

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, Я. В. ТАРАРОЕВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ТРЕТЬЕЙ РЕВОЛЮЦИИ В АСТРОНОМИИ

Прошедшее XX столетие с полным правом можно назвать столетием революций. Из их целого ряда, затронувших самые разные аспекты человеческого бытия, по своей значимости можно выделить социальные процессы, приведшие к возникновению обществ, основанных на новых принципах, и «взрывные» процессы развития научного знания, его качественного углубления и расширения. Причем сам XX век в буквальном смысле начался с революционного преобразования наших представлений как о физическом мире, так и о методологических основах его исследования. Последний год XIX в. в истории науки значится как год, в котором М. Планк выдвинул квантовую гипотезу, а Д. Гильберт сформулировал знаменитую программу развития и обоснования математики. Разумеется, на протяжении XX столетия научные революции происходили, и не раз, и в других дисциплинах, прежде всего естественнонаучных¹. Из всей их совокупности наибольшим мировоззренческим потенциалом (за исключением, может быть, физики) обладает астрономия, и с этой точки зрения представляет интерес не столько исследовать революции в астрономии в прошлом², сколько на основании уже имеющегося материала обсудить возможность очередной революции в астрономии в новом XXI столетии. Этому и посвящена данная работа.

В качестве отправной точки возьмем статью известного советского астронома И. С. Шкловского, написанную почти три десятилетия назад и посвященную своеобразному подведению итогов развития астрономии в последней четверти XX в.³ Отталкиваясь от предложенных Шкловским критериев научной революции, мы постараемся в данной работе ответить на вопрос о том, следует ли ожидать в астрономии новой революции в XXI столетии.

Анализ работы Шкловского приводит к выводу, что в качестве критериев революционных изменений в астрономии он рассматривал следующие:

1. Методология и методы исследования.
2. Новые объекты исследования.
3. На этой основе формирование определенной новой астрономической парадигмы.

¹ Динамика научно-технического прогресса определяется прежде всего естественнонаучными революциями. Технические революции, которые представляют собой практическую реализацию полученного естественными дисциплинами нового знания, следуют за ними через относительно небольшой промежуток времени. Вопрос о революции в гуманитарных науках остается за рамками нашего рассмотрения.

² Революция в астрономии XVI–XVII вв. считается классической научной революцией и в качестве таковой она рассматривается рядом специалистов – историков и философов науки, прежде всего Т. Куном в его известной работе «Структура научных революций».

³ Шкловский И. С. Вторая революция в астрономии подходит к концу // Проблемы современной астрофизики. М., 1988.

Рассмотрим эти факторы подробнее. В развитии астрономии с XVI по XX вв. принято выделять (что делает и Шкловский) две революции: в начале Нового времени и в XX в. В применении к ним критерии «революционности» работали следующим образом.

1. Методология и методы исследования в астрономии в эпоху Нового времени были существенным образом изменены. Прежде всего это касается развития инструментальной базы. Самым крупным достижением за всю историю астрономии в этом направлении было, видимо, использование Галилеем в 1610 г. телескопа для исследования ночного неба. Отсюда берет свое начало телескопическая астрономия. В рамках первой научной революции использование телескопа не только существенным образом изменило традиционные до этого астрономические исследования (астрометрические задачи, кинематические задачи и некоторые другие), но и заложило основу для целого ряда принципиально новых направлений и задач. В качестве таковых можно указать дифференциацию астрономии на планетную, звездную, а позднее и внегалактическую, возникновение в XIX в. спектрального анализа и его использование в астрономии, определение расстояний во Вселенной, связанной с параллаксом звезд, и многое другое.

2. Возникновение новых направлений тесным образом связано с появлением в астрономии новых объектов исследования. В качестве наиболее значимых примеров можно указать следующие. Галактика как единая целостная система, планеты не только как «блуждающие звезды»,двигающиеся по небу согласно некоторому закону, а как принципиально новые физические объекты, не излучающие, а отражающие свет, кометы и астероиды как объекты, имеющие собственную физическую природу, газопылевые туманности и облака и некоторые другие. В этом смысле астрономическая научная картина мира существенным образом расширилась и качественно обогатилась, что, безусловно, является одним из наиболее важных результатов этой революции в астрономии.

3. Оба этих факта позволили сформировать определенную астрономическую парадигму, которую условно можно назвать «субстанциональной и неизменной во времени картиной Вселенной». Согласно этой парадигме, астрономия дает определенный временной «срез» Вселенной, однако этот срез предполагается инвариантным относительно как временной шкалы, так и любых пространственных систем отсчета. Это же положение выражается еще и в абсолютном космологическом принципе, согласно которому Вселенная однородна не только в пространстве, но и во времени. Непременными атрибутами такой картины мира являются представления о выделенной системе отсчета – абсолютном пространстве и абсолютном времени. Всякая динамика (как изменение вообще) носит не «глобальный», а «локальный» характер. Концепция абсолютного пространства и времени называется еще субстанциональной концепцией. Термин «субстанция» введен еще Аристотелем и обозначает автономное, независимое от чего-либо существование, существование «само по себе». В этой астрономической парадигме существуют независимо (в данном случае от материи) не только пространство и время. Сами астрономические объекты в этой концепции рассматриваются как самостоятельные и автономные, не нуждающиеся, кроме пространства и времени, ни в чем другом для своего существования. Впрочем, подобная концепция характерна не только для астрономии, но и в целом для науки рассматриваемого периода.

В качестве еще одного относительно самостоятельного, однако связанного с парадигмой, критерия революционных изменений в астрономии можно выделить критерий «дисциплинарности».

4. Согласно этому критерию определенной парадигме⁴, которая сформировалась в результате революционных изменений, соответствует некоторая «классическая» дисциплина. Термин «классическая» здесь имеет тот же смысл, что и в выражении «классическая немецкая философия», т. е. образцовая, совершенная, завершенная. Такой дисциплиной для данной парадигмы стала небесная механика, которая вполне может считаться образцом логичности изложения, системности и завершенности в своих основах. В таком качестве она могла состояться только благодаря развитию теоретической механики, и в этом смысле в критерий дисциплинарности необходимо включить еще ряд смежных дисциплин, определяющих развитие «классической» дисциплины.

Таким образом, изменения, произошедшие в астрономии в XVI–XVII вв., вполне можно назвать революционными.

Теперь перейдем к рассмотрению факторов второй революции в астрономии в середине XX в.

1. Методология и методы исследования в астрономии были существенным образом расширены и дополнены. Основной прорыв в методах исследования произошел в переходе к всеволновым исследованиям и, соответственно, всеволновым приемникам излучения. С середины XX в. астрономы исследовали Вселенную не только в оптическом, но и во всех остальных диапазонах электромагнитного спектра: гамма, рентгене, ультрафиолете, инфракрасном, радио. Это было обусловлено, с одной стороны, прорывом в теоретической физике и астрофизике, а с другой – развитием прикладной физики, и связанных с ним телескопостроения и создания приборов – приемников всех этих видов излучений.

Начало космической эры впервые в истории человечества позволило использовать в астрономии не только наблюдение, но и эксперимент. Это касается прежде всего планетной астрономии, особенно с того времени, когда автоматические космические аппараты смогли производить посадку на поверхность планет и вести их исследования с околопланетных орбит. Однако методическая новизна второй революции в астрономии этим не исчерпывается. Кроме исследований всего спектра электромагнитного поля, появились новые носители информации. Так, например, в качестве относительно самостоятельного раздела наблюдательной астрономии можно рассматривать нейтринную астрономию. Не менее значимые изменения произошли и в традиционной оптической астрономии. Приблизительно со второго десятилетия XX в., когда началось совершенствование технологии постройки телескопов и создание телескопов с диаметром зеркала более 2,5 м, существенное развитие получило еще одно направление в оптической астрономии – внегалактическая астрономия. И, разумеется, картина была бы не полной, если не сказать, что существенный вклад в новые методические возможности внесло развитие техники обработки информации.

⁴ И. С. Шкловский не выделяет этот критерий в качестве отдельного, оставляя его даже не как один из элементов «парадигмы» (этот термин Шкловский не использует), а как элемент «картины Вселенной», однако выделение его в качестве самостоятельного позволяет еще более наглядно представить результаты изменений в астрономии, происходящих вследствие научных революций.

2. Результатом изменений в астрономии, как и в случае с первой революцией, стало открытие новых объектов исследования. Наиболее существенные из них связаны с исследованием космоса в радиодиапазоне. Это оболочки взорвавшихся звезд, пульсары, центр Галактики, активные ядра галактик, квазары, реликтовое (микроволновое) излучение⁵. Некоторые из них, как, например, микроволновое (реликтовое) излучение «видны» только в радиодиапазоне, другие наблюдаются во всем электромагнитном спектре. Кроме этих объектов всеволновые исследования открыли и новые объекты, проявляющие себя только в каком-то одном диапазоне электромагнитного спектра, как, например, излучающие гамма-лучи и жесткие рентгеновские лучи. Кроме того, были открыты принципиально новые источники излучения, имеющие нетепловую природу.

Выход в оптическом диапазоне за пределы Галактики открыл астрономам мир галактик, позволив изучать их морфологию, а затем и параметры их эволюции. Важнейшее достижение наблюдательной астрономии – получение наблюдательного материала, позволившего построить в первом приближении целостную картину рождения и эволюции звезд, начиная от газопылевых комплексов, в которых они формируются, а также картину эволюции различных классов звезд, представленных на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Стали возможны наблюдения (прямые или косвенные) звездных «останков»: белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр. Наблюдаемые сами по себе, они тоже представляют в некоторых случаях класс новых для астрономии объектов⁶. Однако их совокупность, осмысленная теоретической астрофизикой, позволила построить основы целостной и непротиворечивой теории эволюции звезд.

3. Развитие астрофизики и космологии в ходе второй эволюции в астрономии позволило сформировать новую астрономическую парадигму, которую с полным правом можно назвать «эволюционной». Астрономия, сформировав теорию эволюции наиболее распространенных объектов в современной Вселенной – звезд, – с полным правом могла уже называться дисциплиной, которая не только исследует и классифицирует морфологические типы своих объектов, но и изучает их образование и эволюцию. Такой же дисциплиной (как результат второй эволюции в астрономии) смогла называться и нестационарная релятивистская космология, которая сформировала теорию эволюции Вселенной в целом. Для этой теории наблюдательная космология представила эмпирические доказательства в лице «разбегания» удаленных внегалактических объектов (закон Хаббла), открытия реликтового излучения, изотропии наблюдаемой части Вселенной и объяснения относительного содержания во Вселенной химических элементов. Впрочем, представления об эволюции в астрономии, возникшие как результат второй революции, касались не только звезд и Вселенной, но в той или иной степени относились ко всем объектам астрономических исследований: планетам, малым телам, туманностям, галактиками и т. п.

Если же говорить о Вселенной, то предпосылки эволюционных представлений о ней появились впервые в 1916 г. благодаря пересмотру субстанциональной концепции пространства и времени, которые осуществил А. Эйнштейн, и переходу к реляционной⁷ концепции пространства и времени. Со-

⁵ См., например, Брауде С. Я., Конторович В. М. Радиоволны рассказывают о Вселенной. Киев, 1982.

⁶ По крайней мере, самые начальные и самые конечные этапы эволюции звезд.

⁷ От англ. *relation* – связь, отношение.

гласно этой концепции локальные свойства единого четырехмерного пространства-времени, связанные с некоторой локальной системой отсчета (глобальной, универсальной системы отсчета, отождествляемой в классической механике с абсолютным пространством и временем в этой концепции нет), определяются распределением и движением в нем различных физических форм материи. Иными словами, распределение и движение материи определяет геометрию пространства-времени. Подобная роль связей является весьма важной с точки зрения формирования новой научной парадигмы вообще, и астрономической в частности. Представления о значимости связей оказались весомыми не только в теории о пространстве и времени (первые эмпирические ее подтверждения были получены астрономическими наблюдениями в 1919 г.), но и в целом в астрономической картине мира, в которой происходило переключение внимания непосредственно с объектов «самих по себе» на системы и связи, которые они образуют, развитие системного подхода и системных методов. Все это позволяет назвать астрономическую парадигму, сформировавшуюся в результате второй революции, как «эволюционно-реляционной» или просто «реляционной», поскольку сама эволюция предполагает наличие временных связей.

Подобное положение дел может рассматриваться как исчерпание субстанциональной онтологической парадигмы Аристотеля и переход к новой пост-аристотелевской парадигме, в основе которой лежит положение о том, что абсолютно независимых вещей и явлений не существует и связи могут обладать онтологической значимостью. Однако термин «исчерпание» не означает полный отказ от онтологических взглядов Аристотеля. Там, где это уместно и эффективно и с практической, и с познавательной точек зрения, представления о субстанциональных единичных вещах может и должно полагаться в основу процесса познания и в основу нашего практического взаимодействия с окружающим миром. Но там, где речь идет об углублении наших знаний о фундаментальных свойствах мира, описание его сущностных характеристик, понятие о взаимосвязи его составных также является принципиально значимым. Однако получившаяся в результате второй революции в астрономии научная картина мира совмещала в себе две парадигмы, и в этом смысле она может рассматриваться как переходная. В концептуальных взглядах на пространство и время на первое место выходили представления о связях, а само пространство-время рассматривалось как определенный тип отношений. Кроме того, представления о системности материальных объектов, отношение между которыми и определяли свойства пространства-времени, занимали все более значимое место в исследованиях. Однако сами конечные, предельные элементы материи, по сути, еще вполне представимы в духе субстанций Аристотеля, как отдельные, не зависящие ни от чего элементы. Как пишет Шкловский:

Мы утверждаем, что достигнутый в настоящее время физикой уровень познания структуры материи вполне достаточен для объяснения если не всех, то почти всех явлений во Вселенной (кроме сингулярности). Эти явления происходят либо на уровне взаимодействия атомов, молекул и квантов излучения, (туманности, ядра галактик), либо на уровне ядерных взаимодействий (звездные недра, взрывы звезд, процессы в активных ядрах галактик)... Ожидаемая область неведомого в физике находится в субъядерной области; там же начинается царство кварков, глюонов, чармионов и пр. Несомненно, исследования в этой области приве-

дут к качественно новому этапу в познании материи. Но они (за исключением опять-таки проблем сингулярности Вселенной и некоторых аспектов проблем взрыва звезд и активности галактических ядер) не изменит коренным образом лица астрономии⁸.

Эта цитата наглядно иллюстрирует, что основной физической концепцией описания мира и, соответственно, описания мира, исследуемого астрономией, является концепция частиц, согласно которой «первичной данностью» является морфологический «набор» элементарных частиц вещества и поля, из которых «конструируется» все многообразие физической реальности. Каждый из типов элементарных частиц является своеобразной субстанцией в том смысле, что его существование не зависит от других типов частиц, и их характеристики являются некоторыми «независимыми параметрами». Кратко эту концепцию можно сформулировать так: Все есть частицы и их взаимодействия. Эта концепция, как видно из цитаты, лежит в основании астрономической картины мира, сформировавшейся в результате второй научной революции.

4. Рассматривая критерий дисциплинарности, с точки зрения результатов второй революции в космологии, можно сделать вывод, что на статус «классической» дисциплины для данной науки с полным правом могут претендовать две: астрофизика и обобщающая ее результаты космология. Именно в этих двух дисциплинах были получены наиболее значимые результаты в ходе второй революции в астрономии⁹. Соответственно, наиболее развитой смежной с астрономией дисциплиной является физика, в первую очередь атомная физика, физика ядра и элементарных частиц, а также радиофизика.

Такими, если излагать кратко и схематично, были критерии и результаты первых двух революций в астрономии. Исходя из них, можно попытаться смоделировать, хотя бы в общих чертах, основные признаки и саму возможность третьей революции в астрономии. С одной стороны, она должна будет заполнить «вакантные ячейки», оставленные двумя предыдущими, а с другой, безусловно, качественно расширить наши представления о Вселенной и ее отдель-

⁸ Шкловский. Вторая революция... С. 215–216.

⁹ Признание достижений в этих научных астрономических направлениях имеет и формальный аспект, выразившийся в присуждении Нобелевских премий в номинации «физика»: 2006. Джордж Ф. Смут и Джон С. Мэйзер (США) – «За открытие чернотельности спектра и анизотропии микроволнового фонового излучения», 2002. Р. Дэвис (США) и М. Косиба (Япония) – «За передовые разработки в обнаружении космических нейтрино», Р. Джаккони (США) – «За работы, приведшие к открытию космических источников рентгеновского излучения», 1993. Р. А. Халс и Дж. Н. Тейлор (США) – «За открытие нового типа пульсара, что дало новые возможности для исследования гравитации», 1983. С. Чандрасекар (США) – «За физические исследования структуры и эволюции звезд», В. А. Фаулер (США) – «За теоретические и экспериментальные исследования ядерных реакций, отвечающих за формирование химических элементов во Вселенной», 1978. А. А. Пензиас и К. В. Вилсон (США) – «За открытие космического микроволнового фонового излучения» 1974. М. Райл (Великобритания) – «За пионерские исследования в радиоастрофизике», А. Хьюиш (Великобритания) – «За определяющую роль в открытии пульсаров» 1970. Х. О. Г. Альвен (Швеция) – «За фундаментальные работы и открытия в магнитогидродинамике и их применение в различных разделах физики плазмы», Г. А. Бете (США) – «За открытия, связанные с проблемами выделения энергии в звездах», 1936. В. Ф. Гесс (Австрия) – «За открытие космических лучей».

ных составляющих. Исходя из этого, сформулируем критерии третьей научной революции.

1. *Методы и методология.* Методы и методология, как уже говорилось выше, тесным образом «переплетены» с обнаружением новых объектов исследования, хотя в качестве особенности третьей революции, вероятно, следует ожидать того, что эти новые объекты в большинстве своем или будут обнаружены, или уже обнаружены на основе существенного усовершенствования традиционных для нынешней астрономии методов исследования. Это касается прежде всего наблюдения в оптическом и радиодиапазонах. Дальнейшие перспективы развития технологий этих наблюдений связаны с несколькими направлениями. В первую очередь это увеличение самих приборов. В оптическом диапазоне, например, уже сейчас действуют телескопы, диаметр зеркала которых составляет 10 м, однако существуют проекты, в которых диаметр зеркала может составлять до 100 м. Разумеется, это будет не монолитное, а состоящее из множества элементов зеркало. Негативным фактором при пуске таких телескопов в эксплуатацию на поверхности Земли является влияние атмосферы. Однако техника обработки информации настолько усовершенствовалась, что уже сейчас при помощи такой техники (адаптивной оптики) влияние этого негативного фактора можно значительно уменьшить¹⁰.

Следующее направление – вынесение приборов в космическое пространство. Для коротковолнового и инфракрасного диапазонов спектра электромагнитного излучения это дает возможность вообще проводить наблюдения, а в оптическом – значительно повысить их эффективность. В радиоастрономии появляется возможность построить систему радиотелескопов, работающих как интерферометр со сверхдлинной базой, большей диаметра Земли. Причем эта база могла бы иметь расстояния уже астрономических масштабов, например, от Земли до Луны, или даже до Марса, что существенно позволит повысить разрешающую способность наблюдений.

Кроме того, дальнейшее развитие методов и методологии астрономических исследований в ходе возможной третьей революции в астрономии может быть связано с дальнейшим расширением природы изучаемого излучения. Как было сказано выше, в ходе второй революции астрономами был «освоен» весь спектр электромагнитного поля. Однако, кроме него, по крайней мере в настоящее время, известно еще три вида полей – гравитационное, сильное и слабое. Два последних являются короткодействующими¹¹, тогда как гравитация является далекодействующим взаимодействием, проявляющимся на астрономических и космологических масштабах. Практическое исследование гравитационного взаимодействия в виде эмпирического обнаружения гравитационных волн является комплексной проблемой на стыке астрономии и физики, однако при совершенствовании технологии фиксации гравитационных волн в перспективе она может стать составной частью астрономии, как, например, относительно недавно стала радиоастрономия. Попытки обнаружить гравитационные волны предпринимаются уже не одно десятилетие, однако пока не увенчались успехом. Можно предположить,

¹⁰ См., например, *Пачини Ф., Рихтер В., Вильсон Р.* Оптические телескопы будущего. М., 1981.

¹¹ Действующими на масштабах порядка 10^{-10} см.

что их обнаружение существенным образом расширит наши астрономические представления.

Еще одно направление в развитии астрономии может возникнуть в связи с новейшими открытиями, такими как «темная энергия», и развитием современной физики, прежде всего теории струн. И то и другое по возможности исследуется традиционными методами, сложившимися после второй революции в астрономии, однако может случиться так, что дальнейшее развитие этих направлений приведет к появлению новых методов, о которых мы можем сейчас и не догадываться. Однако то, что это уже стало предметом исследования, можно утверждать с полным правом.

Перспективы развития новых методов в астрономии, по крайней мере в настоящее время, при существующих в большинстве высокоразвитых стран социально-экономических отношениях имеют еще одно «измерение» – общественное. Подобные исследования требуют больших финансовых затрат, которые в значительной мере превышают финансовые затраты, связанные со второй революцией в астрономии. Проблема заключается в том, готово ли общество и прежде всего его политическая и экономическая элита выделять эти средства на исследования, или же и общество, и элита предпочитают тратить средства на военные нужды, предметы роскоши для высших кругов или пустые и никчемные «зрелища» для масс.

Таким образом, развитие указанных методов и методологий зависит сейчас от решения этих вопросов не меньше, чем от сугубо научных аспектов.

2. *Новые объекты исследования.* Рассматривая вопрос о новых объектах исследования, необходимо сказать о так называемой «темной энергии»¹². Она была открыта традиционными для астрономии методами посредством оптических (наблюдения удаленных сверхновых типа Ia (1998)) и радионаблюдений (анизотропия микроволнового (реликтового) излучения). Однако ее природа и через 10 лет после открытия остается до конца неопределенной. Первоначально предполагалась, что ее возможно отождествить с физическим вакуумом, однако впоследствии выяснилось, что темная энергия может представлять собой многокомпонентный физический феномен, в который, кроме уже известных форм материи (физический вакуум, квинтэссенция), может входить и неизвестная, которая была названа «фантомная энергия»¹³. Определение всех компонентов темной энергии есть астрономическая задача, решаемая сугубо астрономическими методами. Вместе с тем определение *природы* темной энергии (в случае невозможности свести ее к известным формам и ви-

¹² Термин «темная энергия» – дословный перевод с английского *dark energy*, где он впервые появился. «Темный» – потому, что данное явление не наблюдается не только в оптическом, но и ни в каком другом диапазоне электромагнитного спектра, судить о нем мы можем только по ускоренному удалению от нас далеких космологических объектов, «энергия» подчеркивает то, что эта энергия не есть энергия вещества, а энергия какой-то другой физической формы материи. Кроме того, в английском языке этот термин в какой-то мере вынужденный, ибо в нем понятия «материя» и «вещество» выражаются одним и тем же словом *substance*.

¹³ См., например: *Carroll, S. M. Why is the Universe Accelerating? // arXiv:astro-ph/0310342 v1; Johri, V. B. Phantom Cosmologies // arXiv:astro-ph/0311293 v3; Linder, E. V. The Dynamics of Quintessence, The Quintessence of Dynamics // arXiv:0704.2064v1; Caldwell, R. R., Kamionkowski, M., Nevin, N. Weinberg Phantom Energy and Cosmic Doomsday // arXiv:astro-ph/0302506 v1.*

дам материи) есть задача комплексная, решаемая совместно, прежде всего физиками-теоретиками и астрономами-наблюдателями ¹⁴. В настоящее время трудно прогнозировать, как скоро будет решена эта задача – через годы или десятилетия. Однако ее однозначное решение будет безусловным рывком в развитии наших знаний о Вселенной, и ее решение можно рассматривать как один из критериев третьей революции в астрономии.

Еще одним новым объектом астрономии, но, в отличие от «темной энергии», в принципе хорошо нам знакомым, может быть обнаружение планет и планетных систем у других звезд (экзопланет) ¹⁵. Сейчас известно около 200 планет вне пределов Солнечной системы. Правда, все они не похожи на планеты земной группы, а являются планетами-гигантами. Однако открытие экзопланет осуществляется очень быстрыми темпами даже при современных технологиях, и можно с уверенностью говорить, что в ближайшем будущем планеты земного типа будут обнаружены. А это окончательно переводит поставленную еще Джордано Бруно проблему о существовании внеземной жизни и, главное, внеземного разума из плоскости умственных спекуляций в практическую плоскость, т. е. в плоскость исследования и ее решения астрономическими методами, прежде всего методами радиоастрономии ¹⁶. В пределах нашей Солнечной системы вновь открытым объектом является внешний пояс астероидов – пояс Койпера.

В качестве критериев революционных изменений в астрономии можно указать и на объекты, связанные с физикой элементарных частиц. Как основной объект в этом смысле может рассматриваться решение проблемы «темного вещества» – вещественных форм материи, проявляющейся через гравитационное взаимодействие, и никаким другим образом. В настоящее время основной рабочей гипотезой относительно природы «темного вещества» является предположение о том, что оно представляет собой совокупность гипотетических частиц (аксионов, нейтралино и т. п.) ¹⁷. Обнаружение этих или подобных им частиц, существование которых следует из «Стандартной модели» физики частиц, а также обнаружение других объек-

¹⁴ См., например, *Simon, D. M. White Fundamental Physics: Why Dark Energy is Bad for Astronomy* // arXiv:07042291v1; *Kratochvil, J., Linde, A. Testing the Cosmological Constant as a Candidate for Dark Energy* // arXiv:astro-ph/0312183 v1; *Martins, C. J. A. P. Astrophysical Probes of Fundamental Physics* // arXiv:astro-ph/0610665 v1.

¹⁵ Ряд специалистов это направление рассматривает как наиболее перспективное из тех, которые способны существенным образом в ближайшее время расширить наши представления о мире. (См., например: *Turon, C., Done, C., Quirrenbach, A. et al. Trends in Space Astronomy and Cosmic Vision 2015-2025* // arXiv:astro-ph/0510809 v1)

¹⁶ Собственно говоря, попытки практического решения проблемы поиска (и связи) внеземных цивилизаций предпринимались еще как результат второй революции в астрономии. Были разработаны и осуществлялись специальные программы поиска (Search of Extraterrestrial Intelligence – SETI) и связи (Communication of Extraterrestrial Intelligence – CETI) с внеземными цивилизациями. К сожалению, они не принесли никакого положительного результата и были свернуты в 1994 г. (сейчас эти проекты существуют не за счет государственного финансирования, а за счет частных пожертвований). Обнаружение планет, подобных Земле, безусловно, вызовет всплеск интереса к ним со стороны общества и государства, оптимизирует и систематизирует их, позволив начать качественно новый этап их развития.

¹⁷ См., например: *Krauss, L. M. Dark Matter Candidates: What Cold, ..and What's Not* // arXiv:hep-ph/0702051v1.

тов, связанных с темным веществом, существенным образом расширит наши представления о Вселенной.

3. *Новая парадигма в астрономии.* Возникновение новой, четвертой парадигмы в астрономии, вероятно, будет тесно связано, как и в случае с первой и второй революциями, с возникновением и развитием новой парадигмы в физике. В настоящее время такую физическую парадигму связывают с теорией струн. В отличие от предыдущих революций, формирование данной парадигмы связано не только с трансформацией представлений о пространстве¹⁸ и времени, но и с коренным пересмотром представлений о фундаментальных основаниях материи. Согласно теории струн точечные элементарные частицы (кварки, лептоны, фотоны и др.) не являются конечным пределом структурированности материи, т. е. не являются элементарными в полном смысле этого слова. Соответственно, их физические параметры (масса, заряд, лептонный или барионный заряд, спин и пр.) являются не «свободными параметрами». Сами частицы представляют собой некоторые структуры (суперструны), находящиеся в состоянии автоколебаний. Следовательно, физические параметры частиц согласно этой теории определяются модами колебаний и зависят от амплитуды и частоты этих колебаний. В ранних теориях струн в качестве колебательных объектов рассматривались одномерные (замкнутые и незамкнутые) струны, в более поздних – многомерные объекты (получившие название «брана» соответствующей размерности) с пространственной размерностью 10 или 11 и временной – 2 или 1. Стремительное развитие теории струн выявило, что сама теория представима в пяти вариантах, однако в 1995 г. стало ясно, что их все можно объединить в одну. Эта объединенная теория получила название М-теории¹⁹.

Теория струн/М-теория интересна не только сама по себе, но и своими приложениями, прежде всего в астрономии и в первую очередь в космологии. Есть перспективы решить с ее помощью ряд фундаментальных проблем, например, проблему сингулярности и проблему инфляции²⁰. Справедливо и обратное – астрономия может стать той дисциплиной, где теория струн впервые (пусть даже косвенно и опосредованно) получит эмпирическое подтверждение²¹. Разумеется, это не исключает работу в парадигме «точечных частиц». В настоящее время большая часть работ, связанных с космологией, выполняется именно в ней, однако использование теории струн в космологии можно уже рассматривать как определенную тенденцию. Нечто подобное, хотя и в

¹⁸ Напомним, что до первой революции и в физике, и в астрономии, еще со времен античной Греции использовалось главным образом не понятие «пространство» (χώρα), а понятие «место» (τόπος). Это было обусловлено отсутствием в аристотелевой физике (наивысшем концептуальном (теоретическом) достижении физической мысли античности) закона инерции (первого закона Ньютона) и, как следствие, отсутствием представлений о неограниченном прямолинейном равномерном движении.

¹⁹ Грин Брайн. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиск окончательной теории. М., 2004.

²⁰ См., например: *Gasparini, M., Veneziano, G.* String Theory and Pre-big bang Cosmology // arXiv:hep-th/0703055v1; *Kallosh, R.* On Inflation in String Theory // arXiv:hep-th/0702059v1; *Linde, A.* Inflation and String Cosmology // arXiv:hep-th/0107176v1; *Ward, J.* Instantons, Assistend Inflation and Heterotic M-Theory // arXiv: hep-th/0511079v4; *Andersson, L., Heinzle, J. M.* Eternal Acceleration From M-Theory // arXiv:hep-th/0602102 v2.

²¹ См., например, *Kallosh, R., Linde, A.* Testing String Theory with CMB // arXiv:0704.0647v1 [hep-th].

гораздо меньших масштабах, наблюдается в астрофизике. В качестве примера можно назвать работы П. И. Фомина, решающего проблему джетов (выбросов вещества в виде струй из активных ядер галактик и квазаров) не при помощи «концепции точечных частиц», а при помощи теории струн²².

Возможное более широкое использование теории струн как базисной физической концепции в астрономии вполне укладывается в логику смены парадигм в результате научных революций. В результате первой революции сформировалось и утвердилось представление о субстанциональном характере пространства, времени и материи. Результатом второй революции стало утверждение о взаимосвязи пространства и времени (реляционная концепция) и о системном подходе в описании астрономических явлений. Однако основанием всякой материальной системы по-прежнему выступают «субстанциональные» элементы (частицы), свойства которых являются «независимыми свободными параметрами». Теория струн продолжает эту тенденцию, отказываясь от субстанциональности частиц и рассматривая их как самовзаимодействующие²³ элементы, осуществляющие это взаимодействие через движение (колебания). Тем самым, согласно теории струн на вопрос «что существует?» мы можем ответить, что существует не элементарная частица как «субстанциональная данность» со своими независимыми свойствами, а струна, движение которой «генерирует» эти свойства.

4. *Дисциплинарная формализация.* Пока не представляется возможным говорить о формализации определенной дисциплины в качестве «классической» для будущей астрономии. Вероятнее всего, такая дисциплина будет представлять собой органическое единство знаний о мире в его наибольших (мегамир) и наименьших масштабах (мир элементарных частиц и их представления как бран). Рабочее название такой дисциплины (которое иногда используется уже и сейчас) – космомикрoфизика. Однако дело не в названии, а в содержании. Космомикрoфизика с необходимостью должна будет включать в себя и новые методы, и новые объекты и иметь основание в виде новой парадигмы. Каким все это будет, покажет время.

Еще одним поистине революционным обстоятельством, находящимся в процессе своего становления, является возникшее на стыке космологии ранней Вселенной (квантовой Вселенной) и физики сверхвысоких энергий представление о возможной множественности вселенных, обладающих при этом различными фундаментальными свойствами – различным числом измерений пространства и связанным с ним характером фундаментальных взаимодействий, с различным спектром масс элементарных частиц. На смену понятию Универсум приходит представление о Мультиверсуме. С точки зрения пространственно-временной структуры мира еще одним термином для описания такой совокупности вселенных может быть термин «гигамир». Он логически

²² Фомин П. И. Квантово-полевой подход к теории релятивистской струйной активности квазаров и галактических ядер // Украинский физический журнал. 1991. Т. 36. № 12. С. 1785–1795; Фомин П. И., Томченко М. Д. О механизме передачи энергии и момента в релятивистских струях квазаров и радиогалактик // Кинематика и физика небесных тел. 1997. Т. 13. № 5. С. 24–35.

²³ Представление о самовзаимодействии вытекает из представлений об автоколебаниях струн, несущих «ответственность» за физические параметры частиц. По определению, автоколебания это те колебания, которые осуществляются без внешнего взаимодействия, следовательно, единственной причиной их может быть самовзаимодействие.

замыкает ряд понятий – микромир (описывается квантовой физикой) – макромир (описывается классической физикой) – мегамир (описывается общей теорией относительности) – гигамир (описывается создаваемой сейчас квантовой теорией гравитации).

Итак, обобщая сказанное о возможности третьей революции в астрономии, мы можем сделать следующие выводы.

1. В настоящий момент, вслед за Шкловским, можем говорить о завершении второй революции в астрономии, поскольку и новые методы исследования, и новые объекты исследования, и новая парадигма уже вырисовываются в достаточной мере. Это будет парадигма построения целостной картины Мультиверсума, в которой все подсистемы нашей Вселенной (от скоплений галактик до планетных систем) будут связаны последовательными генетическими связями.

2. Анализируя современное состояние астрономии, можем констатировать, что в ее развитии наблюдаются определенные тенденции, которые при благоприятных обстоятельствах (в том числе социально-политических и социально-экономических) приведут к революционным изменениям в ней самой и в смежной с ней дисциплинах. Сколь долго продержится такая ситуация кануна или начала революции – сказать трудно, поскольку много конкретных факторов развития астрономии еще не определены и в то же время очень быстро происходит их изменение.