



Где мы живём?

v.1.92

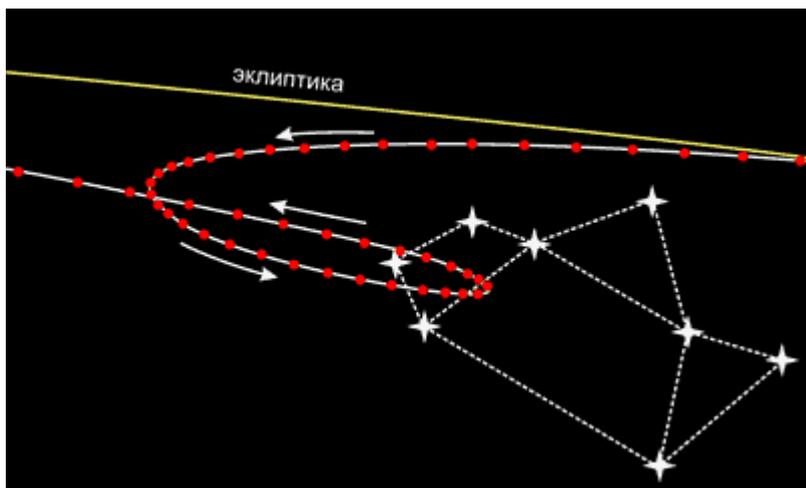
© Андрей Валентинович Белоконь, 2004г

История представлений о Вселенной

Астрономия никогда не дружила с космологией.

Ночное безоблачное небо видится человеку так, будто он находится под гигантским полусферическим колпаком, усеянном неземными сокровищами. В древнейших космологиях небо представлялось куполом или выпуклой крышей. Эта иллюзия сохранялась и у древнегреческих учёных, которые понимали или допускали шарообразность Земли, например, у Пифагора в VI в. до н.э. (здесь и далее - "традиционная" хронология; согласно "новой хронологии" греческие мыслители жили в Средневековье и в Возрождение), только в этом случае купол менялся на сферу. Считается, что греки представляли себе причину движения усыпанной звёздами сферы в находящемся за ней божественном двигателе, а вращение её механически передавалось меньшим прозрачным сферам с планетами, Луной и Солнцем. Греки знали, что Солнце во много раз больше Земли, они располагали достаточными наблюдательными данными, чтобы понять, что гелиоцентрическая система более удобна для расчётов, но тем не менее предпочитали помещать Землю в центр Вселенной. В IV в. до н.э. Евдокс всё видимое движение небесных тел свёл к равномерному вращению вокруг Земли 27 хрустальных сфер, при этом на каждую из пяти (известных тогда) планет приходилась система из четырёх сфер, а на Солнце и Луну - из трёх. Веком позже количество сфер уточнил Аристотель, доведя его до 55. Аристотель и его сторонники считали сферы материальными объектами. Планеты - "блуждающие звёзды" - периодически меняют свой блеск, то приближаясь к Земле, то удаляясь от неё, а Марс, Юпитер и Сатурн к тому же (когда Земля обгоняет их в своём орбитальном движении) описывают в небе петли (на рис. показано движение Марса). Чтобы объяснить эти явления, гениальный греческий математик Аполлоний Пергский (II в. до н.э.) придумал геометрическую конструкцию: Земля находится в центре окружности (деферента), по которой равномерно движется центр другой окружности (эпицикла), по которой в свою очередь движется планета. В случае равенства

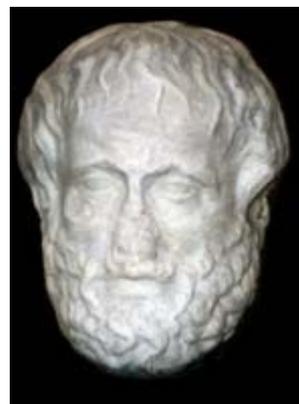
периодов обращения деферента и эпицикла планета движется вокруг Земли по



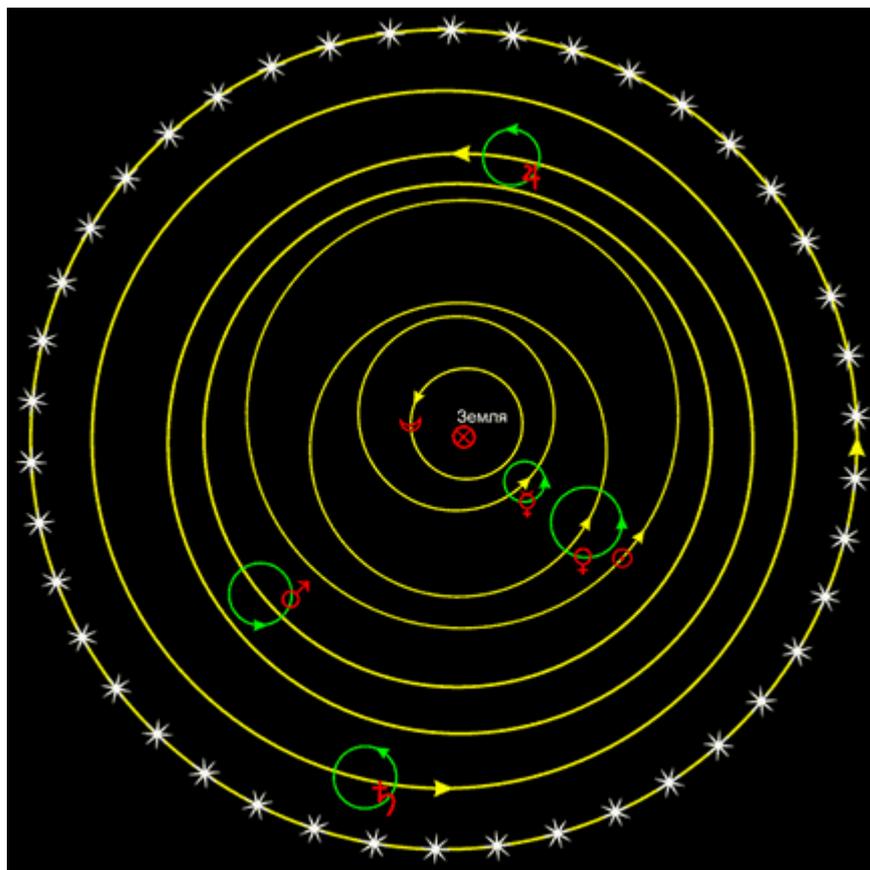
результатирующей окружности, называемой эксцентром. Если эпицикл вращается быстрее, планета периодически выписывает петли. Следует отметить, что Аполлоний не преследовал цель объяснить физическую природу этих движений, он придумал лишь математическую модель, описывающую данные наблюдений. Ему же приписывают классическую работу о конических сечениях,

впервые изданную в Европе в 1537 г. Эллипс - истинная форма планетарных орбит, открытая Кеплером (см. ниже) - как раз и является коническим сечением. По-моему, Аполлоний стал первым учёным, который сделал наши представления о мире заложниками математики.

Считается, что первую целостную физическую картину мира создал Аристотель. Её основой было учение о центральном положении тяжёлой неподвижной сферической Земли, которую составляли три элемента: земля, вода, воздух и огонь (невольно напрашивается аналогия с четырьмя агрегатными состояниями вещества: твёрдым, жидким, газообразным и плазмой). Звёзды, планеты и Солнце состояли из идеального вещества - эфира. Если на Земле, где господствовали четыре вульгарных элемента, всё постоянно менялось, то на небе эфирные тела находились в вечном неизменном состоянии: равномерном круговом движении. Луна занимала промежуточное положение, а сфера, на которой она закреплена, служила границей между мирами. Каждому телу от природы было присуще два свойства: стремление к центру Земли (гравитация) и стремление от центра (левитация). Аристотель считал, что пустоты не существует, так же, как и других бесполезных вещей – например, бесконечности. Хотя многие греческие философы утверждали (по меньшей мере с IV в. до н.э.), что Вселенная бесконечна в пространстве и во времени, те из них, кто серьёзно занимался физикой и математикой, допускали существование только так называемой потенциальной бесконечности: если вы имеете что-то очень большое (малое), то всегда можно найти что-то ещё большее (меньшее).



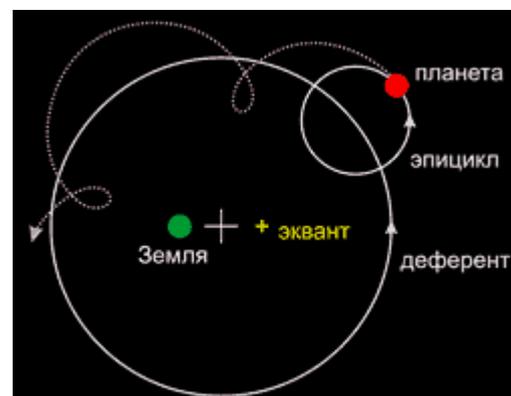
Наука в те времена основывалась на очевидных суждениях и обыденной логике (здравом смысле), а явления природы приводились в доказательство лишь там, где подходили для этой цели. В "Естественной истории" Гая Плиния Старшего (I в.н.э.) можно прочесть, например, следующее: *"Земля находится в центре Вселенной, что подтверждается весьма основательными доказательствами, но главным образом равенством дня и ночи в дни равноденствия; ведь если бы Земля не была в центре, то дни не могли бы быть равными ночам. Это доказывается также при помощи диоптров и лучше всего тогда, когда во время равноденствия на одной и той же линии наблюдаются восход и заход; восход Солнца в день летнего солнцестояния находится на той же линии, что и заход в день зимнего солнцестояния. Это никоим образом не могло бы быть, если бы Земля не находилась в центре мира."* Я не могу понять, какими соображениями руководствовался Плиний, когда это писал.



Греческий астролог Клавдий Птолемей во II веке разработал самую известную геоцентрическую модель "аристотелевской" Вселенной. Он пользовался звёздными каталогами предшественников и собственными (довольно скромными) наблюдениями. Птолемей посчитал, что равномерное движение эпициклов по деферентам, имеющим центр, совпадающий с центром Земли (как у Аполлония), не объясняет наблюдаемое движение планет. Перебрав, очевидно, множество геометрических схем, он в итоге сместил центр

каждой планетарной сферы, вынеся его за пределы Земли, таким образом, что по одну сторону от центра находилась Земля, а по другую, на том же расстоянии, воображаемая точка, из которой наблюдалось бы равномерное движение планеты. Эта

точка называлась у него эквантом. Сами же сферы уже не совершали равномерного вращения, что впоследствии считалось слабым местом у Птолемея и подвергалось критике. Сам Птолемей был прекрасно осведомлён о гелиоцентрической системе (известной по меньшей мере с III в. до н.э.), более того, для расчёта таблиц движения планет он часто использовал уравнения, которые можно вывести только из гелиоцентрической системы. Но в его время эта система считалась абсурдной с точки зрения физики. Тогда полагали, что если бы Земля двигалась вокруг Солнца, то взаимное расположение звёзд на небесной сфере должно было бы меняться (наблюдался бы параллакс). Но такое изменение никому не удавалось наблюдать. Птолемей отрицал даже осевое вращение Земли, ибо при вращении Земли центробежная сила должна выталкивать предметы в пространство. Он использовал и другие аргументы аристотелевских физиков: стрела, пущенная их лука точно вверх, возвращается к ногам стрелка, а камень, брошенный с вершины башни, падает к её основанию, тогда как если бы Земля вращалась, стрела и камень должны были бы существенно сместиться к западу. Короче говоря, собственное движение Земли считалось не научным. Система Птолемея была очень удачной версией геоцентрической Вселенной и, главное, он построил соответствующую наблюдательным данным математическую модель, несколько столетий с успехом применявшуюся в астрологических (астрономических) расчётах. Многие её элементы применяются и по сей день. Первые рукописи его классического труда в арабском



переводе (под названием "Альмагест") попали в Ватикан из Византии во второй половине XV века, а первое европейское издание в переводе Георга Пурбаха и Иоганна Мюллера вышло в Венеции в 1496 г.

Диаметр Вселенной по Птолемею выражался в относительных единицах и составлял 9 расстояний от Земли до Солнца (астрономических единиц - а.е.). Это расстояние, в свою очередь, Птолемей приблизительно оценивал в 1200 радиусов Земли. Таким образом, если принять радиус Земли равным современному значению, то получится около 70 млн. км - меньше диаметра орбиты Меркурия. Точка зрения Птолемея не была единственной: В XVI веке Николай Кузанский написал несколько философских трактатов, в которых отрицал существование неподвижного центра Вселенной, утверждал, что она (актуально) бесконечна и что небесные тела и Земля созданы из одной материи. Но такие работы не подтверждались данными науки. Мир Птолемея заканчивался непреодолимой преградой - сферой неподвижных звёзд. (Интересно, что применительно к пустоте понятие "бесконечность", очевидно, никого не смущало, во всяком случае некоторые авторы полагали, что за сферой звёзд находится бесконечное пустое пространство.) Примерно так же думал в первой половине XVI века

защитник аристотелевской физики Николай Коперник, полагая однако, что последняя сфера находится очень высоко (сейчас бы сказали, сильно удалена от Земли). Из-за этого важного допущения Коперник не мог сказать ничего конкретного об абсолютных размерах Вселенной, и его теория называла лишь относительные расстояния между планетами. По сегодняшним научным меркам гелиоцентрическая теория Коперника была чистой воды спекуляцией, призванной спасти постулат о равномерных круговых движениях, а точность составленных по ней



астрономических таблиц была ниже, чем у Птолемея. Первый вариант работы с изложением гелиоцентрической системы Коперник закончил в 1515 г. Он использовал "Альмагест" в качестве своеобразного шаблона, порой полностью переписывая из него



целые куски. Возможно, Коперник первоначально хотел написать переработанный вариант "Альмагеста", некий "Новый Альмагест", что было вполне в духе того времени (во вступлении к своей книге он осторожно писал: *"Действительно, хотя Клавдий Птолемей Александрийский, стоящий впереди других по своему удивительному хитроумию и тщательности, после более чем сорокалетних наблюдений завершил созидание всей этой науки почти до такой степени, что, как кажется, ничего не осталось, чего он не достиг бы, мы всё-таки видим, что*

вытекать из его положений; кроме того, открыты некоторые иные движения, ему неизвестные"). Пытаясь вернуть небесным телам идеальные круговые движения, Коперник в своём труде рассматривает в качестве неподвижного центра Вселенной

центр сферы, к которой прикреплена Земля (а вовсе не центр Солнца), а для того, чтобы объяснить отсутствие звёздного параллакса, он "отодвигает" сферу неподвижных звёзд фактически в потенциальную бесконечность. Земля в системе Коперника имела три равномерных движения: вокруг собственной оси, вокруг Солнца и так называемое движение по склонению (последнее - чтобы объяснить постоянное положение полюса мира на небесной сфере). Для описания движения других планет Коперник использовал эпициклы (а для Луны даже два эпицикла).

Существует распространённое мнение, будто богословы упорно держались за геоцентрическую систему Птолемея, полагая её более подходящей для христианского учения, и что гелиоцентрическая система долгое время считалась ересью и учёные - её сторонники преследовались. Это не совсем верно. Преследовались члены тайных оккультных обществ (например, герметисты), которые взяли гелиоцентрическую систему в качестве одного из краеугольных камней своего религиозно-политического учения о переустройстве мира. Причём взята была не сама гелиоцентрическая система, а лишь некоторые общие её положения или выводы, вроде того, что Земля не является центром Вселенной, или что сфера неподвижных звёзд находится очень далеко и, следовательно, размеры Земли очень малы по сравнению со всей Вселенной. Джордано Бруно был одним из теоретиков герметизма (из его классической работы "La Cena..." следует, что он даже не понимал учения Коперника), заговорщиком и революционером, за что его, собственно, и казнили в 1600 г. Другой известный "политический коперникианец" - монах Томмазо Кампанелла, автор знаменитой утопии "Город Солнца", имел славу колдуна и был главой бунтовщиков. Из-за экстремистской окраски систему Коперника с 1616 г. запрещалось преподавать в некоторых европейских университетах. Далёкий от политики Галилео Галилей пострадал (на старости лет) от этих политических разборок. Политизация научных теорий и целых направлений, преследования по этой причине учёных имеют место и сегодня, достаточно вспомнить расологию и различные ревизии истории.

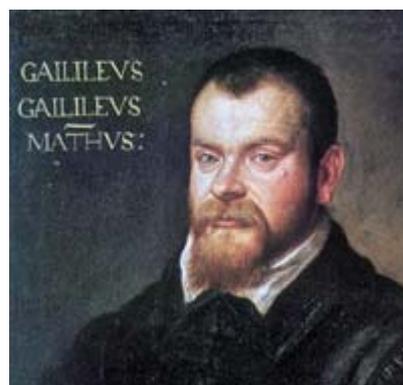
В 1605 году Иоганн Кеплер на основе анализа точнейших 15 летних наблюдений Марса, выполненных Тихо Браге, выяснил истинную форму планетарных орбит в гелиоцентрической системе: ею оказался эллипс. 15 мая 1619 года увидел свет его труд "Гармония Мира", в котором он подробно излагает закон (третий закон Кеплера), получивший впоследствии (после доработки и обобщения Исааком Ньютоном)



название "закон всемирного тяготения". Кеплер пишет: *"Если в каком-нибудь месте мира находятся два камня на близком расстоянии друг от друга и вне сферы действия какого бы ни было родственного им тела, то эти камни стремились бы соединиться друг с другом подобно двум магнитам"*. Кеплер также заложил основы дифференциального, интегрального и вариационного исчисления, открыв тем самым дорогу новой весьма эффективной методологии познания мира, основанной на математическом анализе точных измерений. Благодаря Браге и Кеплеру точность

астрономических расчётов в гелиоцентрической системе превзошла таковую в геоцентрической, поэтому надобность в последней просто отпала. Хрустальные сферы были заменены универсальной силой притяжения. Появление телескопов позволило установить, что звёзд гораздо больше, чем видно невооружённым глазом. Ещё

в конце XVI века английский астроном Томас Диггс предложил отказаться от внешней границы - непроницаемой сферы неподвижных звёзд. Галилей, одним из первых



применивший телескоп для систематических астрономических наблюдений (и поплатившийся в итоге за это своим зрением), уже чётко понимал, что звёзды разбросаны в пустоте на разном удалении от Земли, и что они такие же светила, как Солнце. Допустив, что диаметры звёзд равны диаметру Солнца, Галилей вычислил относительное расстояние до звезды первой величины. Он ошибся примерно на три порядка в меньшую сторону (из-за несовершенства своей оптики: звёзды виделись в его телескоп как маленькие диски). И Кеплер, и Галилей считали, что Вселенная бесконечна и заполнена некоей идеальной средой, но это были соображения скорее философского плана. В 1637 г. был напечатан труд Рене Декарта "Диоптрика", в котором он изложил научную теорию эфира: Вселенная заполнена невидимой всепроникающей упругой средой, колебания которой воспринимаются нами как свет, а вихри – как материя.

Между тем измерения с помощью более совершенных телескопов показывали всё большую удалённость звёзд. В 1673 г. Джованни Кассини и Жан Рише вычислили наконец расстояние от Земли до Солнца (астрономическую единицу). Оно оказалось равным примерно 140 млн. км. Христиан Гюйгенс вычислил расстояние до Сириуса - у него получилось 28 тыс. астрономических единиц. Похоже он, как и Галилей, боялся слишком больших расстояний, во всяком случае Гюйгенс тоже ошибся в меньшую сторону: на самом деле Сириус дальше раз в двадцать. В любом случае, к началу следующего (XVIII) века Вселенная представлялась учёным как гигантский идеально точный механизм, описание которого сводится к перемещению в пустоте материальных точек под действием силы притяжения. Чтобы объяснить тот факт, что звёзды (считавшиеся тогда неподвижными) не сближаются под действием закона всемирного тяготения и не слипаются в одну массу, Ньютоном пришлось обратиться к воображаемой модели актуально бесконечной Вселенной, равномерно заполненной звёздами. 10 декабря 1692 г. он писал Ричарду Бентли: *"...если бы вещество было равномерно распределено по бесконечному пространству, оно никогда не могло бы объединиться в одну массу, но части его сгущались бы то тут, то там, образуя бесконечное число огромных масс, разбросанных на огромных расстояниях друг от друга по всему этому бесконечному пространству."* В сущности, Ньютон лишь повторял мнение Кеплера. Математика тогда не умела оперировать с бесконечными множествами и бесконечная Вселенная могла рассматриваться только как парадокс (только в начале XX века Джеймс Джинс смог описать эти представления математически). Тем не менее Ньютон построил стройную систему знаний, основанную на физических законах, открытых Робертом Гуком и другими исследователями, которая полностью и качественно заменила аристотелевскую физику. Заметим, что пространство и время в ньютоновской Вселенной не зависели от материи.

В начале XVIII века Эдмунд Галлей открыл собственное движение звёзд. В конце того же века Генри Кавендиш с помощью крутильных весов измерил среднюю плотность Земли, которая оказалась в пять с половиной раз больше плотности воды (вот бы порадовался Клавдий Птолемей!), а Уильям Гершель предположил, что видимые в телескопы туманности могут быть звёздными скоплениями. Картина мира, основанная на математическом анализе и вполне доступных человеческой логике физических законах, оставалась в этом веке незыблемой.

В XIX веке наука неожиданно ушла в отрыв от здравого смысла. В 1820-х профессор Николай Лобачевский закладывает основы универсальной геометрии, в которой евклидова геометрия - лишь частный случай. Измеряя звёздный параллакс, он пытается найти кривизну реального пространства (точность измерений тогда не позволяла это сделать). Он же высказывает мысль, что геометрия реального пространства определяется физическими силами. Для образованных людей того времени это было слишком смело, многие коллеги Лобачевского стали его жёстко

критиковать, а митрополит Филарет, прочитав его книгу, объявил новую геометрию ересью - как в добрые старые времена. Лобачевского понимал, наверное, только Карл Гаусс, который также пришёл к некоторым соотношениям неевклидовой геометрии и высказывал идеи о возможной кривизне физического пространства (Гаусс испугался собственных результатов и возможной травли со стороны других математиков и не стал публиковать полученные им соотношения). Звёздный параллакс впервые грамотно измерил в 1837 г. директор Пулковской обсерватории академик Василий Струве. Это был годичный параллакс Веги (угол, под которым с Веги видна большая полуось земной орбиты) и, соответственно, Струве получил наконец достоверное расстояние до одной из ближайших к нам звёзд. Несколько позже он разработал статистический метод, позволяющий рассчитывать распределение звёзд в пространстве. Струве же открыл, что свет поглощается в межзвёздном пространстве, следовательно, оно заполнено невидимой материей. В 1845 году в Ирландии вошёл в строй крупнейший (вплоть до начала XX века) телескоп-рефлектор. Он был достаточно мощным, чтобы его владелец - лорд Росс - мог изучать туманности. Росс видел, что некоторые туманности имеют спиральную форму, а некоторые кажутся состоящими из множества звёзд. Ему, как и несколько позже Джону Гершелю, приходило в голову, что туманности - это звёздные миры вроде нашей Галактики, но он понимал также, что не сможет ничем это доказать (до 20-х годов XX века астрономическое сообщество упорно отказывалось считать туманности самостоятельными галактиками). Тогда же, в



середине XIX века, Бернхард Риман разработал математический аппарат для анализа пространств с различными геометрическими свойствами (риманова геометрия), а в конце века Георг Кантор научил математиков оперировать бесконечными множествами (теория множеств Кантора оперирует уже с актуальной - "настоящей" - бесконечностью). Переводчик Римана английский математик Вильям Клиффорд в 1876 г. опубликовал работу, в которой утверждал, что в физическом мире нет ничего, кроме кривизны пространства.

Опыты различных учёных с электричеством (в основном Майкла Фарадея) привели к созданию Джеймсом Максвеллом электромагнитной теории, которая окончательно подорвала механистические представления о мире. Из его уравнений следует, например, что поле является самостоятельным видом материи. Таким образом, к началу XX века Вселенная оказалась уже бесконечным пространством, заполненным эфиром, атомами и электромагнитными полями. Солнечной системе отводилось почётное место где-то в середине гигантского чечевицеобразного звёздного скопления - Галактики. Некоторые учёные полагали, что если отлететь в пустоту достаточно далеко, то можно увидеть весь материальный мир со стороны.

В 1887 г. гёттингенский профессор Вольдемар Фогт впервые использовал временную координату в линейных преобразованиях, получивших позже название "преобразования Лоренца". В конце XIX века в результате опытов Майкельсона и Морли, работ Джозефа Лармора, Хендрика Лоренца и Анри Пуанкаре, выяснилось, что скорость распространения любого взаимодействия относительно любой системы отсчёта ограничена скоростью света в вакууме, что для объяснения электромагнитных явлений можно обойтись без заполняющего Вселенную эфира и что даже понятие одновременности событий зависит от того, где разместить наблюдателя с часами. Примерно тогда же Роланд Этвеш экспериментально доказал равенство (с точностью до 5×10^{-9}) гравитационной и инертной массы (это означает, что действие силы притяжения, перегрузок при ускорении и центробежной силы различить между собой невозможно). В 1900 г. Макс Планк ввёл квант действия, заложив основу квантовой

теории. Через несколько десятилетий эта теория стала основным источником космологических идей.

1908 г. голландский астроном Эйнар Герцшпрунг (Hertzsprung) открыл зависимость между звёздной величиной и эффективной длиной волны, двумя годами позже Генри Рассел обнаружил аналогичную зависимость между светимостью звёзд и их спектром. Это дало в руки астрономам методику оценки расстояний до удалённых звёзд, для которых нельзя вычислить параллакс. В том же 1908 году в обсерватории на горе Маунт-Уилсон вступил в строй построенный на деньги фонда Карнеги 60-дюймовый рефлектор. На нём были получены фотографии спиральных туманностей, на которых было чётко видно, что туманности состоят из звёзд. В статьях того времени их осторожно называли "звёздообразные конденсации" и "туманные звёзды". Видимо, никто не хотел прослыть среди коллег чудаком, верящим в множественность миров. С 1912 г. астроном Лоуэллской обсерватории в шт. Аризона Весто Слайфер (Slipher) на 24-дюймовом рефракторе проводил спектральный анализ спиральных туманностей, пытаясь выяснить, с какой скоростью движется Солнечная система относительно центра нашей (как тогда думали, единственной) галактики. В 1914 г. он обнаружил, что туманность Андромеды, которую он считал газовым скоплением со звездой в центре, приближается к Земле со скоростью 300 км/сек. В 1921 г. Лундмарк вычислил более-менее достоверное расстояние до галактики М33, доказав, что она находится далеко за границами Млечного Пути. К 1925 г. Слайфер обследовал сорок три туманности и выяснил, что за некоторым исключением все они удаляются от Земли со скоростями до 1125 км/сек. К этому времени большинство астрономов уже не сомневались, что речь идёт о галактиках.



В 1915-17 гг. Давид Гильберт и Альберт Эйнштейн разработали основы общей теории относительности. По сути дела действительность в ней окончательно подменена математической абстракцией. Эта теория заменяет силу притяжения и инерцию кривизной пространства (иначе говоря, вопрос "что такое гравитация?" подменяется вопросом "что такое пространство?"). Для бесконечной Вселенной уравнения у этих учёных не получались, зато вроде бы всё сходилось для статичной замкнутой



Вселенной. Вопрос "что находится за границами?" согласно этой теории лишён смысла, потому что сама Вселенная геометрически замкнута, и сколько бы по ней ни летали, мы никогда не найдём границы или края. Это было изящное решение, но, как и постулаты СТО, оно находится за пределами нашего воображения. Для того, чтобы все тела во Вселенной не слиплись (не сколлапсировали) под действием гравитации=кривизны (вспомним Ньютона), последнюю пришлось в этой теории компенсировать антигравитацией (так называемым лямбда-членом). То есть, помимо закона всемирного тяготения, согласно которому тела притягиваются друг к другу с силой, обратно пропорциональной квадрату

расстояния, ОТО добавляет аналогичный закон, описывающий отталкивание тел, сила которого, наоборот, возрастает с расстоянием. Сила отталкивания должна проявляться только на очень больших - космологических - расстояниях. Гильберт и Эйнштейн исходили из того, что силы притяжения и отталкивания в масштабах Вселенной уравновешены. Очевидно, что сами авторы ОТО понимали шаткость такого положения (неустойчивого равновесия). В ноябре 1917 г. профессор Лейденского университета Виллем де Ситтер опубликовал статью ("Об эйнштейновской теории гравитации и её астрономических следствиях"), в которой, основываясь на работе Эйнштейна

(Эйнштейн сам прислал ему свою работу), показал, что Вселенная не может быть стационарной, она может вообще не иметь обладающих массой тел, расширяться или сжиматься, и это не противоречит основным постулатам ОТО. Вселенная в модели де Ситтера имеет форму четырёхмерной сферы (гиперсферы) - т.е. замкнута и во времени. До настоящего времени эта модель считается наиболее удачной.

В 1924 г. Карл Вирц обнаружил, что угловые диаметры спиральных туманностей связаны со скоростями их удаления: чем дальше объект, тем быстрее он удаляется. Он предположил, что это связано с космологической моделью де Ситтера, согласно которой, для случая расширяющейся Вселенной, скорость удаления объектов должна возрастать с расстоянием. Но Вирцу не поверили и даже вынудили отречься от своих слов. Понадобился огромный наблюдательный материал, собранный под руководством Эдвина Хаббла на крупнейшем в то время 100-дюймовом телескопе-рефлекторе обсерватории Маунт-Уилсон, чтобы спустя несколько лет переломить ситуацию. Благодаря его великолепным снимкам самые консервативные астрономы наконец согласились, что спиральные туманности – это галактики, аналогичные нашей. В 1929 г. Хаббл располагал надёжными данными о расстояниях до 18 галактик. К 1935 г. на выборке из 29 близких галактик Хаббл вычислил зависимость между расстоянием до галактики и скоростью её удаления. Открытие Вирца подтвердилось: чем дальше от нас галактика, тем (в среднем) с большей скоростью она от нас удаляется. Приращение скорости мы теперь называем постоянной Хаббла (хотя Хаббл и ошибся в расчётах на порядок, но тогда это было не принципиально). Главным был вывод, ошеломивший как астрономов, так и всех, кто мало-мальски интересовался астрономией: Вселенная имеет своё начало во времени. Какое-то время назад она имела размер точки (называемой сингулярностью), а потом начала взрывообразно расширяться. Из этого вывода родилась теория Большого взрыва.

В 1932 г. Ричард Толмен предложил сценарий рождения Вселенной в результате взрыва из очень плотного и очень горячего состояния. Сегодня с позиций ОТО теория Большого взрыва выглядит примерно так: в момент времени, отстоящий от нашего примерно на 14 миллиардов лет, не было ничего, в том числе пространства. Затем в результате квантовой флуктуации появилось очень небольшое в объёме пространство, заполненное сверхплотной и супергорячей материей. За время порядка одной триллионной секунды Вселенная разрослась до космологических масштабов, расталкиваемая антигравитацией или какими-то иными полями (так называемая инфляция). В результате пространство и материя эволюционировали в то, что мы сегодня наблюдаем (с позиции ОТО): расширяющаяся сферическая замкнутая Вселенная де Ситтера, в которой царствуют гравитация и антигравитация. Никакие данные астрономических наблюдений не указывают на наличие антигравитации, однако, похоже, учёных это не смущает. Не говоря уже о де Ситтере, в 1923 г. советский профессор Александр Фридман вроде бы навсегда избавился от антигравитации. Ничего не зная о Большом взрыве, он показал, что в случае бесконечной расширяющейся Вселенной можно обойтись без лямбда-члена и даже решить парадокс с конечной светимостью звёздного неба (она снижается за счёт того же эффекта Доплера). Но явно притянутая за уши идея Эйнштейна оказалась удивительно живучей. Дальнейшая судьба Вселенной в этой теории зависит от того, замедлится ли расширение вследствие торможения гравитационными силами, или оно будет происходить бесконечно долго. В первом случае, как нетрудно догадаться, Вселенная сожмётся (сколлапсирует), во втором (по новейшим данным наиболее вероятном) будет расширяться неопределённо долго...

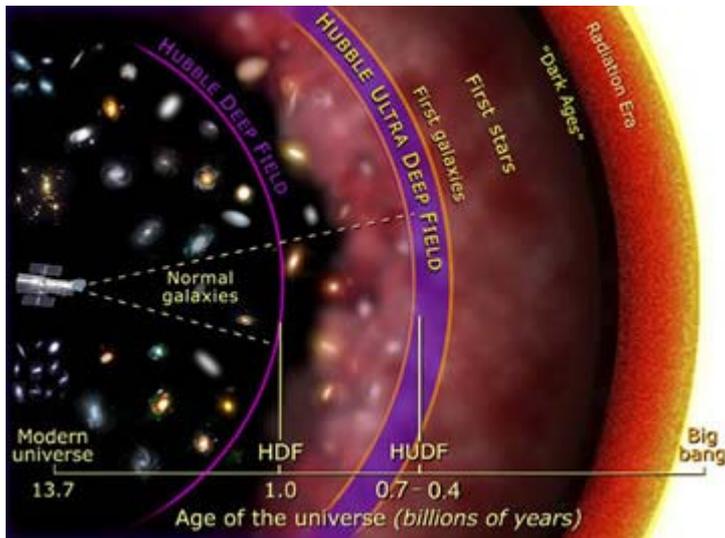
В результате экспериментов с элементарными частицами (в основном в опытах по дифракции электронов) в начале XX века стало ясно, что для них не применимы законы классической физики. На расстояниях, сравнимых с диаметром атомного ядра,

действуют другие законы (например, корпускулярно-волновой дуализм). Уже после разработки ОТО, в середине 1920-х, законы квантовой физики подробно описали цюрихский профессор Эрвин Шрёдингер (в виде уравнений волновой механики) и его коллега Вернер Гейзенберг (уравнения квантовой механики). В 1927 г. Вернер Гейзенберг сформулировал наиболее известное положение квантовой механики и квантовой теории вообще - принцип неопределённости - выражающийся соотношением, согласно которому физические величины в квантовой механике характеризуются вероятностью и не могут принимать точные значения. (Так, волновую функцию, локализирующую частицу в определённой области пространства *дельта x*, можно построить в виде пакета волн с соответствующим набором импульсов, имеющим диапазон *дельта p*; произведение *дельта x* на *дельта p* больше или равно некоей фиксированной величине. Чем меньше одна дельта - т.е. чем точнее мы измеряем соответствующую величину, - тем больше другая дельта.) Гейзенберг считал, что все наши знания по происхождению экспериментальные и что мы таким образом являемся причиной этого принципа. Многие физики тогда заговорили о радикальном пересмотре классической концепции реальности. Что из этого получилось - об этом я попытаюсь рассказать в следующем разделе, а пока вернёмся к космологии.



образом являемся причиной этого принципа. Многие физики тогда заговорили о радикальном пересмотре классической концепции реальности. Что из этого получилось - об этом я попытаюсь рассказать в следующем разделе, а пока вернёмся к космологии.

Кажется странным и в каком-то смысле нелепым, что учёные в XX веке фактически вернулись к варианту Аристотелевской модели мира двадцати двух вековой давности, отказавшись лишь от абстрактных абсолютных координат (в центре Земли). Можно рассматривать это как виток диалектической спирали, но тем не менее очевидно, что Земля всё ещё центр Вселенной по меньшей мере геометрически. Ведь на вопрос, "в какую сторону смотреть телескопу Хаббла, чтобы увидеть самые древние галактики?" любой астроном вам ответит "в любую". Объяснение этому простое: чем дальше мы заглядываем, тем дольше шёл оттуда световой сигнал, тем древнее то изображение, которое мы увидим. Надо полагать, это и есть пресловутое "пространство-время". Если мы ухитримся заглянуть на расстояние около 14 млрд световых лет*, мы (согласно принятой сегодня космологии) увидим начало времён. Фактически это значит, что край Вселенной равноудалён от Земли. Забавно, что инопланетиане, живущие от нас, скажем, в десяти миллиардах световых лет, будут наблюдать примерно ту же картину, что и мы: край Вселенной опять окажется равноудалён от их планеты.



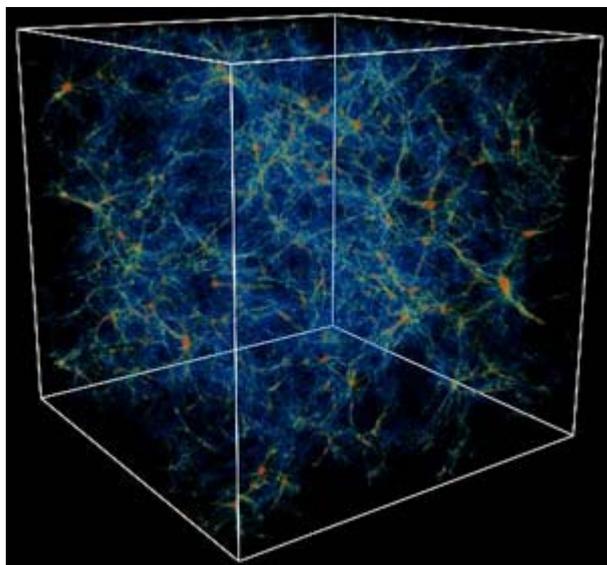
Большинство современных учебных курсов, справочников и энциклопедий утверждает, что пространство Вселенной ограничено примерно четырнадцатью миллиардами световых лет. Я не смог нигде найти достоверных данных, диаметр это или радиус: или космологам всё равно, или к гиперсфере не применимы такие понятия. Скорость разбегания галактик порядка на два меньше скорости света, и приведённый здесь размер оценивается по разлетевшемуся излучению (а не по разлетевшимися галактикам). Некоторые спекулятивные теории утверждают, что существуют физические границы этого "гиперпузыря", за которыми можно найти другие Вселенные. Можно сказать, что то, что учёные наблюдают в телескопы (и другие приборы) – всего лишь четырёхмерный пузырь диаметром (или радиусом?) около 14 млрд. световых лет.

Наблюдаемая Вселенная:

- однородна и изотропна (в ней имеют место одни и те же физические законы - хотя это больше похоже на допущение)
- пронизана однородным фоном электромагнитных волн, соответствующих температуре 3К
- свет и другие излучения имеют конечную скорость (по другому: скорость любого взаимодействия ограничена скоростью света в вакууме, которая есть фундаментальная константа)
- конечен световой поток от звёздного неба
- в спектрах далёких звёзд наблюдается (прогрессирующее с расстоянием) смещение линий в красную область
- звёздные скопления организованы так, будто в них присутствует значительная скрытая (невидимая) масса

Насколько известно сегодня, законы природы строго выполняются во всех уголках наблюдаемой Вселенной. В очень крупных (космологических) масштабах распределение вещества в ней однородно: скопления галактик объединены в сверхскопления, которые, в свою очередь, тоже скапливаются в огромные образования (сверх-сверхскопления), связанные между собой более тонкими "мостиками", образуя однородную ячеистую структуру, напоминающую рыхлый хлебный мякиш или нейроны

головного мозга (см. рис. слева). Считается, что такую структуру сформировал первичный водородный газ, заполнявший остывающую Вселенную на ранней стадии её эволюции. А уже потом из сгустков газа сформировались звёзды и галактики. Возраст Вселенной составляет 13,7 миллиарда лет (с точностью до 1%); она состоит на 73% из тёмной энергии, на 23% из холодной и тёмной (т.е. ненаблюдаемой) материи и только на 4% из атомов (в основном водорода). В настоящее время Вселенная расширяется



со скоростью 71 км/с/Мпс (с точностью до 5%), хотя в прошлом испытала ряд эпизодов быстрого расширения (инфляции). Параметры Вселенной таковы, что она будет неограниченно расширяться и в дальнейшем. Эту классическую на сегодня космологическую картину называют довольно мрачно: Inflationary Lambda Cold Dark Matter model (инфляционная модель с лямбда-членом и холодным тёмным веществом).

Но, как водится, не всё так гладко. 30 июня 2001 года NASA запустило спутник-обсерваторию им. Вилкинсона (WMAP), для изучения микроволнового фонового

излучения, возникшего всего лишь 380 тысяч лет спустя после Большого Взрыва. Они помогают дать ответы на некоторые давнишние вопросы, накопившиеся в космологии из-за недостатка точных данных. Анализ карты всего неба, построенной по результатам измерений WMAP (рис.справа), дает следующие результаты

В XX веке космология окончательно вышла за пределы человеческого воображения, уповая только на соответствие математического описания данным эксперимента (*когда то же самое случится с технологией, человечество потеряет контроль над собственной цивилизацией*). Эксперименты же часто заставляют пересматривать теорию. На практике получается, что каждый масштабный и дорогостоящий эксперимент, призванный продемонстрировать правильность той или иной теории, опровергает её или, по меньшей мере, ставит теоретиков в глупое положение.

Кроме того, как несложно заметить, каждая следующая революция в космологических представлениях сопровождалась принципиальным увеличением размеров Вселенной.

** Что касается астрономов, то они, как я понимаю, вообще не оперируют световыми годами. Для них такая единица измерения расстояний - скорее атрибут популяризации их предмета. Астрономы измеряют расстояние в парсеках. Парсек - это от ПАраллакс и СЕКунда - расстояние, на котором параллакс составляет 1 секунду. Это примерно 3,263 светового года.*