения материи и даже разумная жизнь, правда, в непривычных формах, и «пульс жизни будет биться все медленнее, но никогда не остановится».

Наша пытливая мысль залетела в невообразимо далекое будущее. В таких длительных полетах всегда можно столкнуться с чем-то непредусмотренным. Пока у нас речь шла о процессах, которые вытекают из надежно установленных физических законов, однако в будущем возникнут физические условия, недоступные нам в эксперименте (сверхнизкие температуры, малые плотности и т. д.), и вполне возможно проявление сил, возникновение процессов, совершенно нам пока неизвестных. А эти силы и процессы могут в корне изменить ситуацию.

В современном вакууме (в том, что в просторечии называется пустотой), тоже, возможно, заключена некоторая плотность энергии. Но... она очень мала и соответствует плотности массы не более чем 10^{-28} г/см³, а может быть, даже существенно меньше. Обнаружить такую плотность даже в астрономических наблюдениях крайне трудно. Теория полагает возможным, что плотность массы вакуума в далеком будущем скачком перейдет в реальные частицы и античастицы, давая начало новым физическим процессам. Родившееся при этом вещество будет, конечно, разреженным, но все же несравненно более плотным, чем оставшееся к тому времени рассеянное вследствие расширения Вселенной «наше» вещество.

Подобный фазовый переход вакуума может быть чрезвычайно существенным для судеб Вселенной. Так, в принципе этот переход может остановить расширение Вселенной и сменить его сжатием. Вновь возникший при этом «истинный вакуум» будет обладать гравитационными свойствами притяжения, а не отталкивания, как ложный вакуум. Ясно, что если расширение Вселенной сменится сжатием, то при этом вся нарисованная нами картина будущего Вселенной совершенно изменится.

Как видите, в любом возможном сценарии эволюции Вселенной ее будущее представляется захватывающе интересным и многообразным.

Правда, во всех вариантах в отдаленном будущем Вселенная будет совсем не похожа на окружающую нас сегодня. Либо это состояние очень разреженное и холодное, либо очень плотное и горячее.

Если мы будем достаточно благоразумны, чтобы сберечь жизнь на Земле в нашу эпоху социальных потрясений, то трудно вообразить, какого научного могущества мы достигнем через сто, тысячу, миллион, а тем

более миллиарды лет. Человек (опять же в широком смысле слова) научится использовать для своего блага все законы эволюции Вселенной, сумеет управлять ими. Конечно, при осуществлении подобных задач в масштабах Вселенной совершенно по-новому обернутся проблемы охраны природы и другие. Но несомненно то, что будущее общество найдет способы их решить.

Быстро продвигаются астрономы вглубь Вселенной. Не так давно пределом казался возраст в 8 млрд лет назад, теперь же ученые вплотную приблизились к десятимиллиардному рубежу. Похоже, наша машина времени стремительно приближается к остановке «Рождение галактик». Прибыв туда, мы, вероятно, разгадаем тайну невидимой материи. Но и это не станет конечным пунктом. Пора будет вплотную взяться за решение двух главных проблем: как родилась Вселенная и каково ее будущее. Можно сколько угодно спорить, строить гипотезы и писать уравнения, но астрономы знают, что лишь новые наблюдения дадут окончательные ответы на эти вопросы.

Существуют сценарии циклически пульсирующего мироздания, многократно рождающегося из сингулярности, претерпевающего расширение и сжатие и вновь гибнущего в коллапсе – этакий вселенский маятник, качающийся из стороны в сторону, с постепенно затухающими колебаниями. От колебания к колебанию вакуум многократно переходит на все более низкие энергетические уровни, что и служит причиной катаклизмов. Эта модель хороша тем, что может объяснить то, чего не могут другие модели, например, что было до Большого взрыва. Но в конце концов у Вселенной, как у пружинных часов, просто «кончится завод» – плотность вакуумной энергии достигнет истинного минимума, и вот тогда Вселенная коллапсирует окончательно и бесповоротно.

Качается большой маятник Вселенной. От точки сингулярности к некоему пределу, за которым расширение Вселенной сменится ее сжатием. И снова вещество начнет сжиматься в некую точку, как было уже однажды. И пусть это время далеко от нас, человечество не может не задуматься о том, что его ждет. И размышления лучших умов привели к обозначению престранной картины. Оказывается, не надо дожидаться «конца света», чтобы увидеть Вселенную, сжимающуюся в точечный невообразимо плотный сгусток полей и частиц. Такие вселенные, вполне возможно, существуют уже сегодня. Они – рядом с нами, возможно, и внутри нас...

В заключение, восторгаясь красотой и внутренней эволюционной целесообразностью окружающего мира, давайте помнить о его хрупкости и беззащитности во враждебной космической среде. Ведь все, что мы видим,

возникло в результате стечения практически бесконечного количества фактов, и вполне возможно, что природа уже никогда не сможет повторить свой уникальный эксперимент.

Заключение. Космический год Карла Сагана

Мы изучаем прошлое, чтобы лучше понять настоящее и будущее, а близкое и отдаленное будущее человечества, будущее разума во многом зависит от будущего природы, от судеб Земли, Солнца, Галактики, Вселенной.

И. Д. Новиков.

На крыльях времени

Как же наглядно представить поток времени, уносящий в бесконечность миры Большого взрыва? Широкую известность получили «модельные календарные таблицы» уже известного нам Карла Сагана, в которые он включил историю человеческой цивилизации и Вселенной. Основу таблиц Сагана составляет космический год, равный времени существования нашего мира. Этот год, как и обычный, разбит на месяцы, недели, дни, часы, минуты и секунды. Представая удивительным памятником вселенской вечности, он позволяет воочию убедиться, насколько кратковременна искра существования человеческой цивилизации, занимающей где-то полчаса космического года, не говоря уже о человеческой жизни, вполне вмещающейся в доли секунды.

По мнению Сагана, Большой взрыв мог бы быть не только началом нашей Вселенной, но и разрывом во времени, когда погибла вся информация о ее ранней истории. Но, безусловно, это было самое раннее событие нашей физической реальности, от которого и необходимо отталкиваться в моделировании истории Вселенной.

Саган нашел оригинальный способ изобразить космическую хронологию, представив себе 15 млрд лет жизни Вселенной (по уточненным данным – 13,75 миллиардолетий) спрессованными в один-единственный год. Тогда каждому миллиарду лет истории Земли будет соответствовать примерно двадцать четыре часа нашего космического года, а одна секунда этого года окажется равной 475 истинным обращениям Земли вокруг Солнца.

На разработанных таблицах ученый представил свою космическую

хронологию тремя различными способами: в виде списка некоторых важных додекабрьских дат, как календарь декабря и в форме подробного хронометража позднего вечера 31 декабря как кануна нового космического года. На этой шкале все события, указанные в наших учебниках истории, даже в тех из них, где делаются попытки показать далекие корни настоящего, сжаты до такой степени, что приходится посекундно анализировать последние мгновения космического года. Но даже и в этом случае события, которые мы привыкли считать весьма отдаленными, оказываются в наших таблицах рядом с современными.

Составляя свой космический календарь, Саган отмечал, что подобные таблицы и календари неизбежно упрощают картину: «Приходишь в замешательство, когда видишь, что Земля выделилась из звездной материи не раньше начала сентября, динозавры появились в канун рождества, цветы расцвели 28 декабря, люди ведут свое происхождение с 22 часов 30 минут последнего новогоднего дня. Вся зафиксированная история человечества занимает последние десять секунд 31 декабря, а все, что произошло с конца средних веков до настоящего момента, занимает меньше одной секунды. Но в рамках принятых ощущений первый космический год как раз теперь подходит к концу. До сих пор мы занимали ничтожно малый отрезок на шкале космического времени, а то, что случится в начале второго космического года на Земле и в ее окрестностях, в очень сильной степени зависит от научной мудрости и истинно человеческих качеств населяющих нашу планету людей».

Додекабрьские даты

Большой Взрыв – 1 января
Возникновение галактики Млечного Пути 1– мая
Возникновение Солнечной системы – 9 сентября
Образование планеты Земля – 14 сентября
Появление жизни на Земле – 25 сентября
Образование древнейших из известных на Земле гор – 2 октября
Время образования древнейших ископаемых (бактерий и сине-зеленых водорослей) – 9 октября
Возникновение полового размножения (микроорганизмов) – 1 ноября
Древнейшие фотосинтезирующие растения – 12 ноября
Эукариоты (первые клетки, содержащие ядра) – 15 ноября

Космический календарь

Дни декабря

1. Образование кислородной атмосферы на Земле
5. Интенсивное извержение вулканов и образование каналов на Марсе
16. Первые черви
17. Конец докембрийского периода. Палеозойская эра и начало кембрийского периода. Возникновение беспозвоночных
18. Первый океанический планктон. Расцвет трилобитов
19. Период ордовика. Первые рыбы, первые позвоночные
20. Силур. Первые споровые растения. Растения начинают завоевывать сушу
21. Начало девонского периода. Первые насекомые. Животные колонизируют сушу
22. Первые амфибии. Первые крылатые насекомые
23. Каменноугольный период. Первые деревья. Первые рептилии
24. Начало пермского периода. Первые динозавры
25. Конец палеозойской эры. Начало мезозойской эры
26. Триасовый период. Первые млекопитающие
27. Юрский период. Первые птицы
28. Меловой период. Первые цветы. Вымирание динозавров
29. Конец мезозойской эры. Кайнозойская эра и начало третичного периода. Первые китообразные. Первые приматы
30. Начало развития лобных долей коры головного мозга у приматов. Первые гоминиды. Расцвет гигантских млекопитающих
31. Конец плиоценового периода. Четвертичный (плейстоцен и голоцен) период. Первые люди

31 декабря. Час, минута, секунда

- 13.30.00. Появление проконсула и рамапитека – возможных предков обезьян и человека
- 22.30.00. Первые люди
- 23.00.00. Широкое использование каменных орудий
- 23.46.00. Использование огня пекинским человеком
- 23.56.00. Начало последнего периода оледенения
- 23.58.00. Заселение Австралии

23.59.00. Расцвет пещерной живописи в Европе
23.59.20. Открытие земледелия
23.59.35. Цивилизация неолита – первые города
23.59.50. Первые династии в Шумере, Эбле и Египте, развитие астрономии. Открытие письма; Государство Аккад
23.59.52. Законы Хаммурапи в Вавилонии; Среднее царство в Египте
23.59.53. Бронзовая металлургия. Микенская культура; Троянская война; Ольмекская культура, изобретение компаса
23.59.54. Железная металлургия; первая Ассирийская империя; Израильское царство; основание Карфагена финикийцами
23.59.55. Династия Цинь в Китае; империя Ашоки в Индии; Афины времен Перикла; рождение Будды
23.59.56. Геометрия Евклида; физика Архимеда; астрономия Птолемея; Римская империя; рождение Христа
23.59.57. Введение нуля и десятичного счета в индийской арифметике; упадок Рима; мусульманские завоевания
23.59.58. Цивилизация майя; династия Сун в Китае; Византийская империя; монгольское нашествие; крестовые походы
23.59.59. Эпоха Возрождения в Европе; путешествия и географические открытия, сделанные европейцами и китайцами времен династии Мин, введение экспериментального метода в науку.
Настоящий момент и в первые секунды Нового года.
Широкое развитие науки и техники; появление всемирной культуры; создание средств, способных уничтожить род людской, первые шаги в освоении космоса и поиски внеземного разума.

Приложение

Жизненный путь Вселенной

1. Эпоха инфляции

0– 10^{-32} с:

В результате Большого взрыва рождается наша Вселенная. Наблюдается ее стремительное (инфляционное) расширение. Возникают элементарные частицы

2. Эпоха излучения

0–3 мин:

Дифференцируются природные силы. Наблюдается массовая аннигиляция материи и антиматерии. Образуются легкие элементы (дейтерий, гелий, литий).

300 000 лет:

Излучение отделяется от материи. Вселенная становится прозрачной

3. Эпоха звезд

10^8 – 10^9 лет:

Возникают первые звезды и галактики. Образуются тяжелые элементы

10^9 – 10^{10} лет:

Появляются планеты. Зарождается жизнь

1.4×10^{10} лет: Современность

1.5×10^{10} лет:

Солнце светит все сильнее. Жизнь на Земле исчезает

2.0×10^{10} лет:

Наша Галактика сталкивается с туманностью Андромеды

2.1×10^{10} лет:

Солнце превращается в красного гиганта и поглощает Венеру и Меркурий. Мантия и кора Земли плавятся, остается лишь ее железоникелевое ядро. Затем Солнце сжимается до размеров белого карлика и постепенно остывает

10^{11} – 10^{12} лет:

Галактики сливаются, образуя супергалактики

10^{13} – 10^{14} лет:

Гаснут последние звезды (красные карлики). Остаются лишь черные

дыры, нейтронные звезды и белые карлики, которые, остывая, превращаются в черных карликов

10^{15} лет:

Рассеиваются газопылевые облака, в которых когда-то зарождались звезды

4. Эпоха распада

10^{15} – 10^{17} лет:

Мертвые звезды теряют свои планеты, увлекаемые притяжением соседних звезд

10^{16} лет:

Случайные столкновения бурых карликов порождают новые звезды. Светимость всей нашей Галактики не превышает теперешнюю светимость Солнца

10^{18} – 10^{19} лет:

Галактики распадаются. Почти все звезды разлетаются в межгалактическом пространстве

10^{20} лет:

Последние планеты поглощаются мертвыми звездами

10^{23} лет:

Бурые карлики, образующие двойные звездные системы, сливаются друг с другом. Вновь возникают звезды

10^{27} лет:

Температура фонового излучения опускается почти до абсолютного нуля (10^{-18} К)

10^{30} лет:

Черные дыры в центре галактик поглощают все звезды, окружающие их, даже те, что удалены от них

Первый сценарий:

10^{33} – 10^{41} лет:

Протоны распадаются (ученые пока не доказали, что данное событие произойдет)

5. Эпоха черных дыр

10^{66} лет:

Испаряются черные дыры, возникшие на месте звезд 10^{71} лет:

Образуются электронно-позитронные пары

10^{100} – 10^{117} лет:

Испаряются сверхмассивные черные дыры, остатки бывших галактик.

Второй сценарий:

10^{46} – 10^{200} лет:

Протоны не распадаются, но постепенно теряют энергию за счет квантово-механического туннельного эффекта 10^{65} лет:

Вся оставшаяся материя сливается, образуя шары

6. Эпоха вечной тьмы

10^{1500} лет:

Все атомы внутри шаров превращаются в атомы железа

10^{1026} лет:

Железные шары превращаются в черные дыры, которые постепенно испаряются...

10^{1076} лет:

...или же эти железные шары превращаются в нейтронные звезды.

Глоссарий

Абсолютный ноль – самая низкая возможная температура, при которой вещество не содержит тепловой энергии.

Аккреция – падение рассеянного вещества на поверхность космического тела под действием ее притяжения. Например, притяжение звезды может вызвать аккрецию межзвездного вещества или газа из верхних слоев атмосферы соседней звезды из двойной системы. У нормальных звезд аккреции межзвездного вещества обычно препятствует их излучение. Но у компактных белых карликов, нейтронных и застывших звезд коллапсаров препятствий для аккреции почти нет и она происходит очень активно. На массивные черные дыры в ядрах галактик происходит аккреция межзвездного газа, вещества разрушенных звезд и, вероятно, даже целых звезд, если плотность их вещества достаточно высока. Как правило, при аккреции значительная доля гравитационной энергии падающего вещества выделяется в виде излучения при ударе о поверхность звезды или в результате взаимного трения в аккреционном диске.

Антиматерия – материя, состоящая из античастиц. Ядра атомов антивещества состоят из антинуклонов, а внешняя оболочка – из позитронов. Возможность существования антивещества следует из полной симметричности законов природы относительно ядерного взаимодействия между антинуклонами и нуклонами, что обеспечивает существование антиядер. Антиядра обладают массой и энергетическим спектром такими же, как у ядер, состоящих из соответствующих нуклонов. Электромагнитное взаимодействие позитронов и ядер антивещества приводит к образованию атомов антивещества, причем атомы антивещества и вещества должны иметь идентичную структуру. Столкновение объекта, состоящего из вещества, с объектом из антивещества приводит к аннигиляции входящих в их состав частиц и античастиц. Аннигиляция медленных электронов и позитронов ведет к образованию гамма-квантов, а аннигиляция медленных нуклонов и антинуклонов – к образованию нескольких мезонов. В природе атомы антивещества пока не обнаружены.

Античастица – каждому типу частиц соответствуют свои античастицы, характеризующиеся противоположными зарядами. Когда частица сталкивается с античастицей, они аннигилируют, оставляя только энергию.

Атом – наименьшая возможная частица любого из простейших

химических веществ, называемых элементами. Понятие атома, как и само слово, – древнегреческого происхождения, но только в XX веке истинность атомной гипотезы была твердо установлена. Основная идея, остававшаяся привлекательной для научного и поэтического воображения во все века, состоит в том, что за непрерывными изменениями наблюдаемого мира кроется некий неизменный мир. Этот мир прост, ибо каждый из атомов тождествен всем остальным атомам того же рода, обладает сравнительно простой структурой и существовал от начала времен. Эти идеи с некоторыми оговорками можно рассматривать как концентрированное выражение самой сути даже абстрактной и изощренной современной теории. Подобно самим атомам, они являются наиболее стойкими из всех идей античной науки. Атом состоит из крошечного ядра (сложенного из протонов и нейтронов), окруженного обращающимися вокруг него электронами.

Атомное ядро – центральная часть атома, в которой сосредоточена основная его масса и структура которого определяет химический элемент, к которому относится атом. Размеры ядер различных атомов составляют от одного фемтометра, что в 100 тысяч раз меньше размеров самого атома. Масса ядер примерно в 4000 раз больше массы входящих в атом электронов и сильно зависит от количества входящих в него частиц и энергии их связи.

Атомное ядро состоит из нуклонов – положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов, которые связаны между собой при помощи внутриядерного сильного взаимодействия. Атомное ядро, рассматриваемое как класс частиц с определенным числом протонов и нейтронов, часто называется нуклидом. Количество протонов в ядре называется его зарядовым числом Z – это число равно порядковому номеру элемента, к которому относится атом в таблице Менделеева. Количество протонов в ядре полностью определяет структуру электронной оболочки нейтрального атома и, таким образом, химические свойства соответствующего элемента. Количество нейтронов в ядре называется его изотопическим числом N . Ядра с одинаковым числом протонов и разным числом нейтронов называются изотопами. Ядра с одинаковым числом нейтронов, но разным числом протонов называются изотонами. Термины изотоп и изотон используются также применительно к атомам, содержащим указанные ядра, а также для характеристики нехимических разновидностей одного химического элемента. Полное количество нуклонов в ядре называется его массовым числом A (очевидно $A = N + Z$) и приблизительно равно средней массе атома, указанной в таблице Менделеева. Как и любая

квантовая система, ядра могут находиться в метастабильном возбужденном состоянии, причем в отдельных случаях время жизни такого состояния исчисляется годами. Такие возбужденные состояния ядер называются ядерными изомерами.

Большой взрыв – космологический сценарий, по которому все вещество Вселенной в самом начале находилось в точке сингулярности микроскопических размеров со сверхвысокой плотностью и температурой. Известные физические законы стали действовать начиная с размеров атомного ядра. В первую секунду образовались фундаментальные частицы вещества – кварки, антикварки и фотоны электромагнитного излучения. Затем из них образовались протоны, антипротоны и нейтроны. Между частицами и античастицами началась аннигиляция, заполнив Вселенную излучением. К исходу первой секунды температура упала до 10 млрд градусов, образовались другие элементарные частицы, и обычное вещество окончательно стало преобладать над антиматерией. К третьей минуте из четверти всех протонов и нейтронов образовались ядра гелия. Через несколько сотен тысяч лет расширяющаяся Вселенная остыла настолько, что ядра гелия и протоны смогли удерживать возле себя электроны, образуя атомы водорода и гелия. Вселенная наполнилась микроволновым излучением, которое сейчас фиксируется как реликтовое. Это излучение служит главным аргументом теории Большого взрыва.

Большой разрыв – космологическая гипотеза о судьбе Вселенной, предсказывающая развал (разрыв) всей материи за конечное время. Справедливость этой гипотезы сильно зависит от природы темной энергии, а именно от отношения давления темной энергии к ее плотности. Если оно меньше -1 , то Вселенная будет ускоренно расширяться, и величина масштабного фактора станет равной бесконечности за конечное время. Если гипотеза Большого разрыва верна, то по мере увеличения скорости расширения расстояние до горизонта событий, – т. е. той части Вселенной, которая удаляется от наблюдателя со скоростью света – будет уменьшаться. Все, что находится за горизонтом, недоступно наблюдению, поэтому объекты, расположенные в центре наблюдаемой Вселенной, не взаимодействуют ни с чем, находящимся за горизонтом. Если размер горизонта событий становится меньше размеров какого-либо объекта, то между частями этого объекта невозможны никакие взаимодействия – ни гравитационное, ни электромагнитное, ни сильное или слабое.

Большой хлопок – гипотетический конец эволюции Вселенной в результате космологического гравитационного коллапса с переходом материи в сингулярное состояние.

Белый карлик – маленькая звезда, размером с Землю, но при этом весьма массивная (как Солнце) и поэтому очень плотная: в миллион раз плотнее воды. При такой огромной плотности вещество звезды переходит в особое состояние, называемое вырожденным газом. Белые карлики происходят из сжавшихся остывающих ядер нормальных звезд, на заключительном этапе эволюции сбросивших с себя оболочку. В отличие от обычных звезд в белом карлике не идут термоядерные реакции и он светится исключительно за счет остывания.

Виртуальная частица – в квантовой механике частица, которую невозможно обнаружить непосредственно, но чье существование порождает измеримые эффекты. Как некоторый абстрактный объект в квантовой теории, обладает некоторыми параметрами (квантовыми числами) реальных элементарных частиц (с массой m), для которого, однако, не выполняется обычная связь между энергией и импульсом (т. е. $E^2 = m^2c^2 + p^2c^2$). Виртуальные частицы не могут «улететь на бесконечность»; они рождаются и обязаны поглотиться какой-либо частицей.

Виртуальность – особый параметр для мнимых частиц, насыщающих физический вакуум, характеризуется релятивистски-инвариантной величиной $Q^2 = E^2 - p^2c^2 - m^2c^4$, причем Q^2 может быть как положительной, так и отрицательной величиной. Область значений E и p , при которых виртуальность равна нулю, называется массовой поверхностью или массовой оболочкой частицы.

Гамма-излучение – электромагнитное излучение с очень короткой длиной волны, порождаемое радиоактивным распадом и столкновениями элементарных частиц.

Гравитационное красное смещение – смещение положений линий спектра электромагнитного излучения испущенного с поверхности компактного массивного объекта, составляет: $z = GM / (Rc^2)$, где M и R – масса и радиус тела, G – гравитационная константа.

Гравитационный радиус (горизонт событий) – граница черной дыры. Черные дыры были предсказаны как объекты, у которых вторая космическая скорость больше или равна скорости света, т. е. в ньютоновской теории объект, имеющий начальную скорость, равную скорости света, не может покинуть поверхность. Из этого простого условия легко получить характерный, т. н. гравитационный, радиус. К примеру, для массы Солнца, 2×10^{33} г, получаем оценку гравитационного радиуса порядка трех километров. В ньютоновской теории такой результат может быть

получен только формально, так как в ней могут существовать движения со скоростями выше скорости света. Реально черные дыры были предсказаны в общей теории относительности Эйнштейна, однако формула для гравитационного радиуса в обеих теориях оказалась одной и той же. Как видно из формулы, черную дыру можно получить или сильно сжав объект при неизменной массе (например, наше Солнце до 3 км), или существенно увеличив его массу при постоянном радиусе. «Звездные» черные дыры образуются путем сжатия, когда массивная звезда, исчерпав источники энергии, падает «сама в себя». Давление не может противодействовать силам гравитации, и они схлопывают звезду, исчерпавшую источники энергии.

Квантовая механика – теория на основании квантового принципа Планка о том, что свет (или любые другие классические волны) может испускаться и поглощаться только дискретными порциями (квантами), энергия которых пропорциональна длине волны. Устанавливает способ описания и законы движения микрочастиц (элементарных частиц, атомов, молекул, атомных ядер) и их систем (например, кристаллов) а также связь величин, характеризующих частицы и системы, с физическими величинами, непосредственно измеряемыми в макроскопических опытах.

Квантовая гравитация – квантовая механика и гравитационная теория в рамках общей теории относительности очень плохо стыкуются между собой.

С практической точки зрения нам в повседневной жизни квантовая теория гравитационного взаимодействия, по большому счету, не нужна, поскольку все явления, с которыми мы прямо или косвенно сталкиваемся, описываются либо гравитационными эффектами, на фоне которых квантово-механические эффекты никак не проявляются, либо наоборот.

С другой стороны, если нас интересует происхождение Вселенной и процессы, происходившие в первые мгновения после Большого взрыва, универсальная и непротиворечивая теория нам все-таки нужна. В самом начале квантово-механические и гравитационные взаимодействия были в равной мере значимы. Именно это и послужило одной из главных мотивировок к разработке квантовой теории гравитации. Такой теорией стала теория струн. В ее рамках удалось, наконец, объединить квантово-механические и гравитационные взаимодействия. Мы не знаем, верна ли эта теория, но лучшей кандидатуры на роль универсальной сегодня не существует.

Кварки – фундаментальные (неделимые и бесструктурные с точки зрения современной физики) компоненты материи с дробным

электрическим зарядом. Имеют по шесть различных разновидностей или «ароматов»: «верхний», «нижний», «странный», «очарованный», «красивый» и «истинный», обычно объединяются в пары или тройки, формируя другие элементарные частицы. Кварки скрепляются между собой за счет ядерных сил – сильных взаимодействий, переносчиками которых являются другие частицы – глюоны.

Керровская черная дыра – вращающийся коллапсар. Если исходное тело вращалось, то вокруг черной дыры сохраняется «вихревое» гравитационное поле, увлекающее все соседние тела во вращательное движение вокруг нее. Поле тяготения вращающейся черной дыры называют полем Керра (математик Рой Керр в 1963 нашел решение соответствующих уравнений). Этот эффект характерен не только для черной дыры, но для любого вращающегося тела, даже для Земли. По этой причине размещенный на искусственном спутнике Земли свободно вращающийся гироскоп испытывает медленную прецессию относительно далеких звезд. Вблизи Земли этот эффект едва заметен, но вблизи черной дыры он выражен гораздо сильнее: по скорости прецессии гироскопа можно измерить момент импульса черной дыры, хотя сама она не видна.

Космогония – наука, изучающая происхождение и развитие космических тел. В космогонические системы входят сценарии эволюции звезд, галактик, туманностей, Солнечной системы, включая все входящие в нее небесные тела: Солнце, планеты, их спутники, астероиды, кометы, метеориты. Изучение космогонических процессов является одной из главных задач астрофизики. В современной космогонии широко используются законы физики и химии. Космогонические гипотезы прошлых веков относились главным образом к происхождению Солнечной системы. Лишь в XX веке развитие наблюдательной и теоретической астрофизики позволило начать серьезное изучение эволюции звезд и звездных систем.

Космологическая постоянная – математический параметр, введенный Эйнштейном, чтобы уравнения общей теории относительности допускали пространственно однородные статические решения. После построения теории эволюционирующей космологической модели Фридмана и получения подтверждающих ее наблюдений отсутствие такого решения у исходных уравнений Эйнштейна не рассматривается как недостаток теории. До самого конца прошлого века достоверных указаний на отличие космологической постоянной от нуля не было, поэтому она рассматривалась в общей теории относительности как необязательная величина. После открытия ускоренного расширения Вселенной наличие

космологической постоянной определяет вид наиболее распространенных космологических моделей и сценариев их эволюции.

Космологическое (метагалактическое) красное смещение – наблюдаемое для всех далеких источников звезд, квазаров и галактик понижение частот излучения, свидетельствующее о динамическом удалении этих источников друг от друга и, в частности, от нашей Галактики, то есть о расширении Метагалактики.

Космология – раздел астрономии, изучающий Вселенную как целое, в том числе происхождение, крупномасштабную структуру и эволюцию Метагалактики. Данные для космологии в основном получают из астрономических наблюдений. Для их интерпретации в настоящее время используется общая теория относительности Эйнштейна. Создание этой теории и проведение соответствующих наблюдений позволило в начале прошлого века поставить космологию в ряд точных наук, тогда как до этого она скорее была областью философии. Сейчас сложились две космологические школы: эмпирики ограничиваются интерпретацией наблюдательных данных, не экстраполируя свои модели в неизученные области; теоретики пытаются объяснить наблюдаемую Вселенную, используя некоторые гипотезы, отобранные по принципу простоты и структурированности. Широко признана космологическая модель Большого взрыва, согласно которой расширение Вселенной началось из очень плотного и горячего состояния. Мало популярна, но продолжает обсуждаться стационарная модель Вселенной, в которой она существует вечно и не имеет ни начала, ни конца.

Красное смещение – покраснение света удаляющихся от нас небесных тел, которое обусловлено эффектом сдвига положения спектральных линий химических элементов в красную длинноволновую сторону. Является проявлением эффекта Доплера в видимом электромагнитном диапазоне.

Каждый химический элемент поглощает или излучает электромагнитные волны на строго определенных частотах. Поэтому каждый химический элемент образует в спектре неповторимую картину из линий излучения. В результате движения частота излучения от удаленных объектов, например, звезд, может изменяться (понижаться или повышаться), а линии соответственно могут смещаться в красную (длинноволновую) или синюю (коротковолновую) часть спектра, сохраняя, однако, свое неповторимое относительное расположение. Чаще всего термин «красное смещение» используют для обозначения двух явлений: «гравитационное красное смещение» и «космологическое красное смещение».

Кротовая нора /кротовина, червоточина, мостик, туннель – гипотетическая топологическая особенность пространства – времени, представляющая собой в каждый момент времени туннель в пространстве. Область вблизи самого узкого участка кротовины называется горловиной. Кротовые норы делятся на «внутримировые» и «межмировые» в зависимости от того, можно ли соединить входы кривой, не пересекающей горловину. Различают также проходимые и непроходимые кротовины. К последним относятся те туннели, которые коллапсируют слишком быстро для того, чтобы наблюдатель или световой сигнал успели добраться от одного входа до другого.

Классический пример непроходимой кротовины – пространство Шварцшильда, а проходимой – кротовины Морриса – Торна. Теория относительности допускает существование таких туннелей, но для существования проходимой кротовой норы необходимо, чтобы она была заполнена экзотической антигравитирующей субстанцией, создающей сильное гравитационное отталкивание и препятствующей схлопыванию норы. Решения типа кротовых нор возникают в различных вариантах теории квантовой гравитации, хотя полностью данные вопросы еще не исследованы. Проходимая внутримировая кротовая нора дает гипотетическую возможность путешествий во времени, если, например, один из ее входов движется относительно другого или если он находится в сильном гравитационном поле, где течение времени замедляется.

Магнитное поле – поле, ответственное за магнитные силы. В электродинамике рассматривается совместно с электрическим полем как проявление единого электромагнитного поля.

Масса – количество материи в физическом теле; его инерция или сопротивление ускорению.

Межзвездный газ – разреженная газовая среда, заполняющая все пространство между звездами. Химический состав межзвездного газа примерно такой же, как и у большинства звезд: он состоит из 90 % водорода и 10 % гелия с небольшой примесью более тяжелых элементов. В зависимости от температуры и плотности межзвездный газ пребывает в молекулярном, атомарном или ионизованном состояниях. Наблюдаются холодные молекулярные облака, разреженный межоблачный газ, облака ионизованного водорода и обширные области разреженного и очень горячего газа с температурой около миллиона градусов Кельвина.

Микроволновое фоновое излучение – излучение, оставшееся от горячей ранней Вселенной и испытывавшее к настоящему времени столь сильное красное смещение, что из света превратилось в микроволны

(радиоволны с длиной волны несколько сантиметров).

Млечный Путь – светлая неровная полоса, опоясывающая небо по большому кругу. Она связана со свечением огромного количества слабых звезд, большинство которых не различимо по отдельности ни в какие телескопы. Таким нам представляется звездный диск нашей Галактики, который мы наблюдаем изнутри, находясь вблизи плоскости диска. Во Млечном Пути концентрируется межзвездный газ, межзвездная пыль и группировки молодых звезд. Часто термин Млечный Путь используется как название всей нашей Галактики.

Мультиверс (Мультиуниверсум, Мультивселенная, Мультимир) – космологическая концепция, предполагающая, что наше мироздание включает или входит во множество миров и вселенных.

Нейтрино – чрезвычайно легкая (возможно, безмассовая) частица, которая подвержена действию только слабых сил и гравитации.

Нейтрон – нейтральная элементарная частица, вместе с протонами составляющая атомные ядра. Нейтроны очень похожи на протоны и составляют около половины частиц атомного ядра.

Нейтронная звезда – небесное тело, в основном состоящее из *нейтронов*. Гипотезу о существовании нейтронных звезд выдвинули астрономы Вальтер Бааде и Фриц Цвикки сразу после открытия нейтрона, ее подтвердили открытие и последующие наблюдения пульсаров. Нейтронные звезды образуются в результате гравитационного коллапса ядер нормальных звезд с массами в несколько раз больше солнечной. Плотность нейтронной звезды близка к плотности атомного ядра, поэтому при своей огромной массе нейтронная звезда имеет радиус всего лишь в десятки километров.

Новая звезда – звезда, увеличивающая свой блеск в тысячи (иногда – в миллионы) раз за несколько часов, а затем в течение нескольких недель тускнеющая и возвращающаяся к своему исходному блеску. Название «новая» отражает старинное представление о том, что на небе в этот момент возникает не существовавшая ранее звезда. В действительности явление новой связано со звездами большого возраста, практически закончившими свою эволюцию. Оно возникает в тесных двойных системах, где один из компонентов является вырожденной звездой белого карлика или нейтронной звездой. На определенном этапе эволюции таких систем вещество второго компонента – нормальной звезды – может начать перетекать на соседнюю вырожденную звезду. Когда на поверхности белого карлика или в магнитосфере нейтронной звезды накапливается критическая масса вещества, происходит термоядерный взрыв, срывающий

со звезды оболочку и увеличивающий ее светимость в тысячи раз. По мере накопления очередной порции газа взрыв повторяется, образуя повторные новые.

Общая теория относительности (ОТО) – теория Эйнштейна, основанная на идее о том, что законы физики должны быть одинаковыми для всех наблюдателей независимо от того, как они движутся. В основе ОТО лежит экспериментальный факт равенства инертной массы (входящей в законы механического движения Ньютона) и гравитационной массы (входящей в закон тяготения Ньютона) для любого тела. Это равенство проявляется в том, что движение тела в поле тяготения не зависит от его массы. Следствием этого является отсутствие гравитационно нейтральных тел. Иными словами, гравитационное поле (в котором проявляется гравитационная масса) эквивалентно ускоренному движению (в котором проявляется инертная масса).

Гравитационная и инертная масса характеризуют одно и то же свойство материи, рассматриваемое по-разному (разность массы современными экспериментальными методами не обнаружена). Таким образом, Эйнштейн пришел к принципу эквивалентности: «В поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее». Данный принцип позволяет трактовать гравитационное взаимодействие в терминах искривления четырехмерного пространства – времени.

Плазма – газ, атомы которого частично или полностью ионизированы. В состоянии плазмы находится основное количество газа Вселенной, поскольку из плазмы состоят звезды и значительная часть межзвездной среды. Важной особенностью плазмы является ее способность проводить электрический ток. Это приводит к тому, что характер движения плазмы зависит от значения индукции и формы линий индукции магнитного поля, в котором находится газ. Свойства намагниченной плазмы определяют многие наблюдаемые особенности различных астрономических объектов – от формы облаков межзвездного газа до возникновения вспышек на Солнце.

Планетарная туманность – светлая туманность вокруг старой звезды, образованная верхними истекающими слоями ее атмосферы; обычно это оболочка, сброшенная звездой-гигантом. Туманность расширяется и светится в оптическом диапазоне, поскольку ее газ нагрет ($T \sim 10000$ К) и возбужден ультрафиолетовым излучением горячего ядра центральной звезды. Многие туманности имеют форму кольца или симметрично

вытянуты вдоль некоторого направления (биполярные туманности). Внутри них заметна тонкая структура в виде струй, спиралей, мелких глобул. Скорость расширения планетарных туманностей 20–40 км/с, типичная масса около 0,1 массы Солнца, время жизни около 10 тыс. лет. Невооруженным глазом планетарные туманности не видны. Наиболее близкая планетарная туманность, Улитка, находится в созвездии Водолея.

Позитрон – положительно заряженная античастица электрона.

Поле – материальная сущность, распределенная в пространстве и времени, в противоположность частице, которая существует только в одной точке в каждый момент времени.

Пространство – время – физическая модель, дополняющая пространство временным измерением и, таким образом, создающая новую теоретико-физическую конструкцию, которая называется пространственно-временным континуумом. В соответствии с теорией относительности, Вселенная имеет три пространственных измерения и одно временное. В классической механике пространство и время объединены искусственно, как прямое взаимное произведение, будучи реально независимыми друг от друга. В контексте теории относительности время неотделимо от трех пространственных измерений и зависит от скорости наблюдателя. Количество измерений, необходимых для описания пространства – времени нашей Вселенной, окончательно не определено. Предполагается, что в ней присутствуют дополнительные (ненаблюдаемые) измерения, свернутые до сверхмикроскопических размеров, так что экспериментально они пока не могут быть обнаружены. Первый вариант модели естественного объединения пространства и времени был создан Германом Минковским (пространство Минковского) на основе теории относительности.

Протон – положительно заряженная частица, очень похожая на нейтрон. В большинстве атомов протоны составляют около половины всех частиц в ядре.

Радиоактивность – случайный (спонтанный) распад атомного ядра, превращающий его в ядро другого типа.

Радиоастрономия – раздел астрономии, занимающийся исследованием космического радиоизлучения. Возник с появлением первых радиотелескопов – телескопов, используемых для приема радиоизлучения из космоса. Основными элементами являются: антенна, чувствительный радиоприемник, перестраиваемый по частоте, называемый радиометром, и регистрирующая аппаратура. Для улучшения разрешающей способности радиотелескопы обычно объединяют в радиоинтерферометры.

Радиогалактика – галактика, отличающаяся необычно сильным

радиоизлучением. Обычно это крупные массивные галактики с плотной центральной областью – ядром. У наиболее мощных радиогалактик светимость в радиодиапазоне превышает оптическую светимость. Радиоисточники, связанные с радиогалактиками, обычно состоят из отдельных компонентов (ядро, радиогало, радиовыбросы, называемые также радиоджетами). Механизм их радиоизлучения синхротронный, т. е. связан с движением в магнитном поле энергичных электронов, выброшенных из активного ядра галактики. Ближайшие радиогалактики – Центавр А (NGC 5128) в созвездии Центавра и галактика Дева А (NGC 4486) в центре скопления галактик в созвездии Девы.

Световая секунда (световой год) – расстояние, проходимое светом за одну секунду (один год).

Сингулярность – точка, где искривление пространства – времени (или некая другая физическая величина) достигает бесконечного значения. В случае гравитационной сингулярности все вещество небесного тела под действием сил тяготения устремляется к ее центру, образуя черную дыру коллапсара с сингулярностью в центре. Такая сингулярность связана с плотностью материи, стремящейся к бесконечности.

Солнце – центральная одиночная звезда нашей Солнечной системы, вокруг которой обращаются все другие объекты: планеты и их спутники, карликовые планеты и их спутники, астероиды, метеороиды, кометы и космическая пыль. Масса Солнца составляет 99,8 % от суммарной массы всей Солнечной системы. Солнечное излучение поддерживает жизнь на поверхности Земли, участвуя в фотосинтезе, и влияет на земную погоду и климат. Солнце состоит из 74 % водорода, 25 % гелия и незначительных концентраций других элементов. По спектральной классификации Солнце относится к типу G2V («желтый карлик»). Температура поверхности Солнца достигает 5780 К, поэтому Солнце светит ровным белым светом, но из-за поглощения атмосферой Земли цвет нашего светила имеет желтый оттенок днем и красноватый при рассвете и закате.

Спектр – совокупность частот, составляющих волны какого-либо излучения, в частности электромагнитного. Видимую часть солнечного спектра можно видеть в радуге.

Специальная /частная/ теория относительности (СТО) – теория Эйнштейна, основанная на идее о том, что законы физики должны быть одинаковы для всех наблюдателей независимо от того, как они движутся, при отсутствии гравитационных явлений. СТО является современной теорией пространства и времени, в наиболее общем виде устанавливая связь между событиями в пространстве – времени и определяя форму

записи физических законов, не меняющуюся при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Ключевым в теории является новое понимание понятия одновременности событий, основанное на постулате о существовании максимальной скорости распространения сигналов – скорости света в вакууме. СТО обобщает представления классической механики Галилея – Ньютона на случай движения тел со скоростями, близкими к скорости света.

Темная материя и энергия – материя и энергия в галактиках, их скоплениях и, возможно, между скоплениями, которые невозможно наблюдать непосредственно, но они могут быть обнаружены по гравитационному притяжению, составляя до 90 % массы Вселенной. Темная энергия пока еще является гипотетической формой некоего поля, оказывающего отрицательное гравитационное давление и равномерно заполняющего всю Метагалактику. Согласно теории относительности, гравитация зависит не только от массы, но и от давления, причем отрицательное давление должно порождать антигравитационное отталкивание.

Это в общем соответствует недавно обнаруженному ускоренному расширению Вселенной, где такая сила действует в метагалактических масштабах. Темная энергия также должна составлять значительную часть скрытой массы Метагалактики. Существует несколько вариантов объяснения сущности темной энергии, среди которых выделяются два. По одному темная энергия связана с космологической константой Эйнштейна, как неизменная энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство. По второму темная энергия есть некая «квинтэссенция» в виде динамического поля, энергетическая плотность которого может меняться в пространстве и времени.

Теория струн – физическая теория, в которой частицы описываются как колебания некоторых сверхмикроскопических «струн». Струны имеют длину, но не обладают другими измерениями.

Термоядерный синтез – реакция слияния легких атомных ядер в более тяжелые ядра, происходящая при сверхвысокой температуре и сопровождающаяся выделением огромных количеств энергии. Ядерный синтез – это реакция, обратная делению атомов: в последней энергия выделяется за счет расщепления тяжелых ядер на более легкие. Энерговыделение при ядерном синтезе обусловлено действующими внутри ядра чрезвычайно интенсивными силами притяжения; эти силы удерживают вместе входящие в состав ядра протоны и нейтроны. Они очень интенсивны на внутриядерных расстояниях и чрезвычайно быстро

ослабевают с увеличением расстояния. Помимо этих сил положительно заряженные протоны создают электростатические силы отталкивания. Радиус действия электростатических сил гораздо больше, чем у ядерных, поэтому они начинают преобладать, когда ядра удалены друг от друга.

В нормальных условиях кинетическая энергия ядер легких атомов слишком мала для того, чтобы, преодолев электростатическое отталкивание, они могли сблизиться и вступить в ядерную реакцию. Однако отталкивание можно преодолеть сильным внешним воздействием, например сталкивая ядра, обладающие высокой относительной скоростью. Согласно современным астрофизическим представлениям, основным источником энергии Солнца и других звезд является происходящий в их недрах термоядерный синтез, однако существуют серьезные сомнения в том, что он протекает так же, как в земных условиях при взрыве водородной бомбы. Термоядерный синтез сопровождается колоссальным энерговыделением на единицу массы реагирующих веществ в десятки миллионов раз большим, чем в химических реакциях.

Ускоритель элементарных частиц – установка, способная ускорять движущиеся заряженные частицы, передавая им энергию при помощи электромагнитов. Существует несколько типов ускорителей, например: синхрофазотроны, циклотроны, бетатроны, коллайдеры.

Фотон – световой квант электромагнитного излучения.

Черная дыра (гравитационный коллапсар, застывшая/замерзшая звезда) – область пространства, в которой гравитационное притяжение настолько сильно, что ни вещество, ни излучение не могут эту область покинуть. Для находящихся там тел вторая космическая скорость (скорость убегания) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Поэтому из черной дыры ничто не может вылететь. Границу области, за которую не выходит свет, называют горизонтом событий, или просто горизонтом черной дыры. Чтобы поле тяготения смогло запереть излучение, создающая это поле, масса должна сжаться до объема меньше гравитационного радиуса. Значение этого радиуса чрезвычайно мало по сравнению с обычными размерами небесных тел.

Можно определить черную дыру как область пространства – времени, из которой невозможно никакое сообщение с внешней по отношению к ней Вселенной. Черные дыры представляют собой универсальные объекты, то есть их свойства не зависят от свойств вещества, из которого они образованы. При любом химическом составе вещества исходной звезды свойства черной дыры будут одними и теми же, подчиняясь только законам

теории гравитации. Расчеты показывают, что тела астрономического масштаба (например, массивные звезды) после истощения в них термоядерного топлива могут под действием собственного тяготения сжиматься до размера своего гравитационного радиуса. Астрономы нашли многие сотни кандидатов в черные дыры с массами от единиц до миллиардов солнечных масс, однако их изучение затруднено огромными расстояниями от Земли.

Электрический заряд – свойство частицы, благодаря которому она может отталкивать (или притягивать) другие частицы, имеющие заряд того же (или противоположного) знака.

Электромагнитное взаимодействие – взаимодействие, возникающее между частицами, имеющими электрический заряд; второе по силе из четырех фундаментальных взаимодействий.

Электрон – частица с отрицательным электрическим зарядом, которая вращается вокруг ядра атома.

Элементарная частица – частица, которая считается неделимой. По первоначальному смыслу понятие «элементарная» означает простейшая, не имеющая внутренней структуры, неделимая. По мере углубления наших знаний о природе материи многие частицы, ранее считавшиеся элементарными, потеряли право так называться.