

АСТРОФИЗИКА

Земля же была безвидна и пуста, и тьма над
бездною, и Дух Божий носился над водою.

Бытие, Глава 1, стих 2

Как мы упоминали в предыдущих статьях, физика – это экспериментальная наука, точнее, наука, с одной стороны, объясняющая наблюдаемые явления, с другой – предсказывающая явления и поведение окружающего мира. Явления могут быть творимыми исследователями (опыты), а могут быть только наблюдаемыми, например, спектры звёзд.

Статью я назвал «Астрофизика», чтобы подчеркнуть преемственность с предыдущими статьями о современной физике, и мы будем также говорить об астрономии, которая по некоторым классификациям включает астрофизику, и о космологии, которая входит в состав астрофизики.

Как у меня водится, мне нужно представить предмет изложения исторически - что видели и думали о звездах и космосе до нас.

Мы уже касались в статье о Ньютоновской революции того, что в античности и средние века господствовала геоцентрическая картина мира, наблюдатели различали звезды и планеты, но не представляли реальных расстояний до звезд, их движения и изменчивости, и помещали их в своём представлении на некую неподвижную сферу, ну, где-то чуть дальше планет.

В 1838 году Фридрих Бессель в своей обсерватории города Кёнигсберга методом параллакса впервые с приемлемой точностью измерил расстояние до одной из ближайших звезд, и человечество наконец ощутило огромные величины межзвездных расстояний – свет летит годы от ближайшей, и она в 25000 раз дальше, чем от нас до Сатурна. Сатурн в то время был самой дальней планетой (Нептун откроют лет через 5), и свет от Сатурна, как тогда представляли, летит чудовищно долго – больше одного часа! Скорость света к этому времени уже измерили достаточно точно, разница с нынешними данными в 3 процента.

Еще в 19 веке мало представляли природу звезд, не знали, за счет чего они светят. Только в 20-м веке, с возникновением квантовой механики и ядерной физики, разработали достаточно продвинутые теории физики звёзд. Собственно, не всё ясно и до сих пор, поскольку выяснилось, что звёзды бывают очень разные, но о Солнце сейчас более-менее ясно. Конечно, большинство думает, что там происходят знакомые по земным опытам и могучим бомбам обычные термоядерные реакции, водород объединяется в гелий. Это так, да не совсем. Температуры и давления в недрах Солнца недостаточно для возникновения ядерной реакции синтеза (слияния атомов), а она всё же происходит из-за квантового поведения частиц: их часть проскаивает в термоядерную реакцию из-за так называемого туннельного эффекта. Поэтому звёзды расходуют водород экономно и существуют долго. Синтез водорода в гелий – не единственная ядерная реакция, питающая энергией звёзды. Упрощённо говоря, гелий далее превращается в углерод, углерод в кислород, кислород в кремний, кремний – в железо.

Двадцатый век неимоверно продвинул представления о Вселенной. Это произошло опять же благодаря развитию науки, прежде всего, физики, что, в свою очередь, невероятно продвинуло технологии. Начиная с подзорных труб, носимых астрономами в футлярах, и приборов, которые в начале 20 века помещались на столе исследователя, появились всё большие и большие оптические телескопы, радиотелескопы, располагающиеся на квадратных километрах полей, детекторы почти неуловимых нейтрино, занимающие огромные залы на километровой глубине в горах, ракеты, которые вынесли вначале оптический телескоп на орбиту вне пределов помех атмосферы, и уже в 21 веке инфракрасную обсерваторию, размещенную далеко за орбитой Луны, в особую точку, называемую L2 Лагранжа. Обошлись эти приборы в огромные суммы, миллиарды долларов. В технологических достижениях отдельного разговора стоят компьютеры и в целом электроника.

Но попробуем по порядку, хотя это сложно.

Природа и эволюция звёзд.

Начиная с 19 века великий и могучий спектральный анализ позволил узнать, какие химические вещества есть на Солнце и какова температура его поверхности. В 1920 году Артур Эддингтон предположил, что источником энергии звёзд является термоядерная реакция: превращение ядер водорода в ядро гелия. Далее, в течение 20 века, теории о звёздах развивались на основе квантовой механики и ядерной физики, подкрепляясь хитроумными экспериментами, наподобие фиксации различного излучения Солнца и даже потоков нейтрин (!). Стало ясно, что большинство звёзд представляют собой газовый шар из водорода и гелия. В недрах звезды происходит термоядерный синтез, причём не в виде честных термоядерных реакций, как при взрыве термоядерной бомбы, а виде вероятностного процесса, с наличием туннельного эффекта. Тем не менее, эти реакции давят изнутри и уравновешивают гравитационное притяжение газовых частиц звезды. Энергия излучением и конвекцией переносится на поверхность звезды и светит в пространство. В недрах звезды температура достигает миллионов градусов, на поверхности – уже всего нескольких тысяч. Кроме термоядерной реакции в звезде при такой её спокойной жизни могут происходить и другие ядерные реакции с выделением энергии, с последовательным превращением одних элементов в более тяжёлые, начиная с водорода, но только максимум до возникновения железа, а вот образование более тяжёлых элементов требует поглощения энергии, а спокойное течение жизни звезды этого не допускает.

Как же образуются звёзды? Задумывались об этом давно, первые научные соображения высказывал ещё Рене Декарт. О роли гравитации в деле сгущения рассеянного вещества высказал Исаак Ньютон. В начале 19 века Уильям Гершель открыл более 2 с половиной тысяч туманностей и предположил, что они то и сгущаются в звёзды. В 1902 году Джеймс Джинс математически развил теорию образования звезд. А в 20-м веке уже стало понятно, что в межзвёздной среде имеется много пыли и газа, которые сгущаются под действием гравитации. Более того, большинство физиков приняли теорию образования Вселенной (в результате Большого Взрыва, об этом позже), по которой вначале были только облака газов из водорода и гелия, и первые в истории Вселенной звёзды (так называемого первого поколения) образовывались только из этих двух элементов, причём в основном из водорода. Таких звёзд сейчас не видно, по крайней мере в Нашей галактике и окружении в несколько миллиардов световых лет, они не дожили до настоящего времени. Сгущающееся облако проходит несколько увлекательных стадий, даже её центр сильно остывает (тут остановлюсь, объём статьи и так большой, на основе новейшей физики разработаны подробные теории), и в центре облака, приобретающего форму шара, возникают условия для квантовой (с туннельным эффектом) термоядерной реакции, и вуаля – вспыхивает звезда!

Протооблако звезды (перед образованием звезды превращается в протодиск), как правило, имеет вращательный импульс, в результате появившаяся звезда будет вращаться, да и вокруг неё из оставшегося газа и пыли сгустятся тела, массы которых не хватает для зажигания звезды, и они образуют планеты, вращающиеся по своим орбитам вокруг родившейся звезды. До недавнего времени мы знали только планеты нашей Солнечной системы, в 1995 году Мишель Майор и Диане Кело открыли первую экзопланету, то есть планету у другой звезды, а на январь 2025 года уже известно 7397 экзопланет в 5078 планетных системах.

Итак, звезда светит-светит, и в какой-то момент горючего для термоядерной реакции становится маловато. И дальше судьба звёзд различается в зависимости от их масс. Если масса меньше 1.4 массы Солнца, то она спокойно светит с десяток миллиардов лет (а совсем маленькие звезды – многие десятки миллиардов лет), затем начинает медленно остывать и превращаться в **белый карлик**, правда, перед этим раздувшись до **красного гиганта**. У них уменьшается объём, плотность вырастает на пару порядков, но там ещё обычные ядра веществ, хотя электронные оболочки уже отрываются от ядер. Белый карлик светит за счёт раскалённого кристаллического ядра, и постепенно остывает. Процесс этот будет длиться многие миллиарды лет, больше, чем возраст Вселенной. Правда, если повезёт и белый карлик прихватит у окружающего пространства дополнительную массу, он может дальше сколапсироваться (резко ужаться) до **нейтронной звезды**. Через 5 миллиардов лет судьба белого карлика ждёт и наше Солнце.

А вот если звезда массивнее 1.4 массы Солнца, то у неё бурная судьба. Живет она по астрономическим меркам очень недолго – несколько миллионов лет, причём, чем она массивнее,

тем короче её жизнь. И наступает момент, когда резко не хватает горючего, и термоядерная реакция в центре звезды внезапно останавливается. Равновесие гравитационного притяжения и давления термоядерной реакции враз исчезает, и частицы звезды – а там ещё до черта и водорода, и гелия – устремляются к центру звезды. Если вы думаете, что потенциальная энергия этих частиц сравнительно мала в масштабах звезды, то ошибаетесь – она раза в три превышает энергию, которую звезда в сумме излучала за всю предыдущую жизнь. Потенциальная энергия, естественно, превращается в кинетическую, а затем в тепловую. Возникает давление и температура, которые приводят к классическому термоядерному взрыву чудовищной мощности, и звезда становится **сверхновой**, начинает испускать все виды излучений, да с такой интенсивностью, что в истории человечества зафиксировано наблюдение такой сверхновой днём. Через некоторое время (несколько земных дней) это яркое свечение ослабевает. Часть вещества звезды разлетается, превращаясь в туманности, подсвечиваемые остатками звезды. А часть при сближении вблизи центра масс невероятно ужимается и превращается в очень плотное небесное тело (например, **нейтронную звезду**), у атомов которой «сминаются» электронные оболочки, электроны соединяются с протонами и превращаются в нейтроны, последние плотно упаковываются в небольшом объёме. В каких-то случаях коллапсы звезд приводят к образованию **чёрных дыр**, о которых поговорим попозже.

Кстати, термин «сверхновая» означает вовсе не «очень новая», как кому может показаться. Дело в том, что в 1572 году астроном Тихо Браге увидел в созвездии Кассиопеи звезду, которую раньше не наблюдал, и придумал термин «новая» (nova на латыни). Таких звезд оказалось довольно много, сюда, например, попадают звезды с переменным блеском, некоторые двойные с периодическими перетеканиями звёздного вещества компаньону. Далее стало ясно, что это совсем не вновь появившиеся звёзды, а наоборот, как правило, очень старые. Но вот иногда (гораздо реже большинства новых) стали фиксироваться появления светил, яркость которых значительно ярче обычных новых. Так что сверхновая означает новая, причём супер-яркая.

Во время взрыва сверхновой происходят самые разнообразные ядерные реакции, в том числе с поглощением энергии, который в момент взрыва в избытке, и рождаются всевозможные элементы таблицы Менделеева, которые разлетаются в облаке-туманности в виде межзвездной пыли и газа. И из этого газа и пыли с разнообразными атомами со временем вновь образуются звёзды (второго поколения), а вокруг них планеты с богатым химическим составом, чего не могло быть у звёзд первого поколения. Так что, друзья, углерод, водород и кислород, из которых мы в основном состоим, возможно, образовались во время спокойной начальной жизни какой-то звезды (не Солнца!), а вот медь, цинк, селен и многое другое, потяжелее железа, которые внутри нас тоже имеются, а также золото, которое многие люди любят в виде украшений, ещё этого добра много на нашей каменной планете, родились во время взрыва какой-то сверхновой звезды в виде сверхновой миллиарды лет назад.

Примечание. Раздельчик этот изложен очень упрощённо. Не даны классификации звёзд, и как образуются двойные, тройные и более чем тройные звёзды (а их столько же, сколько одиноких), и как на несколько недель белый карлик становится новой (то есть светит в тысячи раз ярче обычного), и что бывают красные карлики, и, видимо, чёрные карлики. И что в межзвездной среде есть не только межзвёздные газ и пыль, а нечто невероятное – но об этом позже. Хотя уверен, вы знаете, о чём это я.

Цефеиды.

В начале 20 века американская астроном (женщина) Генриетта Ливитт открыла множество звезд, периодически меняющих яркость (переменные звёзды, или цефеиды), и что особенно важно, открыла зависимость их яркости от периода (закон Ливитт), что позволило определять расстояние до цефеид, а заодно до галактик, которые их содержат. Роль этого открытия в понимании геометрии Вселенной трудно переоценить. Генриетта, бедняжка, умерла рано, в 53 года, от рака желудка.

Примечание о сверхновых типа Ia.

Пожалуй, есть важное дополнение о сверхновых. Механизмы их образования бывают различными, классификация включает почти десяток типов, и отметим один очень важный для

астрономии тип – Ia. Сверхновые этого типа получаются в результате термоядерного взрыва белого карлика, после которого ничего не остаётся. Особенность Ia в том, что свечение таких сверхновых однородно, имеет одинаковую яркость, что после калибровки с цефеидами позволило определять расстояние до очень далеких галактик, где они взрываются. Таким образом, сверхновые Ia являются так называемыми «стандартными свечами».

Вообще объятие человеческим разумом Вселенной научным подходом в целом шло в соответствии с ростом расстояний до наблюдаемых объектов и пониманию её динамики и изменчивости.

Для древних звёзды были неподвижными и статичными, за исключением упоминавшихся выше новых и сверхновых.

Пока не было телескопов, звёзд видели немного, только ближайшие из нашей Галактики, примерно одну десятимиллионную часть. Остальные звёзды воспринимались как туманная полоска, Млечный путь. Первым, кто понял, что это молоко состоит из отдельных звёзд, был Галилео Галилей, посмотрев на Млечный путь в телескоп в 1610 году. И только тогда астрономы поняли, что звёзды простираются очень далеко за планеты. И через полтораста лет астроном Томас Райт и чуть позже сэр Гершель со своей сестрой сформулировали понимание общности звезд Млечного пути, собственно как Нашей Галактики. При этом они думали, что это вся Вселенная. Гершели даже пытались представить форму этой Вселенной, и где-то были близки к истине. Их Вселенная имела форму точильного диска, только не очень симметричного и с какими-то рукавами. Не судите их строго: мы же тоже видим несветящиеся облака пыли и газа, закрывающие центр Нашей Галактики как черноту, то есть пустоту. К тому Гершели помещали Солнце в центр галактики (а куда же ещё?), хотя, как впоследствии оказалось, наша планетарная система находится на краешке Нашей Галактики. Про звёзды вне Нашей Галактики (то есть в иных галактиках) и не помышляли, только немногие из галактик были видны в виде туманностей (например, Туманность Андромеды), другие вообще были невидимы, а в телескопы выглядели опять же туманностями. Но туманностей хватает и в Нашей Галактике – это светящиеся облака газа, а то, что внутри галактические туманности на многие порядки ближе галактик, тогда определить было невозможно.

Нужно сказать, что гипотезу о том, что Млечный путь имеет форму диска, причём обусловленного вращением и гравитацией, высказал до Гершелей Иммануил Кант. К тому же он предположил, что туманности – это другие галактики («Островные Вселенные»). Головастый был дядька, жаль, что в основном занимался какой-то мутью, всякими критиками чистого разума¹⁾, а не настоящей наукой.

Только в 1923 году существование иных галактик строго научно доказал «человек и телескоп»²⁾ Эдвин Хаббл (не подумайте чего, телескоп «Хаббл» запустили на орбиту только в 1990 году). Во-первых, Хаббл (человек, астроном) разглядел через неплохой телескоп отдельные звёзды в некоторых туманностях, и заявил, что эти туманности – самостоятельные галактики. При этом часть этих туманностей определилась как собственность Нашей Галактики, и могут быть как далёкими скоплениями звёзд (в частности, весь Млечный путь), так и объектами много меньше галактик, как, например, Крабовидная туманность. Последняя представляет собой разлетающиеся частицы взорвавшейся звезды (в виде пыли и газа), подсвечиваемые остатками звезды.

Хабблу помогло и открытие цефеид, позволяющие определять расстояние до них, будь они в Нашей Галактике или в других. И ещё Хаббл активно исследовал спектры галактик, в том числе таких, где нельзя было рассмотреть отдельные звёзды. И обнаружил, что спектры показывают наличие привычных атомных элементов, но они как-то сплющиваются вправо, в сторону красного света, более длинных электромагнитных волн (так называемое красное смещение).

Смещение спектров источников электромагнитного излучения

Поскольку для измерения скоростей космических объектов и расстояний для них смещение спектров имеет чрезвычайно важное значение, немного поясним этот вопрос. Изменение частоты испускаемых движущимися относительно наблюдателя звуковых волн, называемое эффектом Доплера, нам хорошо известно из повседневной жизни, и оно называется доплеровским смещением. В электромагнитном спектре оно может быть как влево (синее), так и вправо

(красное), и активно используется астрономами. Так вычислены скорость движения и направления ближайших галактик (даже установлено, что галактика Туманность Андромеды движется к нашей и столкнется с ней через 4-5 миллиардов лет), скорости вращения звезд вокруг центров галактик, и даже еле заметные колебания звезд Нашей Галактики из-за гравитационного воздействия их экзопланет. Но есть еще два типа смещений, исключительно вправо, называемых красными смещениями. Одно из них вызвано расширением Вселенной и тем, что расстояние до галактик постоянно увеличиваются от нас, наблюдателей (и от друг друга тоже), и обусловлено это изменением масштаба, метрики пространства, а не движением галактик в этом пространстве. Называется это смещение Космологическим красным смещением, и даёт массу информации астрономам о строении Вселенной и её истории. И наконец, еще одно красное смещение обусловлено изменением длин волн, идущих от массивных объектов, связано с замедлением времени в гравитационном поле, и, соответственно, называется гравитационным красным смещением. Его уже приходится учитывать, например, при использовании навигационных спутников (GPS-NAVSTAR, Глонасс, Galileo, Бэйдоу).

Когда говорят просто красное смещение, обычно подразумевают по контексту наиболее часто используемое Космологическое красное смещение.

В общем, все три смещения по отдельности и в сочетании с друг другом активно используются в астрофизике. Восхищает достигнутая к 21 веку точность измерений. Ведь эти телескопы наблюдателей движутся вместе с вращением Земли или спутника по орбите, Земля движется вокруг Солнца, Солнце – вокруг центра Нашей Галактики. Наверно, это невозможно без компьютеров, но всё равно, должны быть разработаны сложнейшие математические и вычислительные модели.

Нужно сказать, что в двадцатые годы 20 века было несколько светлых голов, измерявших красное смещение, например, Весто Слайфер и Милтон Хьюмасон, а Жорж Леметр в 1927 году даже разработал теорию Расширяющейся Вселенной и её рождения.

И, Внимание! Поскольку Хаббл для некоторых галактик мог определять расстояние, он в 1929 году вывел закон Хаббла, по которому расстояние до галактик увеличивается с увеличением красного смещения, более того, расстояние между галактиками тоже увеличивается. Вдобавок, он вывел количественное соотношение (постоянную Хаббла), показывающее связь между красным смещением и, во-первых, расстоянием до галактики, во-вторых, скоростью, с которой увеличивается расстояние. Было установлено, что чем дальше галактики друг от друга и от Нашей Галактики, тем быстрее увеличивается расстояние между ними. Это действует для очень больших масштабов, соседние галактики могут сближаться, как, например, Наша Галактика и Туманность Андромеды. Я не случайно не использую оборот «скорость разлета», «разбегание», поскольку увеличение расстояний между далёкими галактиками и движение близких к друг другу галактик имеют различную фундаментальную природу. Но об этом чуть позже.

Открытие Хаббла в очередной раз перевернуло представление учёных и, осторожно скажу, просвещённого человечества о Вселенной, а Хаббл получил заслуженную славу. Хотя тут, конечно, есть нюансы. Выше мы уже говорили, что Жорж Леметр создал теорию Расширяющейся Вселенной, а до него об этой возможности догадался наш соотечественник Александр Фридман. Леметр первым высказал, что было начало Вселенной из сверхплотной субстанции. Но Леметра восприняли не очень серьёзно, выводы у него были теоретическими, ну и, дескать, мало ли что можно нафантазировать с вашими математическими крючками. Но Хаббл показал это измерениями - наглядно, грубо, зримо, которые любой астроном может повторить и проверить. И вся слава теперь у Хаббла.

Начальное зарождение со временем стало называться Большим взрывом. Придумал название в 1949 году английский астрофизик Фред Хайл, причём иронически, поскольку сам был сторонником стационарной, вечной Вселенной, и, нужно сказать, повредил широкому пониманию природы расширения Вселенной. Дело в том, что термин «взрыв» ассоциируется с неким толчком во все стороны и последующим разлётом осколков, да ещё появилось выражение «галактики разбегаются», что укрепило такое понимание в широких кругах, причём вплоть до сегодняшнего дня. Но понимание динамики Вселенной основывается на общей теории относительности Эйнштейна (ОТО), а эта самая ОТО говорит о том, что изменяется сама геометрия пространства, оно как бы «раздувается», а галактики при этом могут оставаться в той же области пространства.

Расширение Вселенной. Ещё раз о понимании природы Большого взрыва. Итак, в обыденном сознании часто так и представляют: что вот когда то в неподвижном пространстве произошёл невиданной силы взрыв, и начальное вещество Вселенной, получив пинок от этого взрыва, начало разлетаться в разные стороны, подобно осколкам взорванной гранаты. Всё не так, ребята. Фишка тут в том, что расстояние между галактиками увеличивается, потому что расширяется само Пространство. Физики приводят такую двумерную интерпретацию. Вот пусть имеется резиновый шарик, сначала сдутьй. Но на его поверхности нарисованы двумерные галактики. И кто-то из нас, такой вот бог для жителей галактик резинового шарика, начинает надувать его (шарик). И по мере увеличения нашего шарика в трехмерном пространстве, расстояние между галактиками в их двумерном мире поверхности шарика увеличивается, при этом галактики не движутся относительно своего двумерного пространства (они же просто нарисованы на резинке). Точно также трехмерное пространство, в которое погружены реальные галактики, в том числе мы с вами вместе с Нашей Галактикой, расширяется, оставляя галактики неподвижными относительно самих себя и близких соседей (ну, кроме сравнительно небольших скоростей, с которыми галактики всё же движутся туда-сюда). А скорость увеличения расстояния далёких друг от друга галактик не ограничивается ничем, даже скоростью света. И в принципе, если наша Вселенная имеет очень большие размеры, то очень далёкие галактики увеличивают расстояние между нами со сверхсветовой скоростью, и свет от них никогда не долетит до нас. Как говорится, такие галактики будут находиться от нас за горизонтом событий.

Кто-то спросит, а с чего это вы взяли, что Вселенная так изменяет свою метрику? Ну, во-первых, модели расширяющейся, сжимающейся или стационарной Вселенной показал наш Александр Фридман в 1922 году, решая уравнения общей теории относительности. Эйнштейн видел его статью, сначала оторопел (он то полагал, что Вселенная стационарная и бесконечная, даже так называемый лямбда-член ввёл в свои уравнения для соблюдения этой стационарности), не принял, но потом всё же признал (увы, Фридман этого не узнал: неосторожно съел немытую грушу и умер от тифа в 1925 году). А то, что Вселенная именно расширяется, а не сжимается, открыл упомянутый выше «человек и телескоп». Во-вторых, чтобы вы не говорили, что мало ли что можно математическими иероглифами нарисовать, есть этому наблюдательные подтверждения.

Хаббл даже вывел закон скорости увеличения расстояний (назван, понятно, законом Хаббла) и даже рассчитал величину этой зависимости (с существенной ошибкой, но на принцип это не влияет), как линейный коэффициент. Эту величину назвали постоянной Хаббла, хотя впоследствии выяснилось, что этот коэффициент меняется со временем, а в начале Вселенной был на многие порядки больше, чем сейчас, но физики лукаво объясняют, что это всё же постоянная, ну в том смысле, что она в конкретный момент времени одинакова во всех направлениях. Что же, это тоже немаловажный факт, одно из подтверждений так называемой изотропности Вселенной.

Конечно, сразу же встал вопрос: а что было, если посмотреть назад, в прошлое, так сказать, кино обратно прокрутить? Когда и как это движение началось? Понятно, что нашлись скептики, пытающиеся вообще отрицать расширение Вселенной, дескать, красное смещение из-за «усталости» света, пока он летит от далеких галактик (то есть фотоны теряют энергию), но экспериментальных подтверждений такие гипотезы не получили. И хочешь не хочешь, нужно рассстаться с успокаивающей психику мыслью о неизменности и стационарности окружающего мира, нужно рассматривать гипотезы о её изменчивости, и где то устрашающих прошлом и будущем.

Теория Большого взрыва

Наконец, мы подошли к главной теме астрофизики, в которой фокусируются все остальные темы. Ну, всё по порядку, исторически.

Хорошо, стало понятно, что Вселенная расширяется и дальше в обозримом будущем будет ещё ширше и разреженнее. Смотрим назад во времени, думаем, раньше что же было? Вроде бы очевидно, что была поуже, поплотнее. А вот давным-давно, какой она была? Фантазий на этот счёт поначалу было много. Кто-то высказывал мысль, что Вселенная ведёт себя вроде гармошки:

сначала расширяется, потом её гравитация стягивает обратно, она сжимается до какого-то предела, потом снова расширяется. Некоторые стали высказывать мысль, что Вселенная родилась из точки, вместе с материей и ВРЕМЕНЕМ. Ну поначалу, это ни в какие ворота не лезло, мысль останавливалась. Английский физик Фред Хойл разрабатывал теорию стационарной Вселенной, по которой она не сжимается при обратном просмотре по времени, а существует вечно, а между разлетающимися галактиками из вакуума постоянно возникает новая материя. Вот он же в 1948 году, как многие считают, иронично, обозвал начальный импульс рождения Вселенной в соответствующих альтернативных теориях термином «Big Band» или по-русски «Большой взрыв». И надо же, последующие наблюдения показали большую убедительность теорий как раз рождения Вселенной из чрезвычайно маленькой области, видимо, из очень большой плотности материи-энергии, после которой последовало её расширение, а термин «Большой взрыв» укрепился за этим представлением, при этом внося некоторое неточное представление об этом процессе. Но обо всём этом поподробнее.

Физики стали разрабатывать различные представления рождения изначально расширяющейся Вселенной, чаще в двух моделях: «горячей Вселенной» и «холодной Вселенной». К сторонникам холодной модели принадлежал видный советский физик Яков Зельдович. Он представлял начало Вселенной как плотно собранный холодный водород, а начало нечто вроде термоядерного взрыва. Это и понятно, незадолго до этого Зельдович был среди создателей термоядерной бомбы. Были модели начальной холодной Вселенной, состоящей из нейтронов, но мы не будем погружаться в эти премудрости, тем более, что скоро эта гипотеза пришла в противоречие с наблюдениями, которые показали, что Вселенная в основном состоит из водорода, а по модели холодной Вселенной всё должно было бы превратиться в гелий. В других моделях, например, самой ранней модели взрывающейся из первоатома Вселенной (выше уже упоминали, Леметр, 1931г.) должно было получаться преобладание железа. В то время как спектрографические исследования глубин Вселенной показывали, что в ней больше всего водорода (больше 75%), на втором месте гелий, и с этим создаваемые модели должны были считаться.

Бывший советский физик, Георгий Гамов, разработал модель горячей Вселенной. Он, будучи 29-летним уже членом-корреспондентом Академии наук СССР, сумел в 1933 году улизнуть из Советского Союза на Запад. Модель начальной горячей Вселенной он со своими учениками создал в 1947-1948 годах. К этому времени квантовая физика уже оперировала понятиями элементарных частиц (уровня электронов-протонов-нейтронов, до кварков дело ещё не дошло), был известен с определенной степенью точности химический состав современной Вселенной (ну, там сколько процентов водорода, гелия, лития и прочего). Уже вовсю работала ядерная физика, создали атомную бомбу, дело шло к термоядерному синтезу (водородной бомбе). Очень грубо был определен возраст Вселенной, на основе приближенно вычисленной постоянной Хаббла, всего в пару миллиардов лет. Очень скоро, в 50-е годы, это стало противоречить с возрастом Земли, определённой геологами в 4-5 миллиардов лет.

Гамов привлёк к работе своего аспиранта Ральфа Альфера, который выполнил основную часть расчётов, ведь нужно было вычислить количественные характеристики рождающейся Вселенной (сам Гамов вычислять как-то не очень любил), чтобы сверять их с наблюдательными данными. Ещё позднее теорию «горячей Вселенной» совершенствовали (уже без Гамова) Альфер, Роберт Герман и несколько позднее Джеймс Фоллин, которые провели огромную работу по количественным характеристикам, прежде всего, по содержанию различных химических элементов в получающейся Вселенной, и которые можно было бы сопоставлять с наблюдаемыми со всей большей точностью данными.

При объяснении рождения и жизни Вселенной важное значение имеет понятие нуклеосинтеза – каким образом путем ядерно-квантовых процессов рождаются знакомые нам химические элементы. Различают первичный нуклеосинтез, быстрые события сразу после Большого взрыва, и звездный, который миллионы и миллиарды лет горит в недрах звёзд и потихоньку происходит в пространстве под воздействием высокoenергичных космических лучей. Гамовцы очень детально проработали первичный нуклеосинтез.

По представлениям Гамова и его команды в начальные секунды своего существования Вселенная представляла очень плотную, поначалу в крошечном объёме, горячую плазму из

элементарных частиц, излучающей фотоны, которые из-за тесноты начальной материи быстро улавливались электронами, и которые тут же испускали фотоны вновь. Плотность излучения намного порядков превышала плотность частиц (и это важно для горячей модели). По мере расширения пространства материи стало просторнее, электроны и протоны стали связываться в атомы водорода (физики, простите за отсебятину! Ну читал про нуклеосинтез, там всё сложнее!). И расширяющаяся Вселенная стала содержать в основном водород, часть успела превратиться в гелий, и совсем небольшой процент ещё некоторых легких элементов.

А ранее запертое излучение, очень высокочастотное (длина волны около 0.00001 мм) после этого вырвалось на свободу, уже в достаточно разреженной Вселенной это излучение большей частью не натыкалось на атомы и образующиеся звезды и планеты, и гуляет до сих пор в виде фонового излучения. Поскольку пространство со временем горячей плазмы сильно расширилось, длины волн этого излучения должны тоже сильно увеличиться (соответственно, уменьшившись температура излучения). Гамовцы даже предсказали температуру этого современного фонового излучения - около 3 градусов Кельвина (то есть излучение должно было стать микроволновым, длина волны в пару миллиметров). Это практически совпало с современными данными. Тут я опять изумляюсь, какие мозги могут быть у людей!

Нужно сказать, что позднее этот процесс был уточнён в 1968 году Зельдовичем, Куртом и Сюняевым явлением, названной рекомбинацией (название неудачное, никакого «ре», по есть повторного процесса, нет), когда протоны и электроны связываются в нейтральные атомы водорода. Процесс этот произошёл через 378000 лет после Большого взрыва, и именно после рекомбинации Вселенная стала прозрачной для реликтового излучения.

Троица Альфер-Герман-Фоллин, шаг за шагом (путем «ошибок трудных»), в нескольких статьях, уточняя выводы, пришли к соотношению, что гелия от 29 до 36 процентов, водорода – от 64 до 71 процента, что очень близко к современным: гелия 25%, водорода 75%, плюс совсем немногодейтерия, гелия-3 и лития. Процесс рождения Вселенной у гамовцев идет с возраста Вселенной 10^{-4} секунды, нуклеосинтез начинается через 142 секунды при температуре начальной плазмы 1.28×10^9 Кельвинов.

Примечание. Количества элементов «гелия 25%, водорода 75%» указываются по массе вещества. Как справедливо заметил мне физик Ткаченко Виталий, в данном контексте это не совсем адекватно отражает количество этих атомов, по его выражению, это всё равно, что распространенность детей и взрослых в популяции выражать через их суммарные веса. Содержательнее указать соотношение количества атомов. В этом случае водорода будет около 90%, гелия 9%, на всё остальное около 1%.

Таким образом, по модели Гамова Вселенная начиналась с очень маленького размера и равномерно, согласно постоянному значению Хаббла, увеличивала свой объём благодаря растяжению метрики (или иногда говоря, масштаба) пространства. Я модифицировал одну из картинок интернета, чтобы описать это представление конца 1940-х годов (рисунок 1).

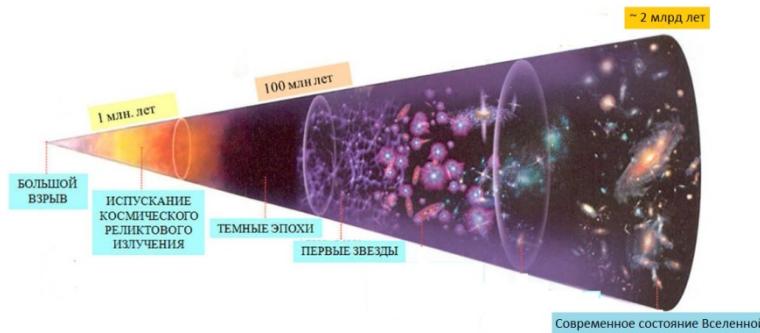


Рисунок 1. Динамика изменения Вселенной по модели Гамова.

Примечание: возраст Вселенной в то время был определён с ошибкой на порядок.

Модель Гамова многие физики приняли с прохладцей, тем более что было несколько других, не таких экзотичных. И тут в 1963 году два американских астрофизика, Пензиас и Вильсон, обнаружили это самое фоновое излучение, предсказанное Гамовым (в русскоязычной физике его

назвали реликтовым). Оказалось, что оно имеет температуру 2.725 Кельвина, почти равную предсказанной Гамовым (!). Излучается оно с любой точки неба. То-есть фотон реликтового излучения, попадающий на антенну, был выпущен электроном или иным барионом много миллиардов лет назад, вскоре после рождения Вселенной, и картина реликтового излучения, которую стали воспроизводить, представляет собой карту источников излучения на некоторой сфере вокруг одной точки в первородной плазме, расширявшаяся к нашему времени в миллиарды световых лет, а точка в центре в некотором приближении - прародина области нашей Земли во Вселенной!

После открытия реликтового излучения модель горячей Вселенной из гипотезы стала теорией, и подавляющее большинство исследователей признали её, и столбовое развитие представлений о рождении Вселенной стало отталкиваться от этой модели. К концу 20 века состояние Вселенной стало рассматриваться на более ранних стадиях, её суть стали формулировать в терминах созданной к этому времени Стандартной модели, в кварках, лептонах и бозонах. Существенно уточнилось значение постоянной Хаббла, следовательно, и возраста Вселенной, которое уже считалось более 10 миллиардов лет. Заметим, что по современным измерениям, в 2025-м году, возраст Вселенной оценивается примерно в 13.8 миллиардов лет.

Развитие технологий к концу 20 века и в наше время создало много мощных средств наблюдения за Вселенной. Это прежде всего телескопы в самых различных спектрах электромагнитного излучения, некоторые выведены на космические орбиты («Хаббл», «Уэбб», «Ферми»). Компьютерные программы автоматизировали большинство видов обработки и невероятно повысили производительность анализа данных. О Вселенной к концу 20 века стали известны ранее недоступные количественные данные, и теоретикам «Большого взрыва» нужно было согласовать нынешнее состояние Вселенной с её первыми долями секунд, минутами и годами. Укажем некоторые из них.

Чтобы идти дальше, уточним, что же астрономы и физики понимают под Вселенной. Во-первых, сейчас ясно, что мы можем наблюдать не всё, что породилось Большим взрывом. В связи с тем, что никакая информация не может передаваться быстрее скорости света, а с момента рождения Вселенной прошло около 13.8 миллиардов лет, то мы можем наблюдать только те объекты, свет от которых может преодолеть расширяющуюся Вселенную за это время. Поэтому есть два близких понятия, наблюдаемая Вселенная и видимая Вселенная. Видимая на 2 процента меньше, потому что наблюдаемая Вселенная может включать объекты, информация о которых получена не только за счёт электромагнитного излучения, но и косвенными методами.

Итак, мы видим излучение, которое летело к нам 13.8 млрд лет. Но за это время пространство продолжало расширяться, и расстояние до источника этого излучения увеличилось до 45.7 миллиардов световых лет. Таким образом, видимая, как и наблюдаемая Вселенная, представляет шар, в центре которой находится Земля, с радиусом 45.7 миллиардов световых лет. Такой же радиус имеет сфера, на которой находились частицы, которые испустили реликтовое излучение, которое мы наблюдаем сейчас напрямую, как электромагнитное (другие фотоны просто не могли вырваться из ранней ионизированной Вселенной).

Когда стало ясно, что был Большой взрыв, встали вопросы, что из себя представляет Вселенная за пределами наблюдаемой. Вероятно, что там есть звезды и галактики, но каково это пространство, его метрика, было неизвестно. Может быть, Вселенная безгранична. При этом она может быть по объёму конечной (если она на больших масштабах неплоская). Но кто его знает, возможно, она бесконечна, тогда получается, что начальная Вселенная (вся, не только зародыш наблюдаемой) после Большого взрыва была не только сверхплотной, но и бесконечной по объёму.

Перейдём к несоответствиям нынешней Вселенной и модели Гамова. Вопросов много, приведём три основные проблемы, которые были видны к 70-ым годам 20 века. Это проблема плоской Вселенной, проблема горизонта и проблема монополей.

Наблюдаемая Вселенная «плоская». Космологи, говоря о Вселенной, используют термин «плоская», разумеется, не в смысле, что это двумерная плоскость, вроде поверхности стола, а предполагают, что пространство или его часть являются, как говорят математики, евклидовым. Признаком евклидового пространства является, например, то, что сумма углов любого треугольника равна 180° . Как мы знаем, пространство, в котором обитают звезды и галактики, в

некоторых местах искривляется, и очень заметно вблизи массивных объектов, например, чёрных дыр. Это может вызывать явление «гравитационных линз», о которых мы ещё скажем в этой статье. Встал вопрос, является ли Вселенная плоской в глобальном масштабе, на протяжении сотен миллионов и миллиардов световых лет. Вы спросите, как это выявляют, невозможно же измерять углы треугольников такого размера, мы будем иметь дело с искажёнными проекциями таких треугольников. Об этом смотрите ниже, в дополнении.

Так вот, видимая Вселенная оказалась плоской! А это не стыковалось с моделью Гамова, поскольку после Большого Взрыва пространство должно было быть заметно искривлено, и это должно было отразиться на нынешнем её состоянии.

Следующее несоответствие модели Гамова называлась проблема горизонта. Температура реликтового излучения очень близка к однородной, анизотропия (неоднородность) не превышает одной сотой процента. Сейчас, имея современные измерения, говорят уже об одной тысячной процента. Первоначальные антенны вовсе не чувствовали разницу, и только в конце 20 века с помощью спутников Прогноз-9 (СССР), COBE (США) и WMAP (США) удалось построить карту реликтового излучения с проявлением этих незначительных неоднородностей (рисунок 2).

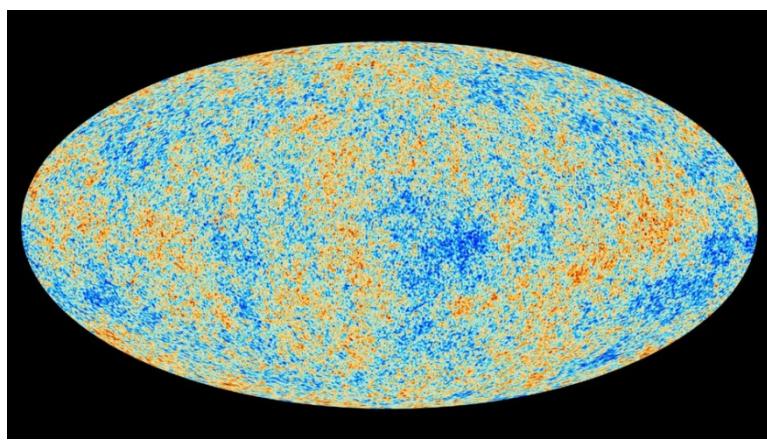


Рисунок 2. Сверхчувствительная карта реликтового излучения (Википедия)

Заметим, что эта неоднородность для локально близких участков карты. А если смотреть целиком на все данные излучения, есть ещё дипольная неоднородность, то есть отличие температуры в одном из направлений отличается на порядок больше локальной неоднородности – на десятую долю процента. Но это результат не исходной неоднородности реликтового излучения, а доплеровского смещения из-за движения нашей Солнечной системы (в направлении созвездия Льва) относительно как бы неподвижно располагающихся источников реликтового излучения. То есть в наблюдаемой Вселенной, по крайней мере, для нас, её жителей, есть абсолютная система отсчёта! Лично для меня неожиданно, всегда воспринимал пространство Вселенной как вместелище совершенно независимых ни от чего инерциальных систем отсчёта.

Однородность реликтового излучения означает, что наблюдаемая Вселенная перед тем, как это излучение вырвалось на свободу, то есть в горячий, «Гамовский» этап, была также однородной по температуре. Но рождающаяся материя статистически имеет разную температуру для отдельных своих частиц, и чтобы её масса стала одной температуры, её отдельные части должны взаимодействовать, передавать энергию и, в широком смысле, информацию. Но произвольная частица, которая находилась на поверхности этой сферы в момент, когда фотоны, излучаемые ею, вырвались на свободу и стали реликтовыми, могла иметь доступ для обмена температурой (и любой информацией) в силу конечности скорости света, далеко не со всеми другими частицами на этой сфере.

К примеру, любые две противоположные точки этой сферы (то есть зародыша границ видимой Вселенной), соответствующие частицам, излучающим реликтовое излучение, находились на расстоянии, недоступном для взаимодействия, а значит, обмену энергией для выравнивания температуры. В самом деле, допустим, смотрим на Южный полюс небесной сферы (задрав наш радиотелескоп), пусть это точка S. Излучение только-только долетело до нас от точки полюса сферы, то есть мы на границы видимости точки S. Смотрим на Северный полюс, на точку

N , также видим излучение от этой точки. И также мы находимся на границе горизонта видимости точки N . Очевидно, N и S не «видят» друг друга, потому что наблюдатель на Земле находится для этих полюсов на расстоянии, предельно доступном им к нашему времени, тем более для момента ранней Вселенной. Они как бы за горизонтами друг для друга, отсюда название проблемы. Более того, каждая из этих точек видит только около четверти сферы. Здесь возникает понятие причинно-связанных областей, то есть таких, где материя влияет друг на друга, например, передаёт энергию.

Но предшествующие этапы наверняка имели неоднородности по температуре, как же эта сфера выровнялась в нашей области Вселенной, ведь никакой энергией определенные её части не могли обмениваться? Значит, частицы, порождающие реликтовое излучение, в какой-то предшествующий момент, на ранних этапах жизни Вселенной, находились в причинно-связанной области? Кроме того, высокая плотность ранней Вселенной должна обуславливать сильное искривление пространства, каким же образом она к настоящему времени стала плоской? Ещё при сверхвысоких температурах в ранней Вселенной, согласно Стандартной модели, должны появляться так называемые магнитные монополи (например, полюс S без наличия полюса N) и они должны остаться стабильными. А их нигде нет.

И вот чтобы объяснить однородность реликтового излучения, проблему монополей и плоскотью Вселенной, несколько головастых физиков разработали гипотезу, или если угодно, теорию, называемую инфляцией Вселенной.

Примечание по ходу. Реликтовое излучение исходит от частиц на условной сфере, называемой поверхностью последнего рассеяния. Я так понимаю, что радиус этой сферы постоянно увеличивается со скоростью света. То есть сейчас (в 2025 году) мы видим свет от частиц, которые дальше примерно на 55 световых лет, чем до излучающих частиц в 1970 году. Конечно, это ничтожно мало по сравнению с 13.8 миллиардами световых лет, но кто его знает, всё же это даёт нам немного 3D картину источников реликтового излучения. Может быть, лет через 100 точных фиксаций значений излучения это даст какую-то новую информацию о процессах периода инфляции.

Теория инфляции

Основная идея теории инфляции в том, что объяснить исчезновение монополей, начальной искривлённости пространства и возникающих в начальной Вселенной неоднородностей сверхбыстрым растяжением пространства. И даже не сверхбыстрым, а сверх-сверх-сверх...-сверхбыстрым (извините за такую конструкцию!). Эта попытка получилась довольно красиво, уравнения Эйнштейна и развивающаяся квантовая физика допустили картину такого растяжения. Всё же отметим, что это до сих пор это красивое объяснение, пока не подтверждённое наблюдениями.

Первый вариант теории в 1980 году разработал Аллан Гут (США), он же назвал её теорией инфляции, и вскоре серьёзно дополнили советские физики Андрей Линде и Алексей Старобинский (последний публиковал идеи теории ещё до Гута), за что эта троица в 1914 году получила престижную премию Кавли (Нобелевскую ещё рано – инфляция Вселенной по большому счёту пока гипотеза). К 1980 году квантовая физика уже оперировала такими понятиями Стандартной модели, как кварки, лептоны, бозоны, теоретически и экспериментально было доказано, что два из четырех фундаментальных взаимодействий – слабое и электромагнитное – при достаточно высоких энергиях объединяются в одно электрослабое. Представление частиц, как проявлений полей породило понятие вакуума как некоего образования, которое кишит флюктуациями (случайными возмущениями) и может порождать пары частиц и их анти из «ничего». Пространство стало пониматься как наполнение скалярными полями различного рода, имеющими потенциал. Так, экспериментально было доказано существование Хиггсовского поля, частицы которого снабжают материю массой. Поэтому в теории инфляции сформулировано начало Вселенной, как флюктуация гипотетического исходного поля, называемого инфлатоном. Это поле должно было быть также скалярным, и оно вообще рулит всей инфляцией, обладает потенциалом, и можно говорить о параметре этого поля, как давление, и это давление предполагается отрицательным. При расширении Вселенной такое поле копит энергию, которая

нагревает Вселенную. Авторы теории инфляции рассматривали случай, когда отрицательное давление поля инфлатона должно быть равно плотности космической энергии с обратным знаком, и в этом случае отрицательное давление при расширении Вселенной компенсируется растущим разрежением частиц и фотонов. Уравнения Фридмана-Леметра в этом случае показывают, что Вселенная (точнее, метрика пространства, в котором находится Вселенная) расширяется экспоненциально, увеличивая за каждый промежуток времени линейные размеры вдвое.

Если говорить о хронологии, то в некоторых представлениях (не во всех!) всё начинает объясняться с 10^{-43} секунды начала всего, которое меряется, естественно, от 0. Промежуток от 0 до 10^{-43} никак не трактуется. Этот интервал времени относится к так называемой планковской эпохе, в которой величины, в силу квантовой природы, становятся недоступными для физики. Измерить ничего нельзя, нечем, формулы ломаются, что-то уходит в бесконечность, вероятности получаются больше единицы. В общем, наука в планковскую эпоху бессильна, но это состояние физики называют красивым словом «сингулярность». Кстати, по той же причиной они говорят о сингулярности внутри чёрных дыр.

Но для периодов после 10^{-43} секунды теории рождаются довольно бодро. С 10^{-43} по 10^{-35} идёт эпоха Великого объединения, когда электромагнитное, сильное и слабое взаимодействия сначала объединяются, а потом разъединяются. С гравитацией вопрос – сразу после эпохи Планка ей некуда деваться, должна быть сплита с тремя остальными фундаментальными силами. Но в квантовой теории гравитации нет, и поэтому физики туманно говорят, что в самом начале эпохи Великого объединения гравитация отделилась от объединённых трех других фундаментальных взаимодействий.

И вот после 10^{-35} секунды сильное взаимодействие отделяется от электрослабого, что, по представлению Гута (об этом же говорит Андрей Линде в своих лекциях [20, 21, 25], инициирует фазовый переход (вроде замерзания воды) тогдашнего вещества, и начинается Инфляционная эпоха, которая длится до отметки 10^{-32} , то есть продолжительностью тоже около 10^{-32} секунды. Расширение Вселенной происходит по экспоненциальному закону. В этот же момент в вакууме образуются точечные топологические дефекты, которые уже после инфляции, при разделении электрослабого взаимодействия, породят монополи. За время инфляции линейные размеры Вселенной увеличиваются на много порядков. В разных вариантах приводятся значения от 10^{26} до 10^{50} . Как мы видим, в инфляции участвуют как чрезвычайно малые, так и чрезвычайно большие величины. И деление очень-очень большого на очень-очень маленькое даёт такую скорость, которую я и обозвать-то не могу (сверх-сверх-сверх... большая). В дополнении я попытался посчитать эту скорость в метрах в секунду и с чем-нибудь сопоставить привычным, что получилось (точнее, что не получилось) посмотрите сами в дополнении. Очевидно, что эта скорость много больше скорости света.

Коэффициент Хаббла во время инфляции, понятно, принимает безумные значения. В процессе инфляции пространство, кроме завершающих моментов, в значительной степени пустое и холодное, если не считать потенциала инфлатона и флуктуаций в нём. Энергия скалярного поля ослабевает и к минимуму своей потенциальной энергии начинает осциллировать (колебаться), при этом выделяется энергия, что порождает частицы и фотоны. Пространство при этом растянуто до такой степени, что все изначальные неоднородности скалярного поля (инфлаторона) растягиваются так, что практически исчезают. Таким образом, после инфляции мы имеем плоскую горячую Вселенную, которая уже дальше может жить по законам Большого взрыва команды Гамова.

Во время инфляции раз за разом происходят флуктуации, которые «замерзают» и накладываются друг на друга, порождая в будущей «нормальной» Вселенной крупномасштабную иерархическую структуру «галактики – скопления галактик – сверхскопления галактик».

В какой-то момент инфляция останавливается, по крайней мере, в той части пространства, в которой через миллиарды лет окажемся мы. Теорий, почему останавливается инфляция, несколько, с уравнениями, объяснениями и пр. Но консенсуса пока нет, собственно и о том, почему инфляция началась.

После экспоненциального разбуживания во время инфляции Вселенная возвращается к степенному закону расширения (в степени $\frac{1}{2}$ от времени), и поначалу продолжает разбухать

довольно с высокими темпами, хотя с инфляционной, конечно, не сравнить. Коэффициент Хаббла через миллиарды лет принимает то значение, которое измерялись и уточнялись Хабблом и последующими исследователями на основе наблюдений за нынешней Вселенной.

Современные теории Большого взрыва здесь различают Электрослабую эпоху (10^{-32} - 10^{-12} сек), Кварковую эпоху (10^{-12} - 10^{-6} сек), Адронную эпоху (10^{-6} - 1 сек), Лептонную эпоху (1 - 10 сек), Фотонную эпоху (10 сек - 3 мин), Протонную эпоху (3 мин - 70000 лет - 379000 лет). За эти эпохи поэтапно формируются всё более сложные виды материи, рождающиеся пары вещества и антивещества аннигилируют, но благодаря нарушению одного вида симметрии (CP-симметрии) антивещество исчезает полностью, а обычное вещество остаётся, к концу Фотонной эпохи уже существуют ядра легких элементов (водорода, гелия,дейтерия, лития-7). О тёмной материи во время создания этой части теории ещё ничего не знали, откуда и как она взялась, никто не думал. До 70000 лет после Эпохи инфляции доминировало излучение, а к концу протонной эпохи свободно рыскающие протоны и электроны объединяются в атомы водорода, фотоны не наталкиваются на электроны и через 380 000 лет Вселенная становится прозрачной для света. Наполняющее пространство море фотонов перестаёт поглощаться и излучаться свободными электронами, и фотоны вырываются в свободный полёт и становятся реликтовым излучением.

Представления о размерах Вселенной (ясное дело, можно говорить только о прародителе нашей видимой Вселенной) в ранние моменты разнятся у исследователей. По некоторым представлениям в конце инфляции размер мог быть примерно с арбуз (есть оценки в один миллиметр, и в 6 метров, окончательного согласия нет), ну а перед инфляцией, понятно, по крайней мере в 10^{26} раз меньше. Это много-много-много меньше протона, но всё же на несколько порядков больше планковского минимально представимого размера $1.6 \cdot 10^{-35}$ м. К моменту появления реликтового излучения, через 380000 лет после начала всего, размер видимой Вселенной становится около миллиона световых лет.

Мы всё время говорим «Большой взрыв». Есть разночтение в том, к какому моменту его отнести. Некоторые его относят к доинфляционному моменту, кто-то сразу к послеинфляционному, когда Вселенная стала очень горячей и её дальнейшая жизнь стала вписываться в модель Гамова. Собственно для нас, нефизиков, большой разницы нет, поскольку эти два момента отделяет друг от друга всего 10^{-32} секунды.

Оставим на некоторое время главную тему космологии и рассмотрим некоторые поразительные объекты, существующие во Вселенной. Они также играют большую роль в объяснении истории Вселенной, тем более, что нам нужно хоть как-то придерживаться хронологии движения астрофизической мысли.

Чёрные дыры.

Только-только Эйнштейн опубликовал свою общую теорию относительности, как из неё стали получать удивительные теоретические выводы. Так, Карл Шварцшильд в качестве одного из решений уравнений ОТО в 1914 году получил понятие, которое сейчас называется чёрной дырой. Это объект, масса которого ужата настолько, что она вся находится внутри некой воображаемой сферы, для которой вторая космическая скорость равна скорости света. То есть у этого объекта ничего не будет вырываться наружу, даже свет. Объект будет только всасывать в себя массы и энергию извне.

Шварцшильд вывел формулу для радиуса сферы, внутрь которой нужно втиснуть массу невращающегося небесного тела, чтобы оно стало чёрной дырой. Формула так и называется, радиуса Шварцшильда, или гравитационный радиус. Формула очень простая:

$$r_g = 2GM/c^2,$$

где G - гравитационная постоянная, M - масса тела, C - скорость света.

По этой формуле, чтобы стать чёрной дырой, Земле нужно поместиться внутрь сферы радиусом меньше 9 мм, Солнцу – внутрь сферы радиусом 2953 метра.

Шварцшильд вообще-то вывел более сложные вещи, например, как будет выглядеть течение времени для наблюдателя, падающего в чёрную дыру, и для постороннего наблюдателя. Интересно, что для стороннего наблюдателя время падения персонажа, падающего на чёрную

дыру будет замедляться при приближении к гравитационному радиусу и стремиться к бесконечности, а падающий в чёрную дыру наблюдатель будет ощущать время обычным образом, но, увы, пересечения сферы горизонта событий он, скорее всего, не дождётся: разность гравитации, скажем, для ног и головы, разорвёт беднягу на атомы. Впрочем, для сверхмассивных чёрных дыр эта разница не так велика, и наблюдатель, может быть, живьём окажется внутри горизонта событий.

Забавно, что Шварцшильд (Schwarzschild) с немецкого переводится как «чёрный щит», наверно, с идиш будет также.

Реальное существование чёрных дыр во времена Шварцшильда (увы, он, переживший сражения Первой мировой войны, подорвав здоровье, умер в том же 1916 году) трудно было представить, как могла получиться чёрная дыра, только что узнали, что у атома есть ядро, по сути не был ещё открыт даже протон, а квантовая механика появится только через 10 лет, а о ещё более элементарных сущностях, кварках, да бозонах и не помышляли. А вычисляемая плотность наблюдаемых звёзд далеко не позволяла ужаться внутрь горизонта событий. Так, звезда по имени Солнце имеет плотность $1.4 \text{ г}/\text{см}^3$ - лишь в полтора раза больше плотности воды, более чем в 10000000000000000 раз меньше нужной плотности.

Только с развитием квантовой механики и ядерной физики в 30-е годы стали теоретически представлять плотные объекты, размер которых был близок к сфере с радиусом Шварцшильда (но несколько всё же больше). Так, в 1931-32 годах наш Лев Ландау предложил понимание таких плотных звёзд, в 1932 году открыли нейтрон, а в 1933 Вальтер Бааде и Фриц Цвикки сделали строгое предсказание объектов, где ядра атомов приходят в плотное соприкосновение, отрицательно заряженные электроны вступают в реакции с положительно заряженными протонами, при этом протоны превращаются в нейтроны, и вылетают из звезды огромное количество нейтрино. Отсутствие электрического заряда нейтронов позволяет гравитации удерживать их в сверхплотном состоянии. Назвали такие объекты **нейтронными звёздами**, поскольку такие звёзды должны состоять почти из одних нейтронов. Какая-то часть протонов и электронов всё же сохраняется, преимущественно во внешних слоях, и их наличие обеспечивает стабильность нейтронной звезды, а также неимоверно мощные магнитные поля, ведь благодаря на порядки уменьшившийся радиус начальной звезды во много раз увеличивает скорость вращения нейтронной звезды.

К настоящему времени теория нейтронных звёзд достаточно хорошо продвинута, и этот объект психологически интересен. Он, в отличие от чёрных дыр или начального состояния Вселенной, в пределах существующих моделей квантовой физики, поэтому его можно мысленно и теоретически представлять (температуру, чудовищную плотность, магнитное поле, что излучает и т.д.) и вслать удивляться его необычным свойствам. Масса нейтронной звезды ограничена сверху и снизу: когда меньше 1.1 массы Солнца - нет условий для родительской звезды взорваться сверхновой, а если больше 2.1 - взрыв родительской звезды породит чёрную дыру. Отсюда и радиусы нейтронных звёзд лежат в пределах примерно $11 - 12$ км. Представляете: звезда тяжелее Солнца, а её размер одного порядка с горой Эверест, на вершину которую масса людей залезли ножками.

Практически же открытие первой нейтронной звезды состоялось только в 1967 году, и это составило настоящий детектив. Английская аспирантка Джоселин Белл обнаружила, что нечто излучает радиоволны, причём периодические, с частотой чуть чаще одного раза в секунду. Правительство переполошилось - ясен пень, это сигналы внеземного разума! Засекретили – вдруг оттуда пойдут технологические ништяки, не делиться же ими с кем попало! Стали разбираться. Тут такие пульсирующие объекты (их так и навали: **пульсары**) стали открывать косяком, причём у некоторых частота была на порядки выше. Рассекретили, астрофизики стали разбираться. Предположили, что это вращающаяся звезда крутит своё магнитное поле. Но при такой скорости обычную звезду разорвёт центробежная сила. А вот нейтронные звёзды с очень маленькими размерами годятся. Так и порешили, что пульсары – это нейтронные звёзды. Правда, позже в качестве пульсаров с частотой поменьше выступили ещё и **белые карлики**.

В 1999 году был открыт пульсар, делающий более тысячи оборотов в секунду!

Вернёмся к чёрным дырам. Даже Шварцшильд и Эйнштейн не считали возможным их реальное существование, воспринимали как математический фокус. Но физика развивалась, выше

я написал, что теоретически предсказали нейтронные звёзды. Те же Бааде и Цвики обосновали, что нейтронные звёзды могут получиться в результате взрыва сверхновых. Ну, а что если масса взрывающейся сверхновой много больше массы Солнца? А в этом случае гравитационное сжатие вещества пройдёт дальше состояния нейтронной звезды, и на определённом расстоянии от центра масс появится горизонт событий, рассчитанный Шварцшильдом, с радиусом в тот самый радиус Шварцшильда. А вот что за состояние у вещества внутри этого радиуса, никто сказать не может.

Размышляя о чёрных дырах, мне, нефизику, многое неясно. Да, что-то происходит внутри сферы с радиусом Шварцшильда, но совсем непонятно, что же происходит. Там не работают нынешние физические теории. Где там вещество, какова его плотность, и вообще, корректно ли говорить о плотности, что там происходит со временем - ничего нельзя сказать. Информации оттуда никакой не может прийти. Но вот что-то же приходит! Во-первых – гравитация. Работает исправно, хоть по Ньютоновски, хоть по Эйнштейновски, то есть масса чёрной дыры – есть, совпадает с той массой вещества, которая внутрь залетела, искривляет пространство вне сферы вполне по законам ОТО. Более того, чёрная дыра может вращаться, и это вращение влияет на пространство вне сферы горизонта событий. По ОТО вращающаяся масса как бы вращает и гравитацию, типа закручивает пространство («увлечение системы отсчёта»). Если у Земли это заметно чуть-чуть (подтвердили тонкими экспериментами), то массивная чёрная дыра создаёт вне горизонта событий (но вплотную к ней) так называемую эргосферу. Космический корабль, подлетающий перпендикулярно к горизонту событий, по мере приближения к чёрной дыре, начинает закручиваться вокруг чёрной дыры, и, попав внутрь эргосферы (но будучи ещё вне горизонта событий), уже не может остановить вращение, даже с какой угодно мощностью двигателя. Время выкидывает какой-то фокус, «закручивается» по эргосфере. Но направив тягу в нужном направлении, космический корабль ещё может вырваться из лап чёрной дыры.

В общем, чёрная дыра втягивает и втягивает в себя материю. Казалось бы, любая чёрная дыра со временем только увеличивается в массе и будет существовать вечно, или, по крайней мере, до конца жизни Вселенной (есть разные модели её, Вселенной, конца). А вот и нетушки! Гениальный физик и фантастический человек (парализованный донельзя, статьи писал дерганьем щеки!) Стивен Хокинг показал, что чёрные дыры испаряются. Механизм испарения довольно хитромудрый. Хокинг рассуждал в терминах квантовой теории поля, в которой физический вакуум такая штука, которая постоянно кипит рождающимися и тут же исчезающими флуктуациями различных полей (или, если угодно, виртуальными элементарными частицами). Но если в какую-то точку будет воздействовать мощная внешняя сила, то из вакуума рождается пара частица-античастица. Если рядом нет чёрной дыры – то происходит аннигиляция и новых частиц нет. Но вот в непосредственной близи горизонта чёрной дыры!!! Гравитация служит той самой внешней силой, из вакуума рождается пара частиц, и одна может улететь внутрь горизонта событий и будет из закона сохранения обладать отрицательной энергией, а другая частица, которая улетит прочь от чёрной дыры (в подавляющем случае это фотон, естественно, со скоростью света), будет обладать положительной энергией, и эта энергия, по сути, почёрпнута от чёрной дыры. Эйнштейн сказал, что энергия есть суть масса, и чёрная дыра, таким образом, теряет массу-энергию, то есть постепенно испаряется. Эти улетающие частицы назвали излучением Хокинга.

Вышеприведённый абзац – интерпретация самого Хокинга, и некоторые умные физики говорят, что она (интерпретация) неточна. Но Хокинг описал это явление красивыми формулами, и вот в формулах-то причиной излучения является искривление пространства, но мы, нефизики, в эти тонкости вдаваться не будем.

Формулы Хокинга ещё показывают, что температура излучения обратно пропорциональна массе чёрной дыры, то есть чем меньше чёрная дыра, тем быстрее она испаряется. Классические чёрные дыры, получающиеся в результате эволюции звёзд, будут жить многие миллиарды лет, до конца жизни Вселенной, а микроскопические, меньше атома (такие тоже могут рождаться от столкновения частиц высоких энергий!), будут исчезать за маленькие доли секунды. Особый интерес представляют чёрные дыры с массой порядка астероидов. Предполагается, что такие чёрные дыры могли появиться при рождении Вселенной, из начальных неоднородностей вещества как раз такой массы, и эти чёрные дыры в наше время могут как раз завершать свое испарение, экспоненциально увеличивая интенсивность и температуру излучения. Это будет

выглядеть как взрыв миллионов водородных бомб, мощное излучение будет в основном в высокочастотной части спектра, и если это удастся зафиксировать, то это превратит гипотезу Хокинга в теорию. С 2008 года на орбите вокруг Земли летает гамма-телескоп Ферми, и вот он может увидеть такие вспышки. Но пока не увидел.

Большой адронный коллайдер (БАК, который в ЦЕРНе) теоретически может порождать микроскопические чёрные дыры. Публика при его, коллайдера, строительстве стала опасаться, что такая дыра упадёт в центр Земли и всех нас в себя засосёт. Создатели коллайдера стали ссылаться на Хокинга, на энергетические космические лучи, мол, такая чёрная дыра моментально испарится, но, помнится, в голове крутились слова из песни: «А что, блин, если нет?!». Но коллайдер запустили, он уже проработал полтора десятка лет, и, слава Богу, ничего такого не случилось.

Квазары.

Мы ощущаем Солнце как мощнейший источник энергии. Но оказывается, что это довольно слабенькая звезда, и есть звёзды, у которых размеры, масса и мощность излучения (светимость) много больше солнечной. Например, красный гигант в созвездии Лебедя имеет линейные размеры в 2775 больше солнечной, светимость превосходит солнечную в 270000 раз.

Иногда вспыхивают сверхновые, и их яркость может в течении нескольких дней превышать солнечную в несколько миллиардов раз! Но если Вы думаете, что это самые мощные условно точечные источники света (то есть целостный объект, а не совокупность звёзд типа галактики), то ошибаетесь. Астрономы наблюдают компактные источники излучения видимого света, светимость которых в десятки и сотни триллионов раз выше солнечной, то есть в тысячи и миллионы раз ярче сверхновых, при этом они не гаснут через несколько дней, а светят постоянно. Это **квазары**.

Первый квазар был обнаружен в 1960 году как объект со странными свойствами, производящий широкий спектр излучений, причём в основном не в видимой части спектра. Поначалу пытались его трактовать как звезду, но обнаружение новых объектов показало, что их спектры сильно смещены в красную сторону, и это достаточно далёкие и очень яркие источники. Не вдаваясь во всю историю понимания природы квазаров, опишем современное понимание.

Квазар – это элемент галактики в первой фазе развития. Когда огромная масса газа, в основном водорода, начинает группироваться в облако, в его центре оказывается сверхмассивная чёрная дыра. Их появление как массивных объектов в самые ранние моменты Вселенной пока непонятно, есть разные предположения. Собственно, похоже, сверхмассивная чёрная дыра и является зародышем сгущения грандиозного облака, которое позднее превратится в галактику. Чёрная дыра всасывает этот газ в огромных количествах, и вещество, стремящееся в дыру, из-за имеющегося вращательного момента, закручивается вокруг центра галактики – собственно, чёрной дыры, в так называемый аккреционный диск. При приближении к горизонту событий газ движется с околосветовой скоростью, и вследствие вязкости испытывает колossalное трение, вследствие чего нагревается до огромных температур и производит излучение в широчайшем спектре. В энергию излучения может преобразоваться от 6 до 32 процентов падающего газа, то есть ощутимая доля протогалактического облака. Для сравнения, в звёздах типа Солнца, в излучение переходит не более одного процента массы изначального газа в звезде. Как уже отмечалось выше, энергия излучения квазара в триллионы раз превосходит энергию светимости Солнца, и в тысячи раз светимость всех звёзд Нашей Галактики. При этом зона излучения квазара может оставаться очень компактной, около нескольких световых часов, то есть порядка размеров Солнечной системы.

Кроме этого сумасшедшего излучения, аккреционный диск квазара из-за возникающих магнитных полей этой, по сути плазмы, порождает две струи перпендикулярно плоскости диска. Струи эти являются мощнейшими релятивистскими (околосветовых скоростей) потоками, видимо, протонов и электронов, и называются джетами. Не дай Бог Вам оказаться на пути таких джетов! Они способны разнести в клочья близлежащие галактики!

Со временем чёрная дыра съедает всю материю, которая может на неё упасть, остаются родившиеся звезды и межзвездный газ, вращающийся вокруг центра галактики по эллиптическим орбитам, и квазар гаснет, прожив, видимо, всего около миллиона лет, галактика позднее становится спокойной и неактивной.

Художественное изображение одного из квазаров представлено на рисунке 3.



Рисунок 3. Художественное изображение квазара ULAS J1120+0641 (из Википедии)

Аккреционные диски и джеты бывают не только у квазаров, но и у некоторых отдельных видов звёзд, но, конечно, они не сравнятся по мощности с квазаровскими.

Я прикинул, что бы мы видели, если средний квазар в десять триллионов излучений Солнца был бы в центре соседней галактики, Туманности Андромеды, на расстоянии 2.5 миллиона световых лет от нас. Джеты, кстати, не были бы направлены к нам, так как плоскость диска этой галактики наклонена к нам под 15 градусов. Мы бы видели этот объект без красного смещения, в том числе без искажений воспринимали её видимый свет, и яркость этого квазара бы больше яркости самой заметной звезды на небе, Сириуса, и в раза два превышала бы светимость самой яркой (в вечернее время) планеты – Венеры. А если бы квазар находился в центре Нашей галактики, в 100 раз ближе, чем в Туманности Андромеды, то был бы в 10000 раз ярче. Конечно, это много больше яркости Луны, но всё же не так критично – в 700 раз меньше яркости Солнца. Видели бы и ночью, и днём, но тепла бы не чувствовали. Примерно с такой яркостью видно Солнце с Плутона.

Квазары находятся в ядрах активных, молодых галактик, с интенсивным звездообразованием, то есть, как правило, вскоре после рождения Вселенной. Поэтому они редки вблизи Земли, у нас по соседству солидные по возрасту галактики, а поскольку свет от молодых галактик идет к нам миллиарды лет, то и их квазары находятся от нас далеко. Из-за космологического красного смещения их спектры тоже смешены вправо. Самый близкий к нам квазар находится на расстоянии 2.5 миллиарда световых лет, а вот самый дальний – на расстоянии больше 13 миллиардов световых лет, и существовал уже через 670 миллионов лет после Большого взрыва. И это загадка, поскольку для классического роста массы сверхмассивной чёрной дыры после рождения посредством взрыва сверхновой, путём всасывания окружающей материи, требуется гораздо больше времени.

Теоретически квазары могут родиться и в более поздние времена после Большого взрыва. Например, при столкновении двух галактик и слиянии их центральных сверхмассивных чёрных дыр, в окрестности нового центра может оказаться достаточно материи, и они могут образовать аккреционный диск и, соответственно, новый квазар.

Ну ладно, к концу 20 века с Большим взрывом научная общественность согласилась, её прорехи стали объяснять гипотезой инфляции, развивать её и совершенствовать. Но технологии не стояли на месте, астрономы получали всё более точные и могучие средства наблюдений: и обработки огромных потоков данных (ясен пень, компьютеры, всякие ПЗС-матрицы, заменяющие сетчатку человеческого глаза), телескопы на земле и космосе, и эти наблюдения стали предоставлять физикам (которые поневоле стали астрофизиками) новые безумные факты. Конечно, самые существенные – это два «тёмных» явления: тёмная материя и тёмная энергия.

Тёмная материя

Справедливости ради нужно сказать, что подозрения о существовании «невидимой», помимо свящающейся материи возникли достаточно давно, ещё в 30-е годы 20-го века. Но наиболее убедительным стало обнаружение несоответствия скорости вращения звёзд вокруг центров

галактик согласно оценке масс вещества и их распределения в галактике. Слишком медленно двигались звёзды, очевидно было существование какого-то гравитационно значимого гало вокруг видимого, светящегося тела галактик. И это гало состоит из невидимого вещества. Но оно гравитационно очень активно, в частности, создаёт гравитационное линзирование галактик, расположенных за собой, их излучение визуально дробится на несколько спектрально одинаковых объектов из-за искривления пространства массой тёмного вещества. Как традиционно принято в космологии, названия явлениям даются неудачные, назвали это вещество тёмной материей. Но оно оказалось мало того, что невидимым, но ещё и прозрачным, то есть противоположным понятию «тёмное». Оно не имеет электромагнитной составляющей. Это подтвердилось наблюдением прохождения двух галактик через друг друга и исследования гравитационного линзирования окружения пары этой галактик. Так вот, светящаяся материя влияет друг на друга, давя излучением и иногда сталкиваясь, и изменяет движения (ясное дело, на небольшие доли процента), а невидимая проходит через друг друга и светящуюся часть, как показывают образованная ими гравитационные линзы, совершенно беспрепятственно. Таким образом, тёмная материя не имеет не только электромагнитного взаимодействия, но и сильного. Со слабым вопросом.

Произведённые оценки показали, что количество тёмной материи во Вселенной в 5-6 больше привычных уже звезд, межзвездного газа, чёрных дыр и летающих туда-сюда фотонов, считая в единицах масса-энергия. Конечно, когнитивный шок, как же это, всё было замечательно, вот столько хорошего вещества пооткрывали, всякие там кварки, бозоны, лептоны, и вдруг это небольшая часть того, что вокруг гравитирует!

Пришлось дать какое-то название традиционной материи. Назвали барионной, поскольку по квантовой теории привычная видимая материя в основе имеет барионы – семейство элементарных частиц, в частности, таковыми являются протоны и нейтроны.

Ну а что же из себя представляет тёмная материя? До сих пор (до 2025 года) ответа на этот вопрос нет. Версий множество, начиная с того, что её вовсе нет, а законы физики не такие вдали от Земли, и то, что это мелкие и крупные чёрные дыры, или вездесущие нейтрино. Но физические модели и наблюдения делают большинство предположений маловероятными. Пожалуй, наиболее непротиворечива попытка расширить набор частиц Стандартной модели. Придумали частицу ВИМП, которая хорошо вписывается, в частности, в теорию инфляции Вселенной (оно и понятно, ведь это как надо придуманная частица ☺). ВИМП в несколько десятков раз тяжелее протона, обладает не только гравитационным, но и слабым взаимодействием, поэтому её теоретически можно обнаружить, закопавшись поглубже от всяких помех под землю. Исследователи из коллaborации (коллаборация – это типа объединения специалистов и средств из разных организаций) DAMA в 2008 году утверждали, что они поймали проявления ВИМПов, но пока никому повторить этот успех не удалось. Так что ждёмс.

Тёмная энергия (и ускоренное расширение Вселенной)

Если думаете, что для нас, барионов, унижения на этом закончились, то вы ошибаетесь. Наши, какказалось, всё же ощутимые 17 – 20 процентов Вселенной в самом конце 20 века ушли в жалкие 5 процентов. Ну, всё по порядку.

В 1998 году Сол Перлмуттер, Брайан Шмидт и Адам Рисс обнаружили, что для очень далёких галактик расстояния, измеренные посредством «стандартных свечей» - сверхновых типа Ia, оказываются дальше, чем измерением космологического красного смещения, причём чем дальше галактика, тем эта разница больше. То есть получается, что Вселенная с какого то момента расширяется не с замедлением (из-за гравитационного стягивания материи), а с ускорением! Измерили характеристики для галактик близких, среднего удаления, далёких, таки да, получается так, что примерно 7.6 миллиардов после Большого взрыва лет расширение Вселенной шло с замедлением, а потом стало ускоряться, и ускоряется уже 6.2 миллиарда лет, вплоть до сегодняшнего дня!

То есть шесть с лишним миллиарда лет назад включилась какая-то сила, которая стала действовать как антигравитация, и стала давить на пространство в направлении «вовне». Ну физики такой народ, что теории появятся тут же. Основной стала такая, которая говорит о некой «тёмной энергии» которая была присуща пространству всегда, она имеет отрицательную

плотность, пока плотность вещества во Вселенной (положительная) была сильнее, она Вселенная тормозилась. Но с расширением Вселенной плотность вещества уменьшается, а у тёмной энергии почему то остаётся постоянной, и ясень пень, тёмная энергия дождалась своего часа преобладания над гравитацией, и начала расширять Вселенную всё с большим ускорением.

Поскольку физики давно привыкли, что энергия и масса это одно и то же, можно было оценить количество этой тёмной энергии и сравнить её с количествами барионной и тёмной материи. Так вот по нынешним, 2025 года, оценкам, её – 69 процентов от всего, что есть во Вселенной. Получается что нас, барионной материи, около одной двадцатой доли! Диаграмма того, сколько чего во Вселенной – на рисунке 4. Немного утешает, что тёмной материи тоже нос утерли ☺

Что забавно, хотя о природе тёмной энергии неизвестно ровным счётом ничего, она по своему поведению и параметрам идеально ложится в уравнения общей теории относительности Эйнштейна в качестве пресловутого параметра Λ (лямбда), или космологической постоянной, которая Эйнштейну в своё время попортила кровь. Поэтому многих физиков природа тёмной энергии вовсе не заботит. Дескать, мы же давно работаем с пространством по уравнениям Эйнштейна, так вот Λ - это врождённая компонента уравнения и объяснения не требует. Вы же не требуете толкования гравитационной постоянной G в законе всемирного тяготения Ньютона!

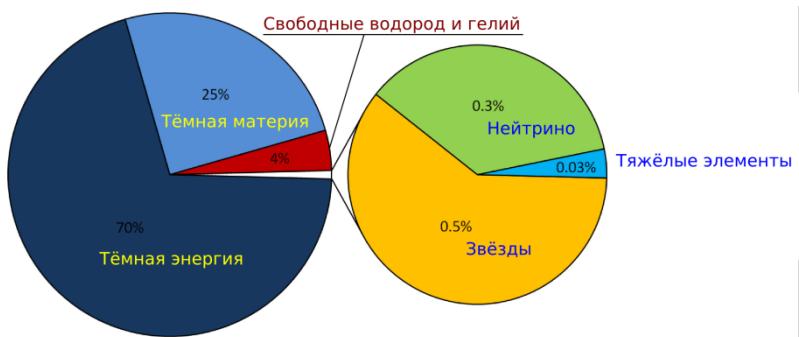


Рисунок 4. Представление о составе Вселенной (к 2025 году), из Википедии

О дальнейшем развитии Вселенной

К концу 20 века сложилось развёрнутое представление о дальнейшей жизни Вселенной. Пространство Вселенной продолжало раздуваться-расширяться, но уже с некоторым замедлением, так как гравитация всех частиц Вселенной работала на торможение, коэффициент Хаббла постепенно уменьшался. Сразу после рекомбинации 170000 лет продолжались «Тёмные века», так как водорода и гелия было полно, но звёзды ещё не образовались, светить было нечему, и во Вселенной гуляли только фотоны реликтового излучения. Затем неоднородности плотностей водорода стали приводить к их сгущениям, уплотнения образовывали газовые скопления-шары, гравитация их уплотняла всё больше и больше, в центре шара возникала давление и температура, достаточные для термоядерной реакции (не взрывного типа, а на более стационарных с проявлением туннелирования), и стали вспыхивать первые звёзды. Они объединялись в галактики, скопления и сверхскопления галактик. Часть звёзд первого поколения взрывались, как сверхновые, при этом образовывались межзвездные облака пыли и газа, включая элементы всей таблицы Менделеева. Эти облака вновь сгущались и образовывали новые звёзды с планетарными системами, включающими планеты с запасами всего – кремния, железа, меди, урана и так далее. Примерно через 9 миллиардов лет после Большого взрыва образовалось Солнце с Землей и другими планетами. Правда, до 1995 года, когда открыли первую экзопланету (планету не в Солнечной системе), вопрос о наличии планет вне Солнечной системы был открыт, но затем обнаружения экзопланет пошли косяком, и к 21 веку уже было ясно, что образование звезд с планетарными системами – типичное явление.

В общем, в целом было достаточно уютное представление о Вселенной, о материи, в ней, содержащейся, но тут наблюдатели преподносят теоретикам тёмную материю и тёмную энергию. Рисовали общую картинку расширения Вселенной, вроде бокала для вина, которая от ножки резко расширяется, а потом начинает расширяться умеренно и постепенно начинает сужаться. Вселенная после середины своей жизни решила расширяться ускоренно! В результате уже нужно

рисовать картину метрики видимой Вселенной, как на рисунке 5. Уже не бокал, а старомодная ваза для цветов.

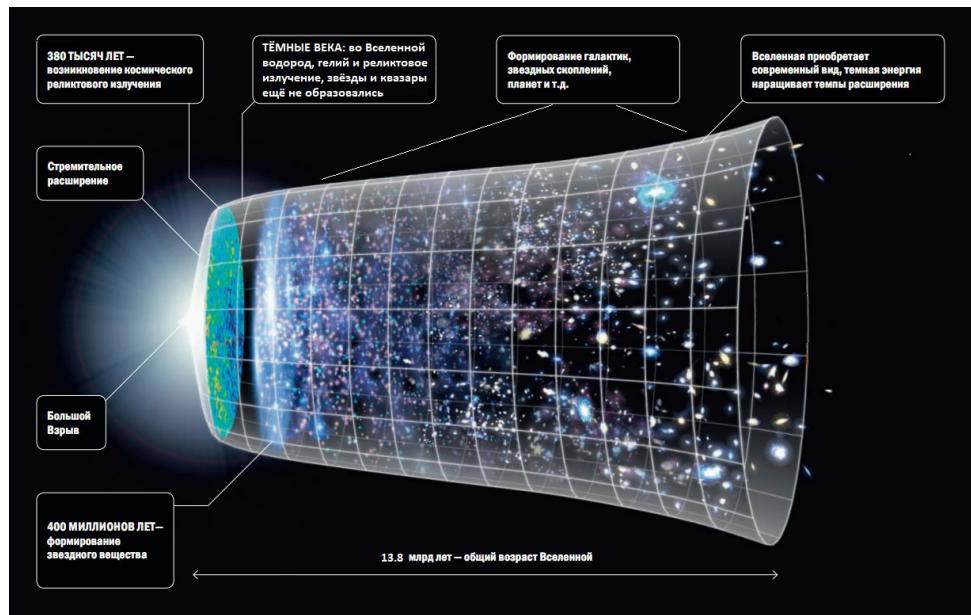


Рисунок 5. История видимой Вселенной. Из интернет, отредактировано.

Заметим, что слова «Вселенная» на рисунке 5 означают только видимую Вселенную. К 21 веку чётко осознавалось, что за видимой частью, за сферой реликтового излучения, существуют ещё области Вселенной, не исключая её бесконечный размер. Из-за масштабности на рисунке не получилось пометить эпохи возникновения вещества, атомов первых элементов, горячей Вселенной, рекомбинации водорода и момента возникновения прозрачности Вселенной. Всё это сразу после стремительного расширения, то есть космической инфляции.

Что будет со Вселенной через многие миллиарды лет, до конца неясно. Так, описывается тепловая смерть Вселенной. Вначале через 10^{14} лет в галактиках закончится межзвездный газ и прекратится звездообразование, существующие звёзды исчерпают свою энергию и превратятся в то, во что какой звезде положено, далее наступит «эпоха распада», когда останутся только белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры, ещё через 10^{40} лет наступит «эпоха чёрных дыр», когда останутся только чёрные дыры. Но и они в конце концов по Хокингу испарятся, и через 10^{100} лет (то есть через гугл лет!) грядёт «эпоха вечной тьмы». Но это при сравнительно равномерном расширении Вселенной. При определённых характеристиках тёмной энергии (параметра $\omega < -1$, равного отношению давления тёмной энергии к её плотности), при достаточно высоком темпе ускоренного расширения, возможен сценарий «Большого разрыва». В этом сценарии видимые галактики, затем и звезды Нашей галактики будут уходить условно от нас (то есть места, где сейчас Земля) за горизонт событий, гравитация космических объектов будет уступать тёмной энергии, распадутся галактики, затем планетарные системы, затем сами планеты, и очередь дойдет даже до молекул и атомов, перестают работать физические законы и наступает сингулярность. Если бы ω было равно -1.5 , то Большой разрыв наступил бы через 22 миллиарда лет ($2.2 \cdot 10^{10}$), то есть гораздо-гораздо раньше конца предыдущего сценария. Но нужно сказать, что измерения ω дают значение очень близкое к -1 , физики пытаются понять, всё же есть ли какие-то отклонения в большую или меньшую сторону, и в настоящее время нельзя сказать ничего определённого. Так и неясно, что же будет с нами через несколько десятков или сотен миллиардов лет ☺.

Нужно сказать, что астрофизики-теоретики не теряются от новых неожиданных данных. Вдруг оказывается, что наличие тёмной энергии и тёмной материи даже восполняют пробелы и недостатки ранее существующих моделей!

Снова об инфляции и развитии Вселенной

Тут нужно сказать, что к моменту создания теории инфляции научное сообщество мыслило о единой Вселенной, и в вышеприведённых рассуждениях воспроизведены построения предложений, свойственные этой парадигме. Да, было понятно, что мы можем говорить о размерах и характере только видимой Вселенной, что есть другие части Вселенной за горизонтом наших событий, но вся Вселенная может быть очень большая, может быть даже бесконечной (тут популизаторы переходили на шёпот и нервно оглядывались – их нефизическая общественность и даже часть физической просто бы не восприняла). Так, по одному из вариантов неоднородность начальных кусочков Вселенной при их возникновении была, но пространство Вселенной вдруг стало расширяться с такой скоростью, что наша видимая Вселенная оказалась результатом растяжения одной причинно-связанной области доинфляционной эпохи.

Но создатели теории инфляции уже тогда свободно рассуждали о вариантах, когда в массе Большой Вселенной при начале начал могли существовать «пузыри» – прародители многих вселенных, причём в каждом из них могла формироваться вселенная со своим набором физических законов. В этом случае, как мне представляется, Наша Вселенная, как и любая другая, имела бы реальные границы, и если бы наш горизонт событий не был бы погружен в изотропную область внутри пузыря, мы бы могли видеть эту границу, возможно, что-то за ней, и картина на небосводе в разные стороны заметно или даже кардинально бы различалась.

Мультивселенная

Но множественность вселенных, или понятие мультивселенной, вытаскивается физиками не просто так. Дело в том, что при рассмотрении физических законов и констант Нашей Вселенной поражает их настроенность на существование как Нашей Вселенной, так и окружающего физического мира в целом. Так, если бы масса электрона была бы на пару процентов больше или меньше, то даже молекула водорода не могла бы стабильно существовать: электрон не мог бы находиться в окрестности атома-протона, или бы в мельчайшие доли секунды улетел бы в чёрт знает куда, или бы упал на атом. И так с множеством других стандартных величин: массы и другие характеристики элементарных частиц, электрический заряд электрона и протона, гравитационная постоянная, скорость света – можно перечислять больше сотни. Причём физические константы никак с друг другом не связаны, каждая константа имеет значение сама по себе. Ещё Эйнштейн этим мучился, считал, что должен быть физический закон, который увязывает все физические константы между собой. Всю жизнь пытался создать единую теорию поля, но ничего у него не получилось. Причём эта байда не только в квантовом мире, но и в глобальном измерении тоже. Например, если бы плотность вещества/энергии во Вселенной не равнялась с точностью в 1 процент критической плотности, то Вселенная не была бы плоской. А если бы космологическая постоянная (отношение плотности тёмной энергии к критической плотности энергии-массы Вселенной), была меньше 0, её не хватило бы для преодоления силы гравитации, и Вселенная сейчас не расширялась бы, а давно коллапсировала. В общем, насчитывают около 150 величин в квантовом и глобальном мире.

До поры до времени учёный народ не парился с этими фундаментальными величинами. Ну измерили массу протона или скорость света, и хорошо, заложили это в кучу выведенных и проверенных формул, и на их основе делаем всякие полезные ништяки. И где то только к середине 20 века особо яйцеголовые стали чесать затылки: а чего же они такие? И самое главное, если они немного не такие, то нашего мира не будет!

Сначала возникло понятие тонкой настройки Вселенной и антропного принципа. То есть Вселенная не только очень точно настроена в своих квантовых и астрономических параметрах, чтобы существовать, но она ещё устроена так, что возникает наблюдатель, по сути человек на матушке Земле, которая оказалась по своим свойствам идеальной для него. И смотрит на окружающий мир, сиречь Вселенную, и диву всему даётся. Вы, наверно, обратили внимание, что в слове «антропный» есть корень «Антропо», в это от греческого ἄνθρωπος — «человек». И тут никуда не уйти от разумного замысла. Следовательно, есть супер-могущественный Творец,

обитающий вне наших физических законов, и тут остаётся только подобно Ньютону, искать истину в Библии.

Учёные с атеистическим мышлением пошли по другому пути, и один из пионеров этого направления – наш, хотя он сейчас и американец, Андрей Линде, который уже появлялся в этой статье. То есть физические параметры и принципы Нашей Вселенной получились случайно. А раз случайно – из множества других вариантов рождения других вселенных, с другими физическими параметрами. Причём, если варьировать эти параметры, то наша вселенная выбирается из не менее, чем из 10^{500} других вселенных!

Более того, в своих лекциях Андрей Линде говорит о возможности непрерывной инфляции, когда флуктуации поля внутри одной из вселенных рождает новый процесс инфляции и от существующей вселенной отпочковывается новая вселенная. Он даже изобразил это в компьютерной иллюстрации (рисунок 6). Мне, правда, вселенные на картинке кажутся слишком стабильными, всё-таки большинство из них должны были бы очень быстро сколлапсироваться в сингулярность, или раздулись бы и растворились между вселенными. Хм, как говорится, «Сам-то понял, что сказал?» Всплывает вопрос, а что можно сказать о субстанции, в которой пузырятся рождающиеся вселенные? Можно что-то сказать о её геометрии, топологии, есть ли там нечто, похожее на время, или что-то, обобщающее причинно-следственные отношения? Ведь не зря же, наверно, Линде написал слева-сбоку «TIME».

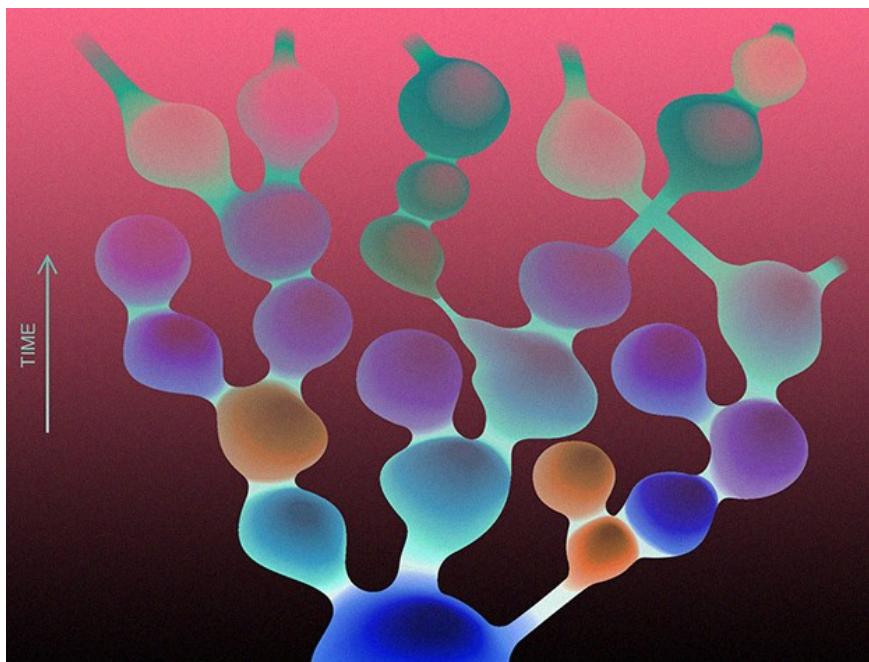


Рисунок 6. Развитие мультивселенной по Андрею Линде

Но с теорией (или теориями, их не одна) мультивселенной возникает большая проблема. Дело в том, что в силу конечности скорости света, а значит, скорости распространения информации, мы, как наблюдатель на Земле, не можем получить никаких сведений о том, что происходит за сферой, совпадающей с источниками реликтового излучения. То есть нельзя эту теорию подтвердить или опровергнуть опытными, наблюдательными данными. А до сих пор считалось, что теория является научной, если существует теоретическая возможность её опровергнуть или установить границы её применимости на основе эмпирических данных. Это называется фальсифицировать теорию. И получается, что теории мультивселенных ненаучны, потому что теоретически невозможно получить эмпирические факты о том, что происходит вне сферы реликтового излучения.

Хитромудрый Андрей Линде с этим не согласен. Он ссылается на Шерлока Холмса, который говорил: «Если исключить невозможное, то, что останется, и будет правдой, сколь бы невероятной она ни казалась». Сам Линде также говорит, что не все идеи умерли, потому что были

фальсифицированы эмпирическими данными (то есть эти теории не подтверждались наблюдениями). А умерли, потому что появились новые, более лучшие идеи.

Впрочем, есть исследования, что тонкая настройка – неверное заключение. Так, астрофизик и философ Виктор Стендже в 2000 году создал программу MonkeyGod («Обезьяний бог»), и показал, что можно подбирать некоторые параметры вселенных так, что примерно в половине случаев в таких вселенных звезды будут жить более миллиона лет, и вполне возможно возникновение жизни. Впрочем, отсылаю к большой нетривиальной статье [27], в которой идет разбор научных и философских вопросов параметров и физических принципов в аспекте вопросов возникновения Вселенной, а также жизни и разума в ней.

Замечание. Гипотезу (по А.Линде – теорию) мультивселенных не следует путать с идеей множественности параллельных Вселенных. Это понятие возникло из необъяснимого уже 100 лет парадокса квантовой физики, наиболее драматично изложенной в мысленном эксперименте «Кот Шредингера» (не буду излагать, жалко кота, посмотрите в интернет). В результате коллапса волновой функции наблюдатель видит только одну из двух возможных развития событий: кот или жив, или мёртв. Но усложнения этого мысленного эксперимента (наблюдатель открывает клетку через неделю после прилета фотона, и, соответственно, коллапса волновой функции) приводят к абсурду: в течение недели кот в клетке и не жив, и не мёртв. Чтобы разрешить этот парадокс, предполагается, что при коллапсе функции наша Вселенная расщепляется на две, и в одной кот жив, в другой мёртв. И в каждой вселенной свой наблюдатель. Если учесть, что во Вселенной выходы частиц из суперпозиции нескольких своих состояний происходит миллиарды миллиардов раз за мельчайшие доли секунды, то сколько же должно породиться параллельных вселенных? И куда они порождаются, в какие пространства, в какое измерение?

Заключение

Пожалуй, на этом я остановлю своё почти хронологическое изложение. Тем более, что Интернет всё интенсивнее наполняется сведениями о новейших астрофизических данных, и имеется достаточное количество замечательных каналов, в которых берутся интервью компетентных учёных, в русскоязычном сегменте выступают замечательные популяризаторы: Алексей Семихатов, Борис Штерн, Владимир Сурдин. Их довольно много, не могу не упомянуть выпускника моей альма-матер, Новосибирского государственного университета, Иванова Игоря Пьеровича, тем более, что он ссылается на своего первого гуру в физике, моего хорошего знакомого, Виталия Ткаченко. Написаны интереснейшие книги, их можно купить, их можно скачать по интернет. Более того, доступны книги таких светил, как Стивен Хокинг, Нил Тайсон, Айзек Азимов. Я ни в коей мере не собираюсь встать с ними в ряд, более того, я не физик. Просто мне захотелось выплыть из позижненное изумление современной физикой как бы со стороны. Может быть, кому то это будет интересно.

К нынешнему времени картина Вселенной стала несравненно более насыщенной, детальной и изощренной, чем 100 лет назад, когда появились СТО, ОТО (специальная и общая теории относительности) и квантовая физика. Тогдашние исследователи и не подозревали, что есть сверхмассивные чёрные дыры, квазары, что Млечный путь – это не вся Вселенная, а видимая Вселенная наполнена огромным количеством галактик, хороших и разных, что они образуют трехуровневую структуру, а сама Вселенная раздувается, причём в разные моменты с очень разным темпом, и вначале, скорее всего, с удивительным этапом космической инфляции. И создаются всё более мудрёные теории, по которым окружающий мир живёт в 11 измерениях, а Наша Вселенная не единственная, а Большого взрыва как начала начал вовсе не было, а инфляция вечна и фрактальна.

Новейшие приборы преподносят всё новые, парадоксальные данные, опрокидывающие прежние теории. Это и тёмная материя, и тёмная энергия, и вдруг оказывается, что галактики, вместе с их сверхмассивными чёрными дырами в ядре появились на миллиарды лет раньше ожидаемого, почти сразу после Большого взрыва. И для этого объяснения нужно модифицировать ранние или создавать новые теории.

У меня иногда складывается такое впечатление, что физика подошла к порогу познаваемости. И причиной является то, что новейшие приборы упёрлись в границу видимого, из-за закона непревышения информацией скорости света, и телескопы уже подобрались к сфере,

частицы которой испустили реликтовое излучение, а извне этой сферы нас никакая информация никогда не достигнет. О том, что происходило в эпоху инфляции, можно судить по составу и состоянию нынешней Вселенной, но особо информативного об этих инфляционных и доинфляционных моментах тоже пока не получаем. Есть надежда, что что-то можно узнать по реликтовым гравитационным волнам, но их регистрировать чрезвычайно трудно.

А ведь физика – всё же наука экспериментальная. Мало создать теорию. Пока она экспериментально не подтверждена, это гипотеза. И теорий, объясняющих явления, как правило, несколько, и проверить, какая из них истинна, может только эксперимент, лабораторный или природный. Вот как проверить, единственная ли наша Вселенная, или их 10 в степени 1000? И, к сожалению, в этом положении сейчас практически все новейшие экстремальные теории.

Но надежды на суперпрорывы всё же имеются. На мой взгляд, много возможностей таит гравитация, позволит заглянуть и внутрь чёрной дыры, и вдруг какие-то гравитоны прилетят из параллельных измерений. Может, обнаружится какой-то новый физический принцип или явление, ведь выскочили, как чёрт из табакерки, тёмные материя и энергия. Может быть, для истины придётся поступиться святым: законом сохранения энергии, принципом причинности, основываться на какой то квазилогике, но чего не сделаешь ради познания.

И что мы сейчас, в середине двадцатых годов 21 века видим? Астрофизическая мысль, вкупе с теоретической физикой, породила грандиозную интригу божественного масштаба. В ней замешаны быстро развивающиеся теоретические представления, экспериментальные данные и наблюдательные открытия, предоставляемые сложнейшими и дорогущими инструментами, созданными на острие технологий: электронных, вычислительных, космических (вы сами можете продолжить из десятков названий). Всё это закручивается в сложнейший высокоинтеллектуальный вихрь, ураган, который стремительно изменяет представление человечества о Вселенной (или вселенных!?). Так или иначе, человечеству нужно подготовиться к множеству открытий чудных. И будет ли познание неограниченным, или предел скорости распространения информации и необъятные размеры окружающего мира поставят непреодолимые барьеры для ответа на некоторые базовые вопросы? Наверно, мы, человечество, узнаем об этом на протяжении 21 столетия.

Мне иногда даже приходит в голову, что стоит жить и жить, чтобы видеть это потрясающую, умопомрачительную драму явления сокровенных сущностей бытия человечеству...

Как водится, в конце статьи привожу дополнения, в которых излагаю некоторые факты, сведения и свои измышления, которые не удалось поместить в основную часть.

Дополнение. Космические гамма-всплески

В качестве относительно недавних загадок Вселенной можно привести гамма-всплески. Что же это такое? Прежде всего, гамма-излучение – это электромагнитные волны. Как мы знаем, те или иные электромагнитные волны называют в соответствии с интервалами длин этих волн, которые, в свою очередь, соответствуют свойствам этих волн или способу их порождения. Самые нам родные – это видимый свет, который люди воспринимают своими глазами. Ниже приведём упрощённое разбиение электромагнитных волн по их округлённым для простоты длинам и соответствующей частоте. Правда, вы можете встретить в литературе несколько другие интервалы, потому что строгие интервалы есть только у видимого (для человеческого глаза) излучения.

Название	Частота	Интервал длин
Микроволны и радиоволны	$3 \cdot 10^{-5}$ - $3 \cdot 10^{12}$ Гц	10^{-3} - 10^4 м
Инфракрасные волны	$6 \cdot 10^{11}$ - $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц	$5 \cdot 10^{-4}$ - $8 \cdot 10^{-7}$ м
Видимое излучение	$3,75 \cdot 10^{14}$ - $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц	$8 \cdot 10^{-7}$ - $4 \cdot 10^{-7}$ м
Ультрафиолетовое излучение	$7,5 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{17}$ Гц	$4 \cdot 10^{-7}$ - 10^{-9} м
Рентгеновские волны	$1,5 \cdot 10^{17}$ - $5 \cdot 10^{19}$ Гц	$2 \cdot 10^{-9}$ - $6 \cdot 10^{-12}$ м
Гамма-излучение	? $5 \cdot 10^{19}$ Гц	? $6 \cdot 10^{-12}$ м и меньше

Главное, гамма-излучение – самое опасное. Ведь электромагнитная волна – это одновременно и фотоны, а энергия отдельного фотона, которая по соотношению Планка-Эйнштейна равна $E = h\nu$, где h - это постоянная Планка, а ν - частота волны, то есть чем короче волна, тем энергичнее фотон. Отсюда фотоны гамма излучения – самые мощные, а вкупе с длиной, сравнимой с ядрами атомов, гамма излучение творит всякие дела на атомарном и даже ядерном уровне – ионизирует, один фотон может породить электрон и позитрон, выбить кусочки (нуклионы) из атомных ядер. Открыл гамма-излучение французский физик Пол Виллар ещё в 1900 году, но всерьёз к нему стали относиться с появлением атомных бомб. При ядерном взрыве гамма-излучение исторгается в большом количестве, и будучи весьма проникающим и ионизирующим, является одним из основных поражающих факторов. И при противостоянии ядерных держав стала задача выявлять, где проводятся ядерные испытания, и одним из признаков является как раз появление мощного гамма-излучения.

Нужно сказать, что детекторы гамма-излучения создать можно, но вот линзу или параболическую антенну, в отличие от более длинных волн, для определения направления источника создать практически нельзя, гамма-кванты проникают через поверхность любого материала. И тут снова детектив, как с пульсарами. Американцы запустили семейство спутников *Vela* с гамма-детекторами и точнейшими часами, и направление излучения определяли по методу триангуляции: по разности времени фиксации вспышки излучения хотя бы тремя детекторами можно было примерно определить направление. Сами понимаете, разница времён очень маленькая, всё-таки гамма-лучи имеют скорость света, но и расстояния между спутниками тоже немаленькие. И в 1967 году обнаружили, что гамма-всплески идут откуда-то из космоса! Далее выясняется – источники гамма-излучения появляются со всех сторон! Ну, как-то шокирующее. Ничего плохого из космоса не ждали, звезды ласково светят, и на тебе – жёсткое и опасное излучение в изобилии имеется прямо над головой.

Это достаточно быстро рассекретили, стали разбираться. Хорошо бы посмотреть на источник в видимом свете или радиоволнах. Но гамма-всплеск довольно непродолжителен, не дольше нескольких минут, а чувствительный оптический телескоп штука инерционная и нежная, как снайперскую винтовку не вскинешь. Но исхитрились, с помощью армии телескопов сумели посмотреть, что это такое, правда, удалось только через 30 лет, в 1997-ом. К этому времени насочиняли теорий гамма-всплесков, а наблюдения с использованием всё более сложных и мощных приборов показали, что да, они, например, порождаются при смерти (коллапсе) массивных звёзд, при слиянии двух нейтронных звёзд, или при засасывании чёрной дырой нейтронной звезды. Гамма-всплески разделили на короткие (от миллисекунд до 2 секунд) и длинные (до 6 часов). Не всё ещё ясно, природа некоторых всплесков непонятна. Некоторые источники представляют, например, собой конусы вокруг джетов (тонких струй) аккреционного диска, образующегося веществом нейтронной звезды, засасываемой за секунды в чёрную дыру.

При этом мощность некоторых всплесков колossalна, они выделяют за секунды столько энергии, сколько Солнце выделяло бы за весь срок прошлого и будущего своего существования. К счастью, эти гамма всплески происходят в далёких от нас галактиках, кроме относительно маломощных мягких гамма-вспышек. Но если бы настоящий гамма-всплеск произошёл бы в Нашей галактике, например, на расстоянии 10 световых лет, удар по планете был бы эквивалентен взрывам по одной атомной бомбе на каждом гектаре неба (100 на 100 метров). Естественно, жизнь бы на Земле мгновенно погибла бы. Даже если гамма-всплеск произошел на расстоянии в 1000 световых лет, это было бы для Земли эквивалентно по атомной бомбе на каждые 10 км, тоже нехило.

Астрофизик Борис Штерн полагает, что гамма-всплеск в нашей галактике случается в среднем раз в миллион лет. Есть предположение, что гамма-всплеск стал причиной Ордовикско-силурийского вымирания 443 миллионов лет назад, когда исчезли 60 % видов живых существ.

Дополнение. Тёмные звёзды

После обнаружения тёмной материи, ещё мало представляя, что это такое, астрофизики стали придумывать различные объекты, в которых существенную роль играет тёмная материя. Один из примеров таковых – «тёмная звезда». Поскольку тёмная материя не взаимодействует ни с чем посредством электромагнитного излучения, но обладая гравитацией, имеет возможность

раньше барионной материи организовывать массивные структуры. И вот, какое-то количество тёмной материи, буквально через часы и дни после Большого взрыва, образует некоторую кучу вещества. Вокруг в том числе собирается барионная материя. Если в центре такого образования ничего не горит и не давит наружу, то при достаточной массе (в общем-то нужно немного, несколько масс Солнца) такие объекты должны коллапсировать в чёрную дыру. Но предполагается, что темная материя состоит из гипотетических частиц, вимпов, которые принадлежат к так называемым майорановским фермионам, которые являются античастицами к самой себе. И если эти вимпы собраны в достаточно плотные образования, то они сталкиваются достаточно часто, и при этом аннигилируют, как водится, с выделением энергии и даже рождением новых частиц. Эта аннигиляция даёт энергию и давление, которое какое-то время не даёт схлопнуться куче вещества, тёмной и барионной материи. При этом барионная материя, подпитываясь этой энергией, начинает светить, ведь она-то умеет излучать электромагнитные волны.

Астрофизики разработали гипотезы. Тёмные звёзды могут иметь огромные размеры, гораздо больше, чем обычные, барионные звёзды – массой в десятки миллионов Солнц и светимостью в миллиарды Солнц, правда, в невидимом человеку инфракрасном спектре.

С исчерпанием энергии у тёмного вещества и прекращением раздувающего давления от ядра, тёмные звёзды коллапсируют в чёрную дыру, возможно, сверхмассивную, образуя центр рождения галактик. Тем самым объясняются обнаруженные телескопом Джеймс Уэбб удивительные факты существования зрелых галактик совсем скоро после рождения Вселенной.

Казалось бы, чистая фантастика, гимнастика ума высоколобых учёных, где эти вимпы, да ещё со свойствами майорановских фермионов, эксперименты их обнаружения пока неудачны.

Но вот вдруг телескоп Джеймс Уэбб, становясь всё зорче и зорче, открывает три объекта почти на пределе возможной дальности, получившие обозначения JADES-GS-z13-0, JADES-GS-z12-0 и JADES-GS-z11-0. Сначала, как водится, это считали ранними галактиками, но астрофизики, уточнив характеристики, заявляют, что это точечные объекты (ну как точечные: размером не в сотню тысяч световых лет, как положено галактикам, а каких-нибудь жалких 2-3 световых года), и похожи на тёмные звёзды, и больше ни на что!

Дополнение. Первые догадки о чёрных дырах

Впервые идею объектов с очень большим притяжением, с поверхности которых не может вырваться даже свет, в 1783 году высказал английский физик Джон Мичелл, опираясь на механику Ньютона и представление, что свет – это частицы. Он просто вычислял вторую космическую скорость для этих частиц, и написал формулу, по сути эквивалентную формуле Шварцшильда. Она приведена к массе Солнца и выглядит так:

$$R_{kp} = 3km * M / Ms$$

где M – масса небесного тела, Ms – масса Солнца, R_{kp} – критический радиус небесного тела, когда свет не будет вырываться с поверхности этого тела. Видим, что в значении $R_{kp} = 3$ км Мичелл практически не ошибся! Только не подумайте, что Шварцшильд для вывода своей формулы использовал механику Ньютона, всё же он решал уравнения ОТО! Да и выводы Шварцшильда том, что видит наблюдатель, в корне отличаются от понимания Мичелла.

В конце 18 века к такому же выводу пришёл Лаплас, но в 19 веке свет стали считать волной, применять к нему законы Ньютона стало как-то некомильфо, и об этой идее забыли до 20 века.

Дополнение. Космический телескоп «Хаббл»

Большие оптические телескопы в качестве главной детали имеют значительное по размерам круглое вогнутое зеркало, называемое главным, которое собирает прилетающие光子 и фокусирует их на другое зеркало поменьше, затем в глаз астронома. В последние десятилетия, как правило,光子 собираются не на сетчатку глаза астронома, и даже не на фотопластинку, а на электронную ПЗС-матрицу (собственно, сейчас каждый из нас имеет такую в своём смартфоне). Чем больше площадь главного зеркала (этот характеристику называют апертурой), тем выше разрешающая способность телескопа. Изготавливают зеркала из цельного куска стекла долговременной шлифовкой. Бывают телескопы диаметром в несколько метров (в СССР сделали телескоп с диаметром зеркала в 6 метров!). Очевидно, изготовление зеркал в

несколько метров очень-очень трудоёмко, сложно и дорого (рисунок 7). Бывают составные зеркала, но там свои заморочки.

Астрономическим наблюдениям мешает земная атмосфера, и поэтому большие телескопы, как правило, размещают высоко в горах, но людям при них тоже нужно дышать, и атмосфера вокруг этих хотя и обсерваторий пореже, чем на равнине, но имеется. Астрономам очень хотелось вынести телескоп на орбиту, где атмосферы практически нет совсем. И американская Национальное управление по аeronавтике и исследованию космического пространства (NASA) к 70-м годам 20 века стала осуществлять этот проект. Создаваемый орбитальный телескоп получил наименование «Хаббл» в честь астронома, о котором мы писали в основной части.

Интересна родословная телескопа «Хаббл». Вначале NASA замышляла изготовить телескоп с диаметром главного зеркала в 3 метра, но бюджет оказался неподъёмным. Тогда диаметр снизили до 2.4 метра, и даже не размер стал способом уменьшения стоимости. Дело в том, что по заказу Пентагона к этому времени стали изготавливать семейство спутников-шпионов КН-11, с зеркалами в эти самые 2.4 метра. Первый был запущен в 1976 году, а всего до 2022 года запустили аж 19 штук. Спутники эти были новаторскими, в частности, изображения формировались электронным образом как раз на ПЗС-матрицу и оперативно передавались на Землю по радиоканалу. До этого изображения со спутников дистанционного зондирования Земли снимались на фотопленки, которые периодически сбрасывались с орбиты в контейнерах. Так вот, зеркало для «Хаббла» заказали в этой же фирме «Перкин-Элмер». Конструктивные решения для носителя телескопа также во многом использовали опыт КН-11. Тянулся проект довольно долго, и запустили «Хаббл» только в 1990 году космическим шаттлом Дискавери, на орбиту высотой 545 км (рисунки 7, 8).



Рисунок 6. Шлифовка главного зеркала телескопа. © Nasa.

И тут NASA ожидала засада. «Перкин-Элмер» отнеслась к заказу халтурно, привлекла для работы не основной состав специалистов, и главный ляп сделал один из техников. Он неправильно провёл лазерные измерения и допустил сдвиг одной из линз корректора на системе полировки на 1.3 мм, а когда при сборке обнаружил зазор, этот клоун просто «поправил» дефект шайбой! В результате главное зеркало было отполировано до несколько искажённой формы. Обнаружилось это уже при тестировании телескопа на орбите. Специалисты NASA придумали, как это исправить, изготовили систему оптической коррекции, но пришлось снарядить к телескопу ещё одну экспедицию шаттла, которую осуществил «Индевор» в 1993 году, в ходе которой телескоп был модифицирован, и проектное разрешение телескопа было достигнуто.

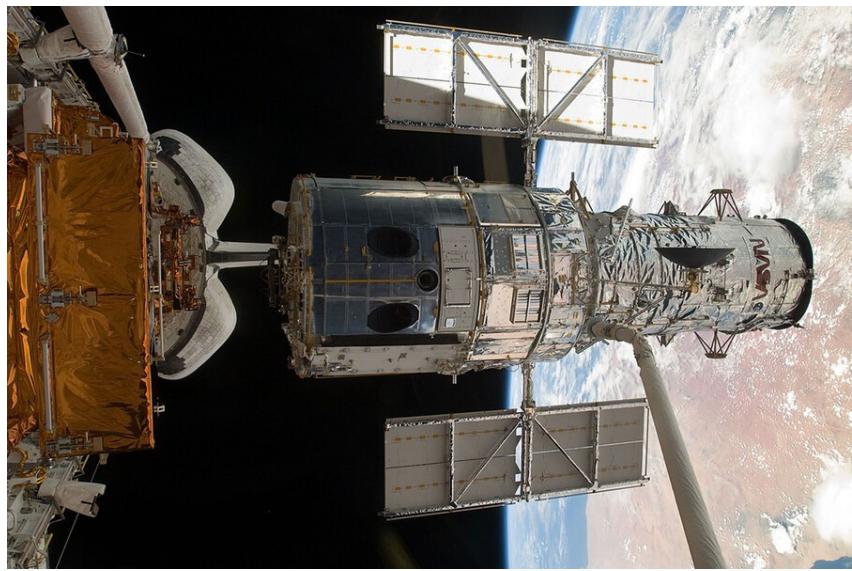


Рисунок 7. Телескоп «Хаббл» на околоземной орбите, удерживаемый робото-рукой шаттла. © NASA.



Рисунок 8. Телескоп «Хаббл» на околоземной орбите. © NASA.

К телескопу шаттлы для ремонта и модернизации летали еще 4 раза (до 2009 года), пока две катастрофы не поставили крест на полетах этих космических членников.

Совокупная стоимость проекта «Хаббл» составила 6 миллиардов долларов, но оно того стоило. Разрешение телескопа превышало аналогичные наземные телескопы в 10 раз, кроме того, были возможны спектральные измерения в инфракрасном диапазоне, недоступные на Земле. Телескоп сделал удивительные открытия и наблюдения как в «ближнем» космосе – в Солнечной системе, так и в среднем и дальнем космосе, вплоть до объектов, возраст которых менее миллиарда лет после Большого взрыва. Перечислить даже самые удивительные в рамках нашей статьи невозможно. Отметим те, которые связаны с основными данными о Вселенной, которые изложены выше.

В основной части мы говорили о цефеидах – пульсирующих звездах, соотношение периодичности пульсаций и яркости позволяет довольно точно определять расстояние до них. Но цефеиды видны не далее нескольких сотен световых лет. На расстояниях в миллиарды световых лет видны сверхновые типа Ia, и их яркость в принципе позволяла определить расстояние до них, но только «Хаббл», сравнивая цефеиды и сверхновые Ia в одних и тех же сравнительно близких галактиках, позволил калибровать метод измерения расстояний до любых сверхновых типа Ia.

Измерения расстояний и скоростей разбегания далёких галактик позволили достаточно точно вычислить постоянную Хаббла и установить, что Большой взрыв (а значит, и рождение Вселенной) произошёл 13.8 миллиардов лет назад. До 1990 года возраст Вселенной оценивали как «от 7 до 20 миллиардов лет»! Но самое шокирующее открытие состоялось в 1998 году. Точные измерения скоростей далёких галактик показали, что они удаляются от нас не с замедлением (благодаря стягивающей Вселенную гравитации), а с ускорением! То есть существует та самая «тёмная энергия», что-то типа отрицательной гравитации, которая расталкивает вещество Вселенной.

Ещё важными результатами использования телескопа «Хаббл» являются: подтверждение существования в центре практически каждой галактики сверхмассивной чёрной дыры, наблюдения формирующихся из туманностей звёзд и планет, первые спектральные снимки экзопланет (до этого о них знали по колебаниям центральным для экзопланет звёзд). «Хаббл» произвёл снимки гравитационного линзирования света от звёзд скоплениями темной материи. И что особенно важно: наблюдения сопровождаются накоплением больших массивов точных цифровых данных о спектрах, яркостях и других характеристиках объектов, что позволило разрабатывать математические модели, что важно для предсказательной силы создаваемых теорий.

Дополнение. Космический телескоп «Джеймс Уэбб»

Как бы не был хорош телескоп «Хаббл», наука и технологии не стоят на месте, появляются новые возможности и хочется заглянуть во Вселенную ещё дальше. Среди новых телескопов 21 века особо выделяется «Джеймс Уэбб», названный не именем астронома или астрофизика, а в честь государственного деятеля и руководителя значимых проектов, в частности, полетов человека на Луну.

Итак, телескоп должен заглядывать как можно дальше, а это значит, посмотреть светящиеся объекты, которые только-только появились после Большого взрыва. Свет, который от них прилетает, тратит на дорогу 13.8 миллиарда лет, и как мы отмечали выше, из-за расширения Вселенной спектры этих объектов смещается в красную область, и длины волн становятся существенно длиннее. «Джеймс Уэбб» предназначен для приёма электромагнитного излучения с длинами волн 0.6—28.3 мкм, то есть в основном в инфракрасной области, и только небольшая часть (0.6 – 0.74 мкм) попадает в область спектра, видимого человеческим глазом – оранжевый и красный цвета. Эти диапазоны, с одной стороны, позволяют детально принимать излучения самых далёких объектов Вселенной, буквально сразу после Большого взрыва, с другой стороны, исследовать слабые инфракрасные и тепловые излучения источников «поблизости» Земли: экзопланет Нашей Галактики и спутников планет Солнечной системы.

Чтобы телескоп был очень чувствительным, нужно выполнить несколько условий. Рассмотрим парочку. 1). Его зеркало должно быть большого диаметра, потому что чем длиннее волны, тем меньше их энергия, и для одного же и того же высокого пространственного разрешения апертура инфракрасного телескопа должна быть в разы больше, чем у телескопа видимого света. 2). Поскольку температуры излучения далёких объектов очень мала, телескоп должен по возможности защищен от тепловых помех.

Для выполнения условия 1) телескоп снабдили зеркалом диаметром в 6.5 метра. Его площадь в 5.6 раза больше, чем у зеркала «Хаббла». Но стеклянное зеркало такого диаметра сделать цельным не только невероятно дорого, его ещё невозможно погрузить ни в одну существующую ракету. Поэтому его сделали складным, из 18 шестиугольных фрагментов, каждый диаметром (точнее, расстоянием от противоположных ребер) в 1.32 метра. Каждый фрагмент имеет положенную ему форму, изготовлен из позолоченного бериллия. Невероятно красиво! (рисунок 9).

После выхода на орбиту фрагменты должны были развернуться и составить одно сплошное зеркало идеальной формы. Конечно, технически это невероятно сложно, но компьютеры и прочая электроника смогли это сделать.

Чтобы выполнить второе условие, конечно, телескоп должен быть вынесен в космос. Но этого мало. На околоземной орбите его бы освещали Солнце, Земля, Луна (да, Луна не только светит, но и греет!) с переменной яркостью. Поэтому «Джеймс Уэбб» вынесен далеко за орбиту

Луны, в так называемую точку Лагранжа L₂ системы Солнце-Земля. В силу особенностей гравитационного взаимодействия Солнца и Земли тело сравнительно небольшой массы остаётся неподвижным относительно Земли и Солнца, а Луна тоже видна в сравнительно небольших угловых перемещениях (рисунок 10). Место это неустойчиво, нужно постоянно подправлять положение. Уточним, что «Джеймс Уэбб» не в самой точке находится, а вращается по круговой орбите вокруг L₂ (не будем вдаваться в детали, хотя скажем, как мудрая сова, что это потому, что орбита Земли не круговая, а эллиптическая).

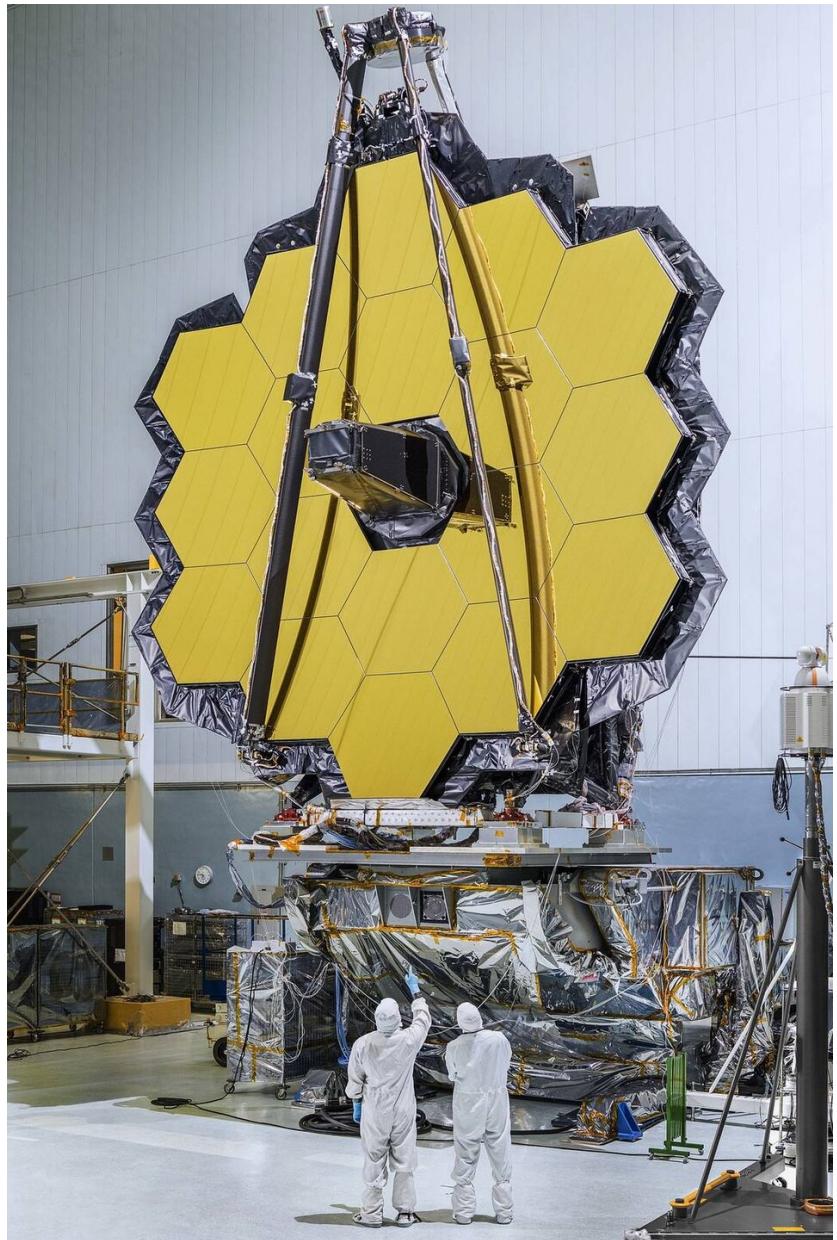


Рисунок 9. Тестовая сборка главного зеркала на земле (из Википедии)

На окончательной орбите телескоп разворачивается таким образом, чтобы повернуться к Солнцу, Земле и Луне (они будут все с одной стороны) тепловым экраном размером с теннисное поле (рисунок 11). Этот экран всегда закрывает телескоп от основных источников тепла. Сам телескоп остужается до -223° С, а экран со стороны Солнца нагревается при этом до 80° С.

Таким образом, телескоп находится в идеальных условиях приёма низкотемпературного инфракрасного излучения.

В декабре 2021 года «Джеймс Уэбб» был выведен на положенное место. Запуск, размещение на орбите и развертывание зеркала прошли безуказненно. Запас топлива для

коррекции был рассчитан на 5-10 лет, но удачные маневры старта позволяют рассчитывать на работу телескопа до 20 лет (возможно, не всех приборов).

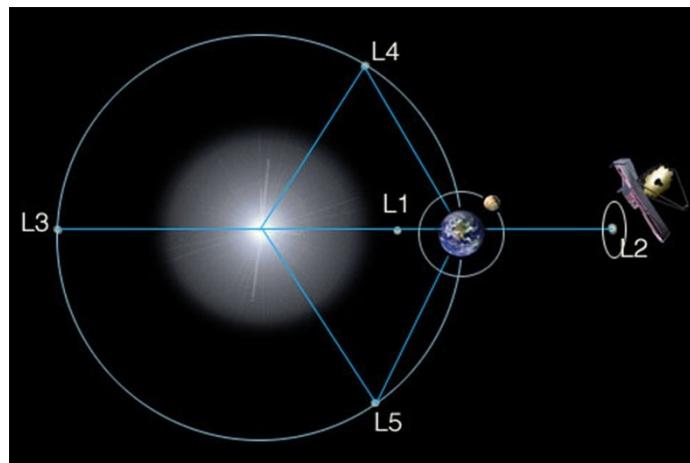


Рисунок 10. Схема размещения точек Лагранжа в системе Солнце-Земля и космического телескопа «Джеймс Уэбб» в точке L₂ (из Википедии)

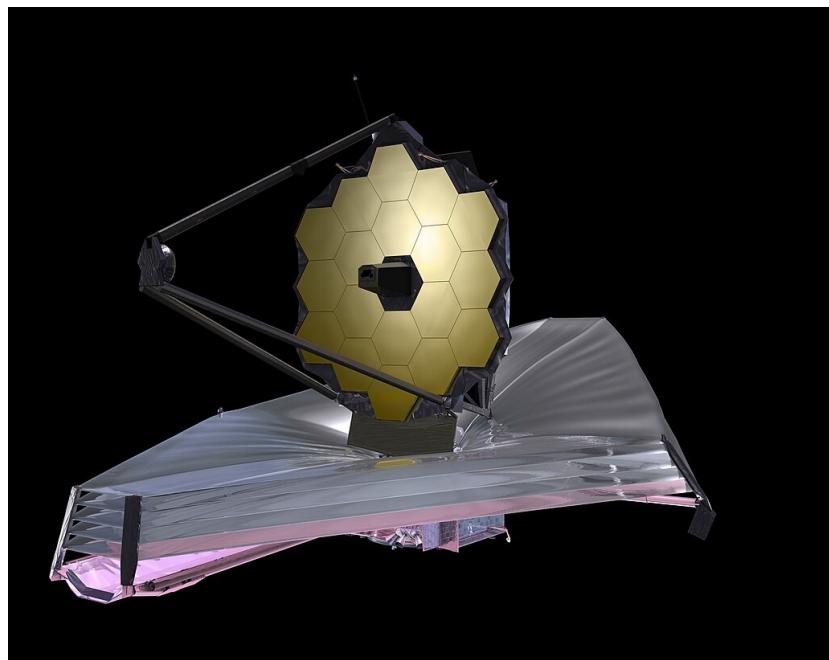


Рисунок 11. 3D-модель телескопа «Джеймс Уэбб» и теплового экрана (из Википедии)

Конечно, Вы понимаете, что телескопы, которые позволяют рассмотреть объекты, на расстоянии миллиардов световых лет, являются своеобразными машинами времени. Ведь если исследуется галактика, свет от которой идет, скажем, 12 миллиардов лет, то оно соответствует состоянию галактики именно 12 миллиардов лет назад. Строго говоря, мы и обычными нашими глазами, без всяких телескопов, глядя на Солнце, видим его состояние, соответствующее прошлому «8 минут назад». Но что может измениться на Солнце за это время! А вот «Джеймс Уэбб» видит состояние Вселенной сразу после Большого взрыва, в начале времен!

Научными целями телескопа являются:

- Получение света от самых ранних звёзд и галактик Вселенной, существующих после 400 тысяч лет после Большого взрыва, то есть с момента, когда Вселенная стала прозрачной;
- Исследование экзопланет;
- Исследование водных миров Солнечной системы – спутника Юпитера Европы и спутника Сатурна Энцелады, поверхности которых представляют жидкые водяные океаны с ледяной коркой толщиной в несколько километров. В этих океанах есть вероятность зарождения и существования живых организмов.

Летом 2022 года начались научные исследования, и сразу были получены удивительные результаты. Вот несколько из них.

- В сентябре 2022 года «Джеймс Уэбб» впервые получил снимки планеты за пределами Солнечной системы, на расстоянии 385 световых лет от Земли. Это газовый гигант, был открыт в 1997 году косвенными методами.

- В июле 2022 года обнаружена галактика CEERS-93316, которая на момент обнаружения считалась самой удалённой от Земли и одной из самых ранних: снимок соответствовал 250 миллионов лет с момента Большого взрыва. Тогда же обнаружена карликовая галактика, названная GLASS-z12. Свет от неё шёл 13.5 миллиардов лет, то есть её изображение соответствует возрасту Вселенной всего в 300 миллионов лет. Эти сведения всё же приблизительны, данные обрабатываются и уточняются. К тому же есть сомнения, что это галактики, возможно, это некие источники излучения, ныне неизвестные или гипотетические, например, «тёмные звёзды».

- Но вот в 2024 году была открыта галактика, причём, точно, что галактика, получившая название Чжулуна. Свет от неё шёл 12.8 миллиардов лет, то есть её возраст — миллиард лет с момента Большого взрыва. Структуру Чжулуна рассмотрели, это спиральная галактика большой массы, но похожа на Нашу Галактику. Это идёт вразрез с предшествующими моделями, согласно которым такие галактики должны созревать несколько миллиардов лет.

- В 2023 году «Джеймс Уэбб» обнаружил три точечных источника с сильным красным смещением ($z = 10-13$) — JADES-GS-z13-0, JADES-GS-z12-0 и JADES-GS-z11-0. Эти объекты существовали уже через 320-400 миллионов лет после Большого взрыва, их масса от 500 000 до 1 миллиона солнечных. Сначала их причисляли к ранним галактикам, но исследователи, вникнув в их характеристики, склоняются к тому, что они больше всего соответствуют тёмным звездам.

«Джеймс Уэбб» только-только начал свою работу. Трудно даже представить, сколько открытых чудных он предоставит человечеству, которые, я уверен, не только заставят переписывать учебники астрофизики, но и добавят новые понятия и гипотезы для всей теоретической физики.

Дополнение. Возможны ли чудеса: не всё так однозначно! (Дополнение полушуточно)

Еще в начале 20 века считали, что Вселенная бесконечна, статична, существовала вечно и будет существовать вечно. Господствующая до 20 века физика Ньютона порождала мир детерминистским, то есть жёстко следующим физическим законам для каждой своей частицы, и нельзя было допускать чудеса, это нарушение законов природы (сверхчестовенно!). То есть место чудесам не было, свобода воли выбора человеку, как это допускается у православных и католиков, тоже не получается. Не зря эта свобода, например, у протестантов-кальвинистов, отрицается: если ты грешник по твоей установленной Богом судьбе, то совершенствуйся не совершенствуйся, кайся не кайся, всё равно прощения тебе не будет.

Но в 1925 году появляется квантовая физика, и нильсборовцы говорят, что элементарные частицы по своей глубинной сути ведут себя вероятностно. Пока их параметры не измеришь, они в состоянии суперпозиции (то есть в таком неопределённом состоянии), а при измерении их характеристик колапсируют и приобретают конкретное значение, но оно никак заранее не определяемо точно, а есть только вероятность того или иного. И получается, что чудо (например, воскрешение мёртвого) событие не невозможное, а просто очень-очень маловероятное. Но Господь то этим запросто управляет! Возьмём более современный пример. Вот пикирует самолёт со 100 пассажирами, и врезается в землю. По Ньютону — разлетится на миллиард осколков, и в принципе траекторию каждого можно предсказать. По Гейдельбергу (парень из копенгагенской школы Нильса Бора) — каждая элементарная частица летит по случайно полученному направлению и со случайной скоростью, и есть умопомрачительно маленькая, но ненулевая вероятность, что все элементарные частицы слепятся в изначальный самолёт со 100 пассажирами, который отскакивает от земли и благополучно продолжает полёт. Навскидку (извините, ну очень навскидку!) вычислим вероятность этого.

Пусть самолёт со 100 пассажирами имеет массу 100 тонн. При катастрофе разлетается на частицы, каждая массой один миллиграмм. Итого всего частиц — 10^{11} . Каждая частица может иметь направление — 10^9 (миллиард) вариантов, 10^9 (миллиард) вариантов скорости, 10^9 (миллиард) вариантов вращения. Таким образом, частица имеет 10^{27} вариантов распространения,

а весь самолет - 10^{38} вариантов разлёта частиц. И среди них будет вариант чудесного воскрешения! Даже если мы все данные увеличим в миллион раз (на 6 порядков), то есть частиц будет 10^{17} , а каждого из вариантов – по триллиону, то вариантов разлета самолета будет 10^{62} . Это всё равно невообразимо меньше, чем 10^{500} .

То есть существование нашей Вселенной и нас с вами произошло в результате реализации вероятности, гораздо меньшей, чем чудо с самолётом.

Дополнение. Как установить, плоская ли Вселенная

Способов несколько, например, можно смотреть в телескоп внутри некоторого конуса, и считать, сколько галактик на различных расстояниях. Если их количество растёт пропорционально квадрату расстояния (то есть площади сечения конуса), то пространство в том направлении плоское. Если больше или меньше пропорции, то искривлённое. Если это верно для любого конуса, то таким образом обозримая Вселенная – плоская. Телескопы и методы, которые позволяют видеть на достаточных расстояниях галактики, определять до них расстояние, к концу 20 века появились. Что это за методы, мы рассматривали выше.

Дополнение. О причинно-связанных областях

В основной части это понятие упоминалось, как области, внутри которых происходило энергетическое, а следовательно информационное взаимодействие материи. Но каковы размеры этих областей? Ведь скорость света в человеческих масштабах огромна, и как в ранней Вселенной небольшого размера существовали причинно несвязанные области. Но тут нужно заметить, что причинная связанность существует для заданного отрезка времени, а события Большого взрыва проис текали в невообразимо короткие промежутки времени. Кстати, скорость света в космических масштабах не очень-то велика.

Так, для промежутка в 1 секунду причинно связанная область имеет размер всего в 300 тысяч километров, меньше, чем расстояние от Земли до Луны. А каковы размеры видимой Вселенной были при рождении Вселенной, и каковы тогда отрезки времен для тогдашних процессов?

Через 10^{-32} секунды после планковской эпохи (некоторые считают этот момент началом Большого взрыва) размер Вселенной увеличился примерно до одного метра. В течение следующих 10 секунд Вселенная выросла до размера в 10 световых лет.

Согласно теории инфляции, примерно через 10^{-32} доли секунды после Большого взрыва объём Вселенной увеличился по меньшей мере в 10^{78} раз (расстояние в каждом из трёх измерений выросло по меньшей мере в 10^{26} раз). Это было эквивалентно расширению объекта диаметром 1 нанометр (примерно половина ширины молекулы ДНК) до объекта примерно 10.6 световых лет в поперечнике.

Дополнение. Попытка сравнения скорости раздутия Вселенной в эпоху инфляции с привычными величинами

Поражает скорость и масштаб расширения Вселенной при инфляции. Я попробую соотнести их с какими-то привычными обычному, но достаточно грамотному человеку, не физику и не математику, и даже не химику.

Итак, степень увеличения линейного размера Вселенной за время инфляции возьмём по нижней оценке, в 10^{26} раз. Если взять клетку крови человека, эритроцита (8 микрометра - не совсем привычный размер, но в медицинских учреждениях лаборантки каждый день их считают, глядя в микроскоп), и увеличить её во столько же раз, то мы получим без малого размер нашей галактики, 8×10^{20} м. Но это же ещё и должно произойти за безумно малое время – не более 10^{-32} секунды! А давайте допустим, что эритроцит будет продолжать расти с такой же скоростью одну двадцатитысячную секунды, предел частоты звука, который различает человеческое ухо – например, стрекот кузнечика. Тогда его размер будет 1.6×10^{57} м. Но размер видимой Вселенной оценивается в 8.8×10^{26} м (хотя есть и сильно отличающиеся оценки), то есть размер эритроцита после такого роста будет больше Вселенной примерно на единицу с тридцатью нулями! Давайте попробуем взять что-нибудь, чтобы его увеличение уместилось в видимой Вселенной. Для этого размер этого «что-нибудь» нужно уменьшить в 10^{30} раз, получим 8×10^{-36} м. С чем бы это сравнить,

что мы изучали в школе? Размер атома водорода колеблется вокруг 10^{-10} м, это больше нужного в 10^{26} раз. Ядро атома водорода, протон, имеет размер около 10^{-15} м. Уже лучше, но всё равно больше нужного в 10^{21} раз. Электрон? Вот тут наш поиск нужного размера остановится. И при понятии размера протона-то физики начинают кривить свои умные мордашки. И хотя известно, что масса электрона в 1840 раз меньше массы протона, понятие размера для электрона некорректно. Тут уже квантовая физика, электрон то ли тут, то ли там в одно и то же время. Другие частицы, всякие кварки и бозоны, тем более вещи безразмерные.

Таким образом, попытка представить масштабность роста размера Вселенной в хоть каких-то представимых для обычного человека образах претерпела фиаско. Скорость расширения пространства в инфляцию умопомрачительна. Теперь просто поверьте, что скорость эта, даже в тех микроскопических пределах начальной Вселенной, много-много-много больше скорости света.

Дополнение. Кто родил Андрея Линде

Один из создателей теории инфляции – Андрей Дмитриевич Линде, 1948 года рождения, вначале советский, ныне американский физик. Но я хочу рассказать о его маме, Ирине Вячеславовне Ракобольской. Она тоже была физик, специалист в области космических лучей, доктор наук, профессор, сотрудник МГУ, заслуженный деятель науки РСФСР. Но вот молодость её прошла в Великой Отечественной войне, куда она отправилась добровольцем с 4-го курса физфака МГУ в октябре 1941 года. После авиашколы её воля и умственные способности были замечены знаменитой Мариной Расковой, которая и назначила Ракобольскую начальником штаба 46-го гвардейского авиаполка ночных бомбардировщиков. Того самого, женского авиа полка «ночных ведьм». Пилоты и штурманы были девушки от 17 до 23 лет, летали на легких двухместных бипланах По-2. Ирина Вячеславовна неоднократно лично участвовала в боевых вылетах в качестве штурмана, награждена несколькими боевыми орденами. Прошла с полком всю войну, демобилизовалась в 1946 году, вышла замуж за Дмитрия Павловича Линде, также физика, ветерана войны, родила нашего Андрея Линде и в 1949 году закончила учебу в МГУ. А далее была научная и преподавательская карьера. Кстати, со своим мужем, Дмитрием Линде, начала дружить ещё на младших курсах МГУ, в конце 30-х, всю войну переписывались, воссоединиться смогли только после мобилизации в 1946 году. Гвозди бы делать из этих людей!³⁾

Дополнение. Гамов и его команда.

В начале 1948 года Гамов и Альфер подготовили небольшую, но в некотором смысле ключевую статью о своих результатах. И вот я опять поражаюсь удивительным вывертам мышления выдающихся физиков. Гамов включил в соавторы, послушайте, не коллегу с цennыми подсказками, не шефа по институту, как часто принято в нашей стране, а своего друга Ганса Бете, который не имел к этой теме абсолютно никакого отношения. И ради чего? Чтобы аббревиатура авторов (Альфер - Бете – Гамов) соответствовала трем первым буквам греческого алфавита: альфа-бета-гамма! По его, Гамова, понятиям, это очень элегантно и символично. Статья называется «R. A. Alpher, H. Bethe and G. Gamov, 1948. The Origin of the Chemical Elements».

Нужно сказать, что Гамов и его сподвижники не очень ответственно подошли к своему творению. В конце 50-х и начале 60-х более популярны были теории стационарной Вселенной, такой придерживался, например, один из самых авторитетных советских физиков Яков Борисович Зельдович. Теорию горячей расширяющейся почти из ничего Вселенной всерьёз не воспринимали, авторы её не стали отстаивать. Гамов оставил занятия астрофизикой и занялся генетикой, нужно сказать, очень продуктивно. Альфер и Герман, устав хлебать пустые щи на зарплаты в науке, ушли за длинным долларом в промышленные корпорации. И тут Пензиас и Вильсон в 1963 году открывают реликтовое излучение, модель Гамова получает бесспорное подтверждение, а Пензиас и Вильсон в 1978 году награждаются за это Нобелевской премией! Нобелевку же ни Гамов, и никто из гамовцев не получили. Господа, ну сравните гениальные прозрения и титанический вычислительный труд при создании модели Гамова и результат прослушивания радиоволн чуть ли не на любительской антенне!

Между прочим, Гамов уравнения расширяющейся Вселенной не на пустом месте придумал: он в 20-е годы 20 века учился в Ленинградском университете у Александра Фридмана, о котором

мы писали ещё в статье об общей теории относительности Эйнштейна. Фридман впервые нашёл нестационарные решения уравнений ОТО.

Дополнение. Размер видимой Вселенной

Современные чудо-телескопы видят свет далеких галактик, который был испущен ими более 13 с половиной миллиардов лет назад. Эти галактики, за то время, пока свет, испущенный на заре жизни Вселенной, летел к нам, из-за ускоренного Хабловского расширения (тут включается тёмная энергия), удалялись от нас всё с большей скоростью, и сейчас расстояние между Землёй и этими галактиками увеличивается где-то с десятикратной скоростью света. Галактики находятся от Земли на расстоянии более 42 миллиардов световых лет. То есть диаметр видимой нынче части Вселенной, составляет около 93 миллиардов световых лет, а не 27 миллиардов, как считают некоторые авторы.

Дополнение. Вселенная и антропоцентризм

Практически во всех исследованиях астрофизики явно или неявно присутствуем мы, люди, как заинтересованная сторона. Собственно это и называется антропоцентризмом. Причём этот интерес распространяется на времена, когда Солнце испепелит всё на Земле (через 5-6 миллиардов лет), и даже на десятки миллиардов лет, когда будет происходить смерть нашей Вселенной. Гложет мысль, а что же с нами-то будет? Когда не будет видно соседних галактик? Когда тёмная энергия будет разрывать последние звёзды?

А если подумать, а что такое наше антропо? Даже наше биологическое устройство, *homo sapiens*, имеет срок 50 – 100 тысяч лет. И нам глубоко безразличны наши предки, причём не только те, которые спустились с деревьев в саванну 6 миллионов лет назад, но и тот охотник-собиратель, который добывал себе еду и заботился о своём потомстве 15 тысяч лет назад, и даже ремесленник, пахарь или кочевник, жившие 2 тысячи лет назад. Во-первых, их (предков) было очень много, во-вторых, мы не можем отследить их хотя бы по мужской линии. Самые крутые европейские аристократы могут это сделать максимум на тысячу лет, да кое-кто ещё возводит себя к Чингиз-хану на 900 лет назад. Переворачиваю эти чувства вперед, для кого душевно близок его потомок через 100 тысяч лет? Ведь если вдуматься, нам ценные только наши идеалы, традиции, а предок 20 тысяч лет назад, который с аппетитом кушал соседа, или родителя, который уже, по его уважаемого предка, мнению, достаточно пожил, а то и своих детей в периоды голодахи, как-то нам не близок, а? А где гарантия, что таковым не будет Ваш потомок через 1000 лет? Да и ближайшие по будущему внуки-правнуки иной раз в такую дичь ударяются (с нашей точки зрения), что с ними разрывается духовная и материальная связь. То есть подспудная мысль, что мы как то сохраним преемственность наших идеалов при гибели Вселенной, в каких-то параллельных пространствах, очень наивна и нелепа. Жизнь наших идеалов – максимум 10000 лет (начнём с Ветхого завета и понадеемся, что Библию будут читать еще 3-4 тысячи лет), а это по сравнению со средне ожидаемой жизнью Вселенной в 50 миллиардов лет составляет 0.00002 процента! И даже с примерным сроком гибели живого на Земле в 2 миллиарда лет (по оптимистичным оценкам!) составляет 0.0005 процента! Мне кажется, большой разницы нет.

Вы заметили, что в предыдущем предложении я с антропоцентризма переключился на биоцентризм? То есть многим ценные не только наши идеалы, и не *homo sapiens*, но жизнь, начиная с жалкой бактерии с собственной ДНК (ну как же, закинем на экзопланету, при благоприятных условиях станет Человеком!). И даже в научно-популярных статьях и роликах звучит мысль о разуме как о венце биологической жизни. Так-то оно может быть и так, но последние технологические достижения со всей очевидностью показывают, что разум вполне может оторваться от биологической основы. И в ближайшие столетия электронный разум, похоже, имеет больше шансов распространиться с Земли к ближайшим звездам. А что, чипы легче перенесут перегрузки, долгое засыпание, проще обеспечить защиту от космической радиации. Вполне представимо в подходящих условиях воспроизведение этих, так скажем, компьютеров и роботов, может даже, с целенаправленной адаптацией к внешним условиям или запуском эволюции моделированием мутаций. Делов-то: по прибытии на экзопланету найти нужные полезные ископаемые и пляж с чистым песком, построить заводы по производству чипов, роботов и солнечных (или как там будет называться звезда) батарей. И для чего в этой дальнейшей

истории жалкие существа с какой-то слизью в качестве вместилища разума? Цивилизация, особенно если не нужно кормить миллиарды кожаных бездельников, будет вполне здравая и экономная 😊

Есть, конечно, заключения (из соображений типа теорем Гёделя о неполноте), что биологическая жизнь и разум имеют преимущества в изобретательстве и вдохновенных открытиях по сравнению с электронными железками, но надолго ли это? И возникают подозрения, что разум без этапа ДНК мог вполне где-то возникнуть, ведь так посмотреть, суперкомпьютер с искусственным интеллектом устроен гораздо проще любого экземпляра биологической жизни на Земле.

В общем, в рациональных атеистических рассуждениях рождаются пессимистические для наших ценностей и идеалов мысли. Но если вспомнить о тонкой настройке Вселенной, да и открытия экзопланет, моделирование Солнечной системы показывают, что не только в квантовом и космологическом масштабе наблюдается избирательность условий для существования нашего материального мира, но и условия Земли очень редки для планетарных систем. Ну ладно, подобных Солнцу звёзд полно, но без Юпитера на его орбите, без существования Луны на Земле бы не было столько времени стабильных условий для развития жизни, но ничего подобного в тысячах наблюдаемых экзопланетных системах не видно. И здесь приходим к сознанию существования Творца, владеющего Временем до Большого взрыва и после Большого разрыва, иными измерениями или вместилищами, кроме нашего пространства, и который именно нас, людей, с нашими понятиями о Добре и Зле, ведёт к совершенству и Спасению. Заметим, что знаки, например, в виде поведения запутанных частиц, которые говорят о сущностях вне законов физики, исследователям давно являются.

Благодарность. Выражаю глубокую признательность физику Виталию Ткаченко, который любезно ознакомился с моим грешным опусом, обратил внимание на одну грубую ошибку в тексте и дал несколько ценных поправок. И, Виталий, извини, я не смогу отредактировать текст на основе твоих замечаний о «введенных Ландау и Нейманом о матрице плотности и измерениях в квантовой механике как о процессе, в котором изучаемый объект и прибор рассматриваются как единая система», для меня это уже слишком сложно 😊

Источники

- 1.Chronology of the universe. https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_the_universe
- 2.Элементы астрофизики. <https://spadilo.ru/elementy-astrofiziki/?ysclid=m6w0melcoj225508915>
- 3.Как рождаются звезды. <https://www.vokrugsveta.ru/vs/article/6172/?ysclid=m6ywhotiae165786144>
- 4ерные дыры, виды, свойства.
<https://m-focus.ru/chernye-dyry-vidy-svoystva/?ysclid=m74yjiuwyq112198801>
- 5.Инфляционная модель Вселенной
[Инфляционная модель Вселенной — энциклопедия «Знание.Вики»](#)
- 6.Каким образом излучение Хокинга приводит к испарению чёрных дыр?
<https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/706990/>
- 7.Big Bang. [Big Bang - Wikipedia](#)
- 8.Теория инфляции — что не так с «объяснением расширения Вселенной» с точки зрения науки
<https://dzen.ru/a/ZYfZ8O3htX0plGWq?ysclid=m8vuc63ajt494765548>
- 9.Борис Штерн. Реликтовые гравитационные волны: последний штрих в картине происхождения Вселенной?
https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432289/Reliktovye_gravitatsionnye_volny_posledniy_shtrikh_v_kartine_prois_khozhdeniya_Vselennoy?ysclid=m8vv7n36xv979253502
- 10.Квантовые флуктуации — ключ к разгадке тайны происхождения Вселенной
<https://dzen.ru/a/Zu5A4E-kJmTNU7uU?ysclid=m8ycx744l0250397360>
- 11.Проблема монополя
<https://fis.wikireading.ru/hoRLucFm6T>
- 12.Каку Мичио параллельные миры (книга)
<https://fis.wikireading.ru/h2ZQBmF6ir>

1). «Критика чистого разума» - главное философское произведение И.Канта. Написана мудрёным, и запутанным языком. Есть ещё «Критика практического разума.

2). По аналогии с метафорой Владимира Маяковского в стихотворении «Товарищу Нетте, пароходу и человеку».

3). Из стихотворения Николая Тихонова «Баллада о гвоздях»: «Гвозди бы делать из этих людей, крепче б не было в мире гвоздей».

Автор: Алсынбаев Камиль Салихович, Калининград, август 2025 г.

kamil.alsynbaev@mail.ru