

ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО БОЛЬШОГО РАЗРЫВА ИЛИ КРАТКИЙ ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ КОСМОЛОГИИ И КОСМОГОНИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: ОТ ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО НАШИХ ДНЕЙ. ЧАСТЬ II. КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ XVI-XIX ВВ

Ю. П. Филиппов

Настоящая работа продолжает цикл из четырёх статей, являющихся кратким экскурсом в историю космологии и космогонии Солнечной системы, с охватом по временной шкале – с древнейших времен до наших дней. Выход этого цикла приурочен к 135-летию со дня рождения русского ученого с мировым именем – Фридриха А. А. – основоположника современной физической космологии, автора первой нестационарной модели Вселенной. Данная статья посвящена обзору наиболее значимых примеров космолого-космогонических моделей устройства Вселенной и Солнечной системы XVI-XIX вв. В частности, в данной работе рассмотрены гелиоцентрические системы мира Коперника и Бруно, механика и телескопическая астрономия Галилея, наблюдательная астрономия и модель геоцентрической Вселенной Браге, законы небесной механики и гениальные догадки Кеплера, а также их роль в становлении новых представлений Вселенной, космология эволюционирующей Вселенной Декарта. Особое внимание уделено работам Ньютона, его модели бесконечной гравитирующей Вселенной, а также основным тенденциям в развитии представлений о Вселенной после Ньютона вплоть до начала XX века.

Ключевые слова: космология, космогония, Солнечная система, модель, Вселенная.

1. Гелиоцентрические системы мира Коперника и Бруно

В начале XVI в. в Европе появился мыслитель, которому было суждено начать своими трудами первую великую научную революцию в естествознании – польский астроном Николай Коперник (1473-1543). Еще в 90-е гг. XV в. Коперник убедился в существовании серьезных противоречий между теорией мира Птолемея и наблюдениями [1]. В поисках новых идей он изучал сочинения и учения древнегреческих математиков и натурфилософов. Среди них были и пифагорейцы, утверждавшие подвижность Земли, и их последователи. Творческое, глубокое проникновение в древнегреческие учения и философию сформировало широкий склад мышления у самого Коперника. В XVI в. точная теория движения Солнца и Луны стала особенно необходимой для

уточнения календаря. Календарная дата весеннего равноденствия, как уже говорилось в [2], приходившаяся в IV в. на 21 марта и опрометчиво закрепленная за этим числом Никейским собором в 325 г., к XVI в. отстала от действительной даты на 10 дней! Заседавший в 1512÷1517 гг. в Риме Латеранский собор отметил чрезвычайную остроту проблемы календаря и предложил решить её крупнейшим астрономам, в том числе Копернику. Обсуждение проблемы календаря могло стать для Коперника дополнительным стимулом к тому, чтобы усиленно продолжать уже начатые им в этой области исследования. Современники и предшественники Коперника пытались исправлять лишь детали птолемеевой системы, а некоторые даже возвращались к более древним схемам – геоцентрическим сферам. Но никто из них не имел смелости отказаться от самого *геоцентрического принципа*.

Коперник первым сумел преодолеть это преклонение перед древними авторитетами и робость перед догмой и вместе с тем глубоко понять плодотворность идеи древнегреческой натурфилософии – искать простоту и гармонию в природе как

© Филиппов Ю. П., 2023.

Филиппов Юрий Петрович,

(filippov.yur@ssau.ru),

доцент кафедры общей и теоретической физики

Самарского университета,

443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

ключ к объяснению явлений. В итоге уже к 1530 г. Коперником в основном было завершено, но только в 1543 г. полностью опубликовано одно из величайших творений в истории человеческой мысли «О вращении небесных сфер. Шесть книг» [1]. Здесь автор постулировал сферичность Земли и Вселенной; равномерность, вечность и круговой характер движений небесных тел; неизмеримость неба по сравнению с размерами Земли. Среди других новый постулат – о движении самой Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца, её нецентрального положении во Вселенной и прецессионном движении.

С помощью двух основных действительных движений Земли – суточного и годового – теория Коперника сразу же объяснила смену дня и ночи, раскрыла причину суточного движения звёздного неба, все главные особенности сложных неравномерных наблюдаемых движений планет (попятные движения, стояния, петли).

Впервые было получено объяснение смены времен года [3]: Земля движется вокруг Солнца, сохраняя неизменным в пространстве положение оси своего суточного вращения. Правда, для этого Копернику, пришлось ввести «третье» движение Земли – *обратное вращение (прецессию)*, с почти тем же годовым периодом, вокруг некой другой оси, перпендикулярной плоскости эклиптики.

В центре мира Коперник поместил Солнце, вокруг которого движутся все планеты. Здесь также давалась теория движения Солнца. Однако это движение теперь рассматривалось как кажущееся, как следствие движения Земли. Луна движется вокруг Земли и, как спутник, вместе с Землёй – вокруг Солнца. В работе представлена теория затмений, оценка расстояний Солнца и Луны от Земли и их относительных размеров в земных радиусах.

Коперник *первым правильно определил строение СС* [4]: порядок удаления шести планет от Солнца и даже определил гелиоцентрические расстояния для них. Все планеты, в том числе и Земля, движутся вокруг Солнца примерно в одной и той же плоскости. Петлеобразные движения планет теперь объяснялись одной-единственной причиной – годовым движением Земли вокруг Солнца. На огромном расстоянии от планетной системы находилась сфера «постоянных» звёзд.

Однако в следующих положениях коперниковской модели Вселенной явно просматривалась её ограниченность. Коперник представлял Вселенную замкнутым пространством, ограниченным сферой звёзд, неподвижных каждая на своём месте. Подобно им, он считал истинные движения небесных тел равномерными и круговыми [5]. Стремление восстановить чистоту планетной теории, прежде всего в этом отношении, достигать строгого выполнения провозглашенных Платоном и утвержденных Аристотелем основных принципов движения небесных тел, равномерного круго-

вого характера, что явно нарушалось в системе Птолемея введением экванта, было для Коперника, по его собственным словам, одним из стимулов для поисков иных способов описания движений небесных тел. Кроме того, Коперник в своей теории *не смог избавиться полностью от эпициклов*, но смог существенно сократить их количество – эпициклов стало 34, вместо 80 у Птолемея.

Коперник впервые отметил основную особенность птолемеевой и других подобных систем – их условный, модельный характер и ограниченность узкопрактическими целями. Эти теории позволяли предвычислять лишь направления на небесные светила.

Развитие идей Коперника получило в работах итальянского философа Дж. Бруно (1548-1600). Одной из главных целей в своей жизни он видел борьбу за истину. Идею Коперника он считал таковой и яростно и дерзко отстаивал свою точку зрения, за что и был в последствие казнен церковной инквизицией. В его картине мира (в отличие от Коперника) Вселенная представляется вечной, никем не сотворенной, материально единой средой, бесконечно развивающейся в своих частях, с бесконечным числом очагов разума в ней [3]. Многие идеи Бруно оказались преждевременными, недоступными для понимания и были надолго забыты. Но одна уже вскоре овладела умами людей. Это – возрожденная им впервые на естественнонаучной основе идея о множественности обитаемых миров. Она существенно меняла астрономическую картину мира, став одним из первых мировоззренческих следствий великой революции Коперника.

2. Механика и телескопическая астрономия Галилея

Новый этап в расширении границ познания Вселенной человечеством связан во многом с великим итальянским физиком и астрономом Галилео Галилеем (1564-1642). Он первым ввел в «земную» механику движения количественный эксперимент и математическое описание явлений [3]. Такой подход в корне отличался от чисто качественных методов научного исследования в средние века. Фактически *он заложил основы научного метода изучения природы*, который заключается в количественном анализе наблюдаемых частных явлений и обобщении их в виде установления общего закона. Из такого подхода развился в дальнейшем *индуктивный метод познания природы*: от частного к общему [6].

Он определил основные понятия кинематики и динамики, дал описание равномерного и равноускоренного движений и ввел *принцип относительности классической механики* (принцип Галилея). Его исследования в механике, наряду с законами Кеплера, легли в основу классической ньютоновской физики и физической картины мира.

Первостепенная роль в становлении новых представлений о Вселенной и подтверждении тео-

рии Коперника, прежде всего, сыграли его астрономические открытия, сделанные при помощи телескопа. Они были представлены в его трудах [7]: «Звёздный вестник» (1610), «О солнечных пятнах» (1613), «Диалог о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой» (1632).

Несмотря на нечеткость первых изображений, *телескоп Галилея колоссально расширил пределы наблюдаемой Вселенной* и впервые подтвердил некоторые гениальные догадки древнегреческих натурфилософов [3]: в бледных облаках Млечного Пути он обнаружил протяженные мириады звёзд, подтвердив догадку Демокрита.

Галилей заметил, что в отличие от планет, которые в поле зрения его телескопа имели вид кружков, звёзды всегда оставались точками, лишь увеличиваясь в яркости. Это было новым доводом в пользу безмерной удаленности звёзд и, таким образом, подкрепляло мнение Коперника о причине ненаблюдаемости параллактических смещений у звёзд.

Галилей первым подробно описал поверхность Луны, разглядев её неровность, шероховатость, наличие впадин и возвышенностей, горных хребтов и протяженных долин, подобных земным. Он впервые оценил высоту лунных гор (около 7 км) и отметил их особую, кольцевую форму (цирки).

В 1610 г. он обнаружил у Юпитера 4 спутника, получивших впоследствии название галилеевых спутников [8]. Он установил периодичность в их движении и тем доказал, что это спутники планеты. Этим была разрушена уникальность Луны как единственного спутника Земли среди планет Солнечной системы (СС).

Обнаружение в декабре 1610 г. фаз у планеты Венеры, как у Луны, в том числе и «полной Венеры», *явились первым неопровержимым аргументом, показывавшим несостоятельность системы Птолемея*, в которой Венера, будучи нижней планетой, не могла оказываться в фазе «полновенерия» [9].

Рассматривая в телескоп Сатурн, Галилей заметил по бокам его диска странные выступы – по факту наличие гигантской системы колец. Однако он принял их за два спутника планеты, очень близких к ней [10].

Планетные наблюдения и новые открытия Галилея впервые «приблизили» небесный мир к земному, обнаружив первые свидетельства принципиального единства физической природы Земли и планет и развенчав аристотелевы представления об идеально круглых и гладких небесных телах.

3. Наблюдательная астрономия и модель Вселенной Тихо Браге

Родоначальником точной наблюдательной астрономии в Европе считается датский астроном Тихо Браге (1546-1601). Он создал в Европе первую специально оборудованную для систематических наблюдений астрономическую обсерваторию

и построил крупные, уникальные для Европы инструменты [11].

Браге получил первую известность своими наблюдениями и описанием сверхновой звёзды 1572 г., вспыхнувшей в созвездии Кассиопеи [3]. Он первым доказал, что этот «огненный метеор» – вовсе не атмосферное явление, это удивительное изменение светила произошло на расстоянии не ближе Луны, т. е. в области других обычных звёзд.

Браге определял положения и движения светил с небывалой до той поры точностью. К нему стекались многочисленные ученики, его посещали даже коронованные особы. Столкнувшись с неточными прогнозами гео- и даже гелиоцентрических таблиц он осознал, что повышение точности астрономических наблюдений может существенно улучшить прогностическую способность теории, что и стало главным делом жизни Тихо Браге [12].

Существенного увеличения точности визуальных наблюдений можно было добиться лишь путем увеличения размеров измерительных инструментов – квадрантов и секстантов [11]. Именно по этому пути пошел Браге. Он добился невиданной для европейцев того времени точности в измерениях угловых расстояний между светилами ($5 \div 10''$).

Большую роль в повышении точности наблюдений сыграли многочисленные внесенные Тихо Браге технические усовершенствования, а также новая, впервые разработанная и примененная им методика наблюдений. Методика его наблюдений стала основой современной практической астрономии [13]. Здесь Браге впервые ввел различные поправки, учитывающие механические и другие погрешности, взаимную нейтрализацию ошибок путем многократного повторения одного и того же наблюдения в различных условиях и т. д.

Особое внимание Браге уделял кометам. Измерив параллакс кометы 1577 г., он впервые в истории астрономии достаточно убедительно доказал, что это космические тела, а не атмосферные явления (как считал, например, много позже Галилей) [12]. Но *самая большая заслуга Тихо Браге – организация и проведение* впервые в истории европейской астрономии *систематических многолетних астрономических наблюдений*.

Если наблюдения Коперника исчислялись десятками, то у Тихо Браге наблюдений одного только Солнца – причём непрерывных изо дня в день, из года в год – в течение 20 лет насчитывалось несколько тысяч. В результате он определил продолжительность года с ошибкой меньше 1 секунды и составил таблицы движения Солнца, по которым его положение на небе определялось с точностью до $1'$.

В движении Луны он открыл два новых неравенства – вариацию и годичное уравнение [13]. Ему же принадлежит открытие – теперь уже как наблюдательного факта – колебаний наклона лун-

ной орбиты к эклиптике и изменений в движении лунных узлов – точек пересечения орбиты Луны с эклиптикой. Кроме того, он составил уточнённый каталог тысячи звёзд.

Наиболее важными для последующего развития астрономии оказались весьма точные по тем временам измерения Тихо Браге положений Марса. Они проводились непрерывно в течение 16 лет, за которые Марс успел обойти 8 раз вокруг Солнца [11]. Планета наблюдалась по всей своей орбите. Мечтой его жизни было создать более точную теорию планетных движений, ибо все существовавшие в то время астрономические таблицы, как уже говорилось, содержали наибольшие ошибки именно в предвычислении положений планет.

Браге не принял гелиоцентрическую систему мира Коперника [3]. Он считал невозможным удовлетворительно объяснить расхождение прямых следствий системы Коперника с наблюдениями (ненаблюдаемость параллактического смещения у звёзд и фаз у Венеры и Меркурия). Объяснить же это удаленностью звёзд от планетной системы и планет друг от друга он также считал неразумным, поскольку, будучи сторонником концепции о целесообразности природы, не мог объяснить существование «совершенно неиспользуемой» пустоты, особенно между планетной системой и звёздами.

Тихо Браге обнародовал в 1588 г. свою компромиссную и остроумную систему мира с неподвижной Землёй в центре Вселенной, вокруг которой обращаются Луна и Солнце, а уже вокруг последнего остальные пять планет [12]. Именно эту систему, надеялся подтвердить Браге с помощью своих наблюдений Марса, самой «непокорной» планеты при составлении прогнозов. Не располагая достаточными математическими знаниями, он пригласил к себе с этой целью в Прагу молодого немецкого математика и астронома И. Кеплера. Однако и тот не оправдал его надежд... Вопреки желанию и завещанию Браге, его обширные и точные наблюдения Марса стали фундаментом, на котором началось создание истинной механики неба, окончательно утвердившей справедливость гелиоцентрического принципа устройства планетной системы.

4. Законы небесной механики и догадки о природе Вселенной Кеплера

Великий немецкий математик, астроном, механик Иоганн Кеплер (1571-1630) получил от Браге большой массив наблюдательных данных по планетам, которые необходимо было корректно обработать. Приступив к обработке, он вскоре осознал, что использование круговых орбит не даёт адекватных прогнозов для положения планет в будущем. Пять лет отняла у Кеплера трудоёмкая математическая обработка огромного материала наблюдений лишь за движением Марса [6]. За это время Кеплер решил ряд других важных задач, например, он создал метод определения точной ор-

биты Земли – «метод постоянного положения», гениальный по простоте и остроумию.

К 1605 г. Кеплер открыл и в 1609 г. опубликовал в работе «Новая астрономия» первые два закона планетных движений (сначала для Марса, затем распространив их на другие планеты и спутники) [1]. Первый его закон утверждал эллиптическую форму орбит, отрицая принцип круговых движений в Космосе. Другой описывал изменение скорости истинного движения планеты по орбите (закон площадей), что было несовместимо с принципом равномерности небесных движений.

Кеплер ввёл пять элементов орбиты (параметров, определяющих гелиоцентрическую орбиту планеты) и нашёл уравнение для вычисления положения планеты на орбите в любой заданный момент времени. Тем самым он сделал открытые им законы рабочим инструментом для наблюдателей [3]. *Астрономия Кеплера в отличие от астрономии предшественников была нацелена на выявление истинных траекторий движения небес, а не видимых!*

В 1619 году Кеплер в книге «Гармония мира» установил универсальную зависимость (третий закон) между периодами обращения планет и средними расстояниями их от Солнца. Это окончательно убедило его в том, что движением планет управляет Солнце [14].

Кеплер первым в мире задавался вопросом: что и как движет планетами? Почему именно столько планет в СС и почему они так расположены в СС? Так в 1596 г. в своём первом космологическом сочинении «Продромос» он обратил внимание на то, что с удалением от Солнца периоды обращения планет увеличиваются быстрее, чем радиусы их орбит, т. е. уменьшается скорость движения планет. В его сознании сформировались две гипотезы: либо движущая сила сосредоточена в каждой планете (как думал Бруно) и у далёких планет она почему-то меньше, чем у близких (так думал Тихо Браге); либо она единая для всей системы и сосредоточена в её центре – Солнце, которое действует сильнее на близкие и слабее на далёкие планеты (подобно ослаблению света). Кеплер в итоге остановился на втором варианте. С установлением своего закона площадей он увидел в нём подтверждение силового воздействия Солнца на планеты – уменьшение скорости планет по мере увеличения радиусов их орбит Кеплер объяснял уменьшением действия силы со стороны Солнца с увеличением гелиоцентрического расстояния [15].

Кеплер сделал первую в новое время попытку решить вопрос о физической природе и точном математическом законе действия силы, движущей планеты. Кеплер развил идею силы тяготения как универсального свойства всех небесных тел [15]. Воспользовавшись аналогией со светом, он, однако, попытался для силы, движущей планеты, впервые учесть то, что движение планет про-

исходит почти в одной плоскости. Это привело его к ошибочному выводу, что сила, движущая планеты, обратно пропорциональна самому расстоянию, а не квадрату его [16]. Опираясь на свой принцип инерции покоя, Кеплер, хотя и на ошибочных основаниях, сделал правильный вывод, что любое тело может покоиться в любой точке пространства, а не в особых «естественных» местах. Эта идея стала важной предпосылкой для формирования представлений о бесконечной однородной изотропной Вселенной. Таким образом, благодаря Кеплеру астрономия после пятнадцативекового перерыва вновь прониклась идеей физической причинности. У Кеплера физика входила в астрономию как инструмент исследования, как новый аспект изучения Вселенной, раскрывающий более глубокое содержание наблюдаемых астрономических явлений. Именно физический, динамический смысл, который Кеплер вкладывал в открытые им законы, как и точность самих законов, направили мысль исследователей по новому руслу, что привело к созданию новой физической картины мира и новой науки – небесной механики [16], со всеми её грандиозными результатами: от предсказания открытия планет до расчёта траекторий межпланетных кораблей.

5. Космология эволюционирующей Вселенной Декарта

Первую универсальную физико-космологическую картину мира на основе гелиоцентризма попытался [13] построить французский физик и математик Рене Декарт (1596-1650).

В основу физической картины мира Декарт положил идею о том, что в физическом мире не существует ничего, кроме движущейся материи [17]. *Роль бога не отрицалась, но ограничивалась лишь творением самой материи и сообщением ей начального движения.* В дальнейшем, как считал Декарт, *все явления природы и процессы в ней совершаются по естественным законам и объясняются механическим взаимодействием элементарных материальных частиц.* Взаимодействие частиц Декарт представлял в виде давления или удара при соприкосновении частиц друг с другом и ввёл тем самым в физику идею близкого действия [18]. Эта идея стала основной для физики и космогонической картины мира Декарта.

Он развил возрожденную Коперником идею относительности движения, показав полное равноправие движущихся частиц [19]. Из этих соображений Декарт заключил, что состояние движения ничем не отличается от состояния покоя, и более полно, чем Кеплер, *сформулировал закон инерции, распространив его и на состояние движения.* Окончательная (современная) формулировка этого закона позднее была дана Ньютоном.

Декарту принадлежит первая формулировка и другого важнейшего физического закона – закона сохранения общего количества движения (импульса) при ударе тел [20]. Согласно Декар-

ту, тело при столкновении с другим телом теряет столько собственного движения, сколько сообщает его другому телу. Его теория удара была ещё не вполне правильной: *в ней не учитывалась неизвестная тогда возможность перехода энергии механического движения тела в энергию внутреннего движения частиц обоих тел* (в теплоту). Но сама идея сохранения количества движения оказалась чрезвычайно глубокой и явилась отправной точкой для исследований, которые привели к установлению принципа сохранения и превращения энергии.

Механическим движением и взаимодействием элементарных частиц различных размеров и формы Декарт пытался объяснить [17] все наблюдаемые физические явления и свойства тел: теплоту, свет, электричество, магнетизм, агрегатное состояние тела, тяжесть, сцепление и т. д.

Впервые небесные тела и их системы рассматривались в их развитии. Для XVII в., когда господствовало ещё схоластически-религиозное учение о неизменности Вселенной, эта идея была необыкновенно смелой. Развивая возрожденную Кеплером античную идею *космического материального вихря*, Декарт пришёл к мысли, что все небесные тела образовались в результате вихревых движений, происходивших в однородной вначале мировой материи – эфире [17]. Он полагал, что совершенно одинаковые элементарные материальные частицы, находясь в непрерывном движении и взаимодействии, меняли свою форму и размеры, что и привело к наблюдаемому богатству и разнообразию природы. Солнечная система, согласно Декарту, представляет собой один из таких вихрей мировой материи.

Центральное светило в нём – Солнце состоит из более тонкой мировой материи, а планеты и кометы – из более крупных частиц, отброшенных в процессе вращения к периферии. Планеты не имеют собственного движения – они движутся, увлекаемые мировым вихрем. Декарт внёс и новую идею для объяснения тяжести: он считал, что в вихрях, возникающих вокруг планет, частицы давят друг на друга и тем вызывают явление тяжести (например, на Земле) [19]. Таким образом, Декарт *первым в новое время стал рассматривать тяжесть не как врождённое, а как производное качество тел.*

Исходя из общей идеи, что во Вселенной нет абсолютно неподвижных точек, Декарт за много десятилетий до обнаружения европейскими учёными собственных движений звёзд предсказывал это: «Я не сомневаюсь, что и звёзды всегда несколько изменяют своё взаимное расположение, хотя их и считают неподвижными». Система мира Декарта – это первая, во всяком случае, после Аристотеля, попытка построить научную физическую всеохватывающую, а главное, эволюционную космологическую концепцию мира [3]. Уже самой по-

становкой такой задачи он опережал современную ему науку на столетия!

6. Ньютон и его гравитирующая Вселенная

Наиболее актуальной проблемой астрономии XVII в было объяснение физических причин существования самой СС и движения небесных тел в ней, которое подчинялось загадочным, точным, но всё ещё не объясненным эмпирическим законам Кеплера. Эта проблема была решена Исааком Ньютоном (1642-1727) – величайшим английским физиком, математиком, астрономом, оптиком.

На его счету [8] *три основных закона динамики*, создание новых могучих математических методов описания природы – *дифференциального и интегрального исчисления*, ставших фундаментом современной высшей математики, *изобретение телескопа-рефлектора*, открытие сложного спектрального состава белого света и едва ли не главное – *открытие закона всемирного тяготения* – основы современной небесной механики! В математике и физике, наконец, в самом стиле научного мышления, в подходе к явлениям и методам исследования природы в XVII-XIX вв. господствовало направление, известное под именем *ньютонианского* (ньютонического) [13].

В основе метода Ньютона лежит *экспериментальное установление точных количественных закономерных связей между явлениями и выведение из них общих законов природы методом индукции* [21]. Если Галилей ввёл индуктивный метод в физику, то Ньютон его развил, популяризовал и сделал полноценным завершённым научным методом познания.

К 60-м г. XVII в. накопилось немало новых фактов в физике и астрономии. Ньютон обобщил их, завершив *создание классической механики – динамики*, в основе которой лежали три установленных им закона. Он завершил и начатое Галилеем создание *системы понятий и принципов механики*.

В астрономии на протяжении почти полувека после открытий Кеплера и по заданной им программе естествоиспытатели тщетно пытались найти физическое основание трёх законов – законов планетных движений. В поле зрения физиков и астрономов входила древняя идея: тяготение как некая вполне реальная сила, способная не только притягивать тело, но и двигать его «вбок», т. е. в перпендикулярном направлении. Возникал вопрос: по какой траектории могло бы двигаться тело в пространстве под действием подобной силы? Описать количественно действие силы тяготения, а именно решить, по каким кривым будут двигаться тела под действием такой силы, никому не удавалось. Эту задачу решил Ньютон, создав свою гениальную теорию всемирного тяготения. В качестве отдельных элементов в его теорию гравитации вошли открытые Кеплером кинематические законы планетных движений, открытые Га-

лилеем закономерности прямолинейного движения тел под действием сил и построенная Гюйгенсом теория центростремительной силы, возникающей при криволинейном движении [21].

В теории Ньютона *тяготение стало эмпирически обоснованным постулатом*, утверждавшим, что *эта сила универсальна и проявляется между любыми материальными частицами независимо от их качеств и состава, пропорциональна их массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними* [22].

Физическая идея тяготения формировалась до Ньютона в трудах многих других учёных, например, Коперника, Кеплера, Гюйгенса, Гука, Галлея. Гук, а за ним Галлей даже утверждали обратную квадратичную зависимость притяжения от расстояния между телами [1]. Объединить качественную идею тяготения с наблюдаемыми законами движения небесных тел оказалось под силу только Ньютону. *Идея превратилась в точный универсальный закон гравитации* как центральной силы лишь после того, как Ньютон показал *неразрывную связь и взаимообусловленность законов Кеплера и уже допускавшейся зависимости силы тяготения от расстояния*. Законы движения планет перестали быть эмпирическими правилами. Их роль была передана более глубокому уровню свойств материи – *всемирному тяготению* [3].

Причину и природу тяготения Ньютон не считал возможным обсуждать за неимением на этот счёт достаточного количества фактов. Поэтому теорию тяготения Ньютона можно называть *феноменологической*. Более глубокое объяснение гравитации было дано только в общей теории относительности Эйнштейна. Подход Ньютона к изучению явлений природы оказался исключительно эффективным. Его теория тяготения была уже не общим натурфилософским учением, а точным (и более чем на два века единственным) рабочим инструментом исследования окружающего мира, прежде всего движения небесных тел. Закон всемирного тяготения стал *физическим фундаментом небесной механики* [22].

Из закона всемирного тяготения Ньютон вывел в качестве следствий кеплеровы законы эллиптического движения и при этом уточнил их [8]. Он показал, что в СС в общем случае движение может происходить по любому коническому сечению, включая параболу и гиперболу. На этом основании Ньютон сделал вывод о единстве законов движения комет и планет и впервые обоснованно включил кометы в состав СС. Ньютон создал математический (геометрический) метод вычисления истинной орбиты кометы по её наблюдениям, что позволило Галлею, развившему этот метод в аналитической форме, открыть первую периодическую комету (комета Галлея).

Разрозненные прежде и загадочные явления на Земле и на небе: приливы и отливы, сжатие планет (уже обнаруженное тогда у Юпитера), на-

конец, прецессия – нашли чёткое объяснение в *единой теории всемирного тяготения Ньютона* [22]. Он весьма точно вычислил и величину прецессии – $50''/\text{год}$, выделив в ней солнечную и лунную составляющие. Новыми, подтвердившимися лишь после смерти Ньютона, были его *выводы о сплюснутой у полюсов форме Земли*.

Ньютону принадлежит великая заслуга объяснения возмущенного движения в СС как неизбежного следствия устройства этой системы [23]. Чисто кеплеровское движение, определяемое действием одного центрального светила – Солнца, как показал Ньютон, обязательно будет нарушаться у планет и спутников из-за их взаимного воздействия друг на друга. Эти отклонения были впервые обнаружены ещё древними греками в движении Луны, как отклонения от некоего правильного движения.

Ньютон как величайший мыслитель того времени не мог не задумываться и над проблемами предельно широкими, касающимися устройства Вселенной в целом. Но и здесь он применял метод индукции, анализировал прямые логические следствия уже установленных законов. Так, сформулировав закон всемирного тяготения как универсальный закон природы, справедливый для всей Вселенной (хотя он был тогда согласован с наблюдениями лишь в пределах СС), Ньютон рассмотрел возможную структуру *гравитирующей Вселенной* в двух альтернативных сценариях – конечной и бесконечной Вселенной [3]. Он пришёл к выводу, что лишь во втором случае рассеянная в начальный момент материя могла образовать множество космических объектов, так как только в бесконечной Вселенной могут существовать многочисленные равноправные центры гравитации. В конечном же объёме все эти отдельные тела рано или поздно слились бы в единое тело в центре мира. Уже само наблюдение бесчисленных звёзд (которые к тому времени считались «солнцами») подсказывало вывод о бесконечности мирового пространства. Поэтому *фундаментом для всех последующих гравитационных (ньютоновских) моделей Вселенной стало представление о бесконечном пространстве*, в котором находятся бесчисленные космические объекты, связанные друг с другом силой всемирного тяготения, определяющей характер движения этих объектов. Между тем Ньютон склонялся к идее крайней разреженности мировой материи, не вызывающей заметного торможения планет. Он стал основоположником *принципа дальнего действия* – как мгновенной передачи действия тяготения через пустоту, т. е. с бесконечной скоростью.

Ньютон задумывался и над проблемой происхождения такой упорядоченной Вселенной. Однако здесь он столкнулся с задачей, для решения которой не располагал научными фактами. Вместе с тем он первым отчётливо понял, что одних только механических сил для этого мало. Убе-

дившись в неизбежности возмущений в движениях планет и спутников (т. е. отклонений от кеплеровых законов), которые могли иметь и вековой характер, нарастая со временем, Ньютон в то же время не имел никаких оснований для уверенности в устойчивости, сохранении уже имевшихся гравитирующих систем, например планетной. Тайной оставалось и начало орбитального движения планет. Поэтому Ньютон традиционно допускал некий божественный «первый толчок», благодаря которому планеты приобрели орбитальное движение, а не упали на Солнце [23]. Объяснив упорядоченное движение планет естественной физической причиной – законом всемирного тяготения, он, тем не менее, вынужден был сделать вывод о необходимости время от времени подправлять (тем же божественным вмешательством) расшатываемый взаимными возмущениями механизм планетных движений [23], заводить «мировые часы». Лишь полвека спустя, под воздействием открытий самого Ньютона, появились новые модели ньютоновской Вселенной, в которых уже была исключена идея божественного «начального толчка», а на её место пришла идея естественной эволюции материи в Космосе под действием сил гравитации.

7. Эволюция представлений о Вселенной в XVIII-XIX вв

XVIII век – век просвещения, возрождающихся материалистических учений, набиравшего темп экспериментального естествознания. На этом этапе развития научного познания наиболее эффективным оказался именно *феноменологический подход* в объяснении явлений, могучий *индуктивный метод Ньютона*. Феноменологическая, но опиравшаяся на строгие количественные законы, физика Ньютона определила и главные черты новой, сформировавшейся на её основе гравитационной физической картины мира, которая под именем ньютоновской на два века стала направляющим и контролирующим фактором в развитии естествознания.

Сформировавшись на основе механики Ньютона, она в своих деталях и нюансах отличалась от воззрений её основателя: *идеи Ньютона обрели вид абсолютных утверждений*. А полученные на основе наблюдений и точных измерений, проведённых в пределах СС, *законы были перенесены (экстраполированы) на всю мыслимую Вселенную*. Что же представляла собой эта ньютонианская гравитационно-механическая картина мира? Её стержнем была *идея материального единства небесного и земного*, т. е. мира в целом, который, хотя и создан некогда богом, но существует и изменяется по естественным законам.

В основе всех явлений и процессов лежит механическое движение. Наиболее универсальной и главной силой в Космосе представлялась гравитация. Физическая картина мира рисовалась абсолютными категориями: абсолютное пространство

и абсолютное время, существующие и без материи, без материальных тел, сами по себе. Бесконечный набор любых величин для любых процессов: допускались любые значения для скорости, направления движений, масштабов материальных тел и их систем. Астрономическая картина мира, или вернее, астрономический аспект картины мира, включая в качестве фундамента эти физические идеи и представления, дополнялся специфическими идеями и представлениями об устройстве, составе и состоянии Вселенной. *Вселенная представлялась бесконечной*, по крайней мере, *в пространственном отношении*. Момент божественного творения её уже отвергался. Сотворение же самой материи представлялось теперь как некое краткое и отдалённое предисловие к бесконечно долгому «роману», действие в котором развивается уже по своим естественным законам под действием гравитации. По мере накопления наблюдательных сведений о составе, структуре, свойствах ранее известных или вновь открываемых объектов в Космосе формировались всё более сложные модели Вселенной на базе гравитации, но их базовые принципы, заложенные Ньютоном, оставались прежними вплоть до работ А Эйнштейна начала XX в.

Научная революция, начатая Коперником в астрономии, привела к коренному изменению и физической картины мира, так вместе с геоцентризмом была разрушена и физика Аристотеля и его космология. Этот революционный процесс достиг своего апогея в идейной борьбе Галилея и Кеплера, с трудов которых начинается история нового естествознания и формирования новой физической картины мира. Этот грандиозный труд был завершён Ньютоном созданием классической полной системы механики и гравитационной космологии.

Литература

1. Березин В. А. Космология от Адама и Евы до Алексея Старобинского. Часть 1. // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. – 2019. – №2. – С. 28-43.
2. Филишов Ю. П. Эволюция Вселенной от Большого взрыва до Большого разрыва или краткий экскурс в историю космологии и космогонии Солнечной системы: от древнейших времен до наших дней. Часть I. Космологические модели древнего мира. – Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета. – 2023. – №1(22). – С. 13-23.
3. Еремеева А. И., Цицин Ф. А. История астрономии. – М: МГУ, 1989. – 348 с.
4. Ахутин А. В. Тяжба о бытии/ Новация

Коперника и коперниканская революция. – М.: РФО, 1997. – С. 181-243.

5. Веселовский И. Н. Очерки по истории теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1974. – 287 с.
6. Веселовский И. Н. Кеплер и Галилей. – Историко-астрономические исследования. – 1972. – XI. – С. 19-64.
7. Зубов В. П. Галилей и борьба за новую систему мира. – Философский журнал. – 2008. – №2. – С. 88-110.
8. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. – М.: УРСС, 2019. – 544 с.
9. Кузнецов Б. Г. Галилео Галилей. – М.: Наука, 1964. – 328 с.
10. Силкин Б. И. В мире множества лун. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 208 с.
11. Левин А. Звездочёт с острова Гвен. – Популярная механика. – 2009. – № 11. – С. 32-44.
12. Белый Ю. А. Тихо Браге. – М.: Наука, 1982. – 229 с.
13. Паннекук А. История астрономии. – М.: Наука, 1966. – 590 с.
14. Белый Ю. А. Иоганн Кеплер. – М.: Наука, 1971. – 295 с.
15. Белый Ю. А. Вклад Кеплера в развитие математики и его астрономические исследования. – Историко-астрономические исследования. – 1972. – XI. – С. 65-106.
16. Бондаренко С. Б. Путь к славе Иоганна Кеплера. – Философия науки. – 2016. – №4. – С. 146-175.
17. Асмус В. Ф. Декарт. – М.: Высшая школа, 2006. – 335 с.
18. Гайденок П. П. Декарт// Новая философская энциклопедия: в 4 т./ пред. науч.-ред. совета В. С. Стёпин. – М.: Мысль, 2010. – 2816 с.
19. Катасонов В. Н. Метафизическая математика XVII в. – М.: Наука, 1993. – 142 с.
20. Кирсанов В. С. Научная революция XVII века. – М.: Наука, 1987. – 151 с.
21. Акройд П. Исаак Ньютон. Биография. – М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2011. – 256 с.
22. Карцев В. П. Ньютон. – М.: Молодая гвардия, 1987. – 416 с.
23. Кобзарев И. Ю. Ньютон и его время. – М.: Знание, 1978. – 63 с.

**EVOLUTION OF THE UNIVERSE FROM THE BIG BANG
BEFORE THE BIG RIP OR A BRIEF EXCURSION
IN THE HISTORY OF COSMOLOGY AND SOLAR SYSTEM
COSMOGONY: FROM ANCIENT TIMES
TO THE PRESENT DAY. PART II.
COSMOLOGICAL MODELS XVI-XIX CENTURIES**

Ju. P. Philippov

This work continues a series of four articles, which are a brief excursion into the history cosmology and cosmogony of the Solar System, covering the time scale – from the most ancient times up to the present day. The release of this cycle is dedicated to the 135-th anniversary of the birth of the world-famous Russian scientist Fridman A. A., the founder of modern physical cosmology and the author of the first non-stationary model of the Universe. This article is devoted to a review of the most significant examples of cosmological-cosmogonic models of the structure of the Universe and the Solar system XVI-XIX centuries. In particular, in this paper, we consider the Heliocentric systems of the Copernicus and Bruno, mechanics and telescopic astronomy of Galileo, observational astronomy and Brahe's model of the geocentric Universe, the laws of celestial mechanics and Kepler's brilliant guesses, as well as their role in the formation of new ideas about the Universe, the cosmology of the evolving Descartes' Universe. Particular attention is paid to the works of Newton, his model of an Infinite gravitating Universe, as well as the main trends in the development of ideas about the Universe after Newton until the beginning of the 20th century.

Keywords: cosmology, cosmogony, Solar System, model, Universe.

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.