

УДК 160.1

УНИФИКАЦИЯ: КОСМОЛОГИЯ И ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.Л. Симанов

Рассмотрены возможности и проблемы унификации космологии и физики высоких энергий в рамках программы, разработанной А.Д.Сахаровым.

Ключевые слова: методология, космология, физика высоких энергий, унификация

В современной физике определились тенденции, которые позволяют утверждать, что складывается новая физическая картина мира. Эти тенденции имеют некоторые параллели с развитием классической механики и ее методологии и формированием механистической картины мира. Такая параллель, в частности, заключается в существующих сейчас попытках интерпретировать будущую новую картину мира как единое (унифицированное) физическое знание о мире и методах получения этого знания, что имело место и в случае классической механики и механистической картины мира. Надо сказать, что для таких выводов имеются определенные резоны, связанные с интеграционными процессами в современной физике.

Одно из направлений интеграции (на наш взгляд, наиболее активно обсуждаемых) представляет собой попытку построения теории великого объединения, описывающей общим формализмом электромагнитные, гравитационные, сильные и слабые взаимодействия. Другое направление, менее обсуждаемое, но тем не менее вызывающее значительный интерес в связи с его перспективностью, связано с первым, – фактически унификацией космологии и физики высоких энергий в рамках космофизики, программу развития которой в значительной степени сформулировал А.Д. Сахаров [1]. Формируется и третья (в рамках гипотез и предварительных идей)

направление, выраженное в попытках «безмассового», «беспространственного» и «безвременного» формулирования физических понятий и законов.

Разумеется, приведенное деление носит условный, в значительной степени абстрактный характер, так как все эти направления в познавательной реальности связаны между собой самым тесным образом, что особенно относится к первым двум. Они используют одинаковые формализмы, опираются в основном на одну и ту же эмпирическую базу. Основанием для их выделения является разница в предметных областях и акцентах в методологии, методике и, что существенно, в использовании математического аппарата.

Третье направление имеет сугубо гипотетический характер, становление его лишь начинается, и оно нуждается в самом тщательном анализе. Оно очень перспективно в том смысле, что, видимо, в процессе своего развития потребует принципиального, фундаментального изменения всей логики и психологии нашего мышления. В силу этих обстоятельств мы здесь не будем на нем останавливаться, а обратим внимание на первые два направления, причем более детально рассмотрим второе, так как сколько-нибудь серьезное его методологическое обоснование пока отсутствует. Но прежде выскажем ряд общих соображений, имеющих фундаментальное значение для нашего исследования.

Все указанные направления объединительных тенденций в современной физике реализуются преимущественно на основе использования аксиоматического либо гипотетико-дедуктивного метода. Исследование существующих в физике аксиоматик, проведенное нами ранее [2], показало, что именно аксиоматический подход дает максимальное число возможностей в создании новых физических теорий, в том числе унифицированных, с новыми формализмами на основе анализа общих физических и методологических принципов, упорядочивающих и обобщающих на первый взгляд различные физические понятия и теории. Для физики в любой аксиоматике всегда существует элемент искусственности в создании аксиоматической базы, поскольку аксиомы выбираются так, чтобы соответствовать теории, а также потому, что появляется необходимость вводить так называемые пустые термины, не имеющие онтологической нагрузки, но гносеологически необходимые для составления аксиоматической системы в соответствии с правилами логики. В дальнейшем эти пустые термины либо получают онтологическую интерпретацию, либо, если

таковой найти невозможно, исключаются из системы, их заменяют новые, более адекватные объекту физической теории. Это приводит к изменению исходных аксиом и, как следствие, к разработке новой теории или теоретической концепции, чаще всего альтернативной по отношению к предыдущей.

Аксиоматизированные таким образом физические теории соответствуют обычно тому общему взгляду на единство природы, который господствует в тот или иной период развития физики, а наиболее фундаментальные теории объявляются унифицированными и унифицирующими процесс познания теориями. На современном этапе развития физики аксиоматическая система требует такого построения физического знания, чтобы все его результаты выступали как строгие математические следствия единой системы аксиом. При этом сами аксиомы (наиболее фундаментальные) зачастую представляют собой систему, мы бы сказали, метафизических по сути принципов, конкретизированных применительно к физическому знанию. Тем самым эти принципы, определяя в известном смысле направление развития единой, унифицированной теории, входят в нее конструктивным образом. Все это наиболее отчетливо видно при анализе единой теории поля.

Однако создание единой аксиоматики, охватывающей *все* физические теории как целое, видимо, невозможно из-за бесконечного разнообразия физических явлений, каждая группа которых требует для своего описания специфический математический аппарат. Но попытки создания общих аксиоматических систем в физике необходимо продолжать, так как они имеют большое эпистемологическое, методологическое и эвристическое значение, если представлять подобные системы не как нечто окончательное, а как определенный этап развития физического знания. Мы считаем, что основным направлением развития аксиоматики в контексте построения унифицированных теорий, направлением наиболее правильным и продуктивным может быть создание аксиоматических систем, описывающих не структуру мира (она слишком разнообразна для полной унификации и успешного «стягивания» ее в единый формализм), а процессы, т.е. фактически создание аксиоматики суперсилы. Такая аксиоматика должна строиться не только на основе специфицированных метафизических принципов – помимо этого она должна базироваться на интерпретации ограниченного числа фундаментальных физических констант, связанных именно с физическими процессами.

В нашем случае следует особо отметить, что ввиду чрезвычайной сложности, а порой и невозможности (из-за больших энергетических и экономических затрат) эмпирической проверки вытекающих из системы аксиом новых физических следствий и гипотез они должны подвергаться прежде всего математическому и формально-логическому анализу, компьютерному моделированию и т.п. на предмет выявления противоречий и расходимостей. Онтологическая верификация гипотез унифицирующего плана может осуществляться с помощью методологического анализа, анализа выполнимости общефизических законов, закономерностей и принципов и, что более существенно и требует обсуждения, с помощью опосредующих экспериментов.

Все сказанное выше мы выделяем как составляющие первой стороны проблемы унификации физического знания, проблемы интегративных процессов в физике. Вторая ее сторона связана с выявлением и анализом новых общефизических законов, закономерностей, принципов и понятий.

Как показывает исследование имеющихся сейчас новых физических теорий и гипотез, физический язык в этом контексте развивается в направлении все большей унификации описаний физических явлений и процессов. Особенно характерно в этом отношении проявляется в программе космомикрофизики. Действительно, объединение космологии и физики высоких энергий в данной программе идет в русле мировоззрения целостности – холизма, поскольку, по нашему мнению, нельзя отделять квантовую реальность от структуры всей Вселенной, а состояние отдельной частицы имеет смысл лишь тогда, когда она рассматривается в рамках единого целого и ее поведение описывается законами, общими не только для всех частиц Вселенной, но и для Вселенной как целого. И здесь надо разрабатывать такой язык физических теорий, который бы соответствовал в равной степени как частице, так и Вселенной. Но могут ли в данном случае оказать помощь методологические возможности философского знания? Для ответа на этот вопрос необходим анализ механизма и форм реализации методологической функции философии.

Ранее было установлено, что методологическая функция философии в физическом познании реализуется прежде всего в конструктивной и нормативно-регулятивной формах, так как физика с самого начала вынуждена использовать внетеоретические, философские и метафизические положения именно в силу предельной общности понятий, лежащих в ее основании (пространство, время, однород-

ность и др.). Это, однако, не означает, что физические теории, независимо от степени их общности, включают эти понятия в свою структуру в их философском виде. «Вхождение» философских категорий, принципов и законов в концептуальный аппарат теории определяется спецификой предмета познания. Налагаясь «матрицей» на философские категории, принципы и законы, этот предмет «вычленяет» из их содержания то, что конструктивно входит в круг интересов теории, составляет основу ее содержательной структуры. Так, например, в космологии вычленяются физико-геометрические свойства пространства, принцип всеобщего и универсального взаимодействия применяется лишь к явлениям, происходящим в пределах светового конуса и т.п.

В то же время философское содержание категорий, принципов и законов обуславливает их нормативно-регулятивную форму. В этой форме философские категории, принципы и законы входят в теорию через физическую картину мира, которая с их помощью определяет (непосредственно и опосредованно) методологию конкретно-научного исследования. И чем детальнее конкретизация философских представлений, чем корректнее и совершеннее сама философия науки, тем корректнее конструктивная и нормативно-регулятивная формы реализации ее методологической функции. Эти рассуждения можно отнести и к прогностической форме реализации методологической функции философии. Весьма показательным в этом плане является использование принципа причинности, в частности в космологии – в контексте включения в ее исследования квантовой методологии в рамках великого объединения. Так, не считаются удачными те представления, которые приводят к нарушению принципа причинности, даже если они и обладают математическим формализмом, имеющим удовлетворительные следствия для дальнейшего развития теории. Отсюда вытекает требование поиска соответствующих конкретно-теоретических представлений с формализмом, отвечающим принципу причинности, но в силу квантовых эффектов – неклассической интерпретации этого принципа.

Здесь следует отметить, что развитие философских и философско-научных представлений, уточнение, углубление содержания их категорий, принципов и законов должны не просто и не только следовать за развитием естественно-научных теорий, но и опережать его. В противном случае философия будет выступать методологией научного познания «постфактум», следуя за развитием науки на уровне

обобщений конкретно-научных достижений. В современных условиях для философии и философии науки этого явно недостаточно. Они должны не только обобщать, но в известных пределах и направлять развитие физического познания в частности и научного – в целом, предоставляя ему соответствующую развернутую методологическую базу. Это также позволит философии в целом (которая, увы, как целостное учение на данном этапе ее развития прекратила свое существование *de facto*, но мы надеемся на ее возрождение) и философии науки стать основой для успешного решения проблем интеграции физического знания, что определяет третью сторону развития процессов унификации в физике.

Еще одна сторона интегративных процессов в физике, отражающих тенденцию к унификации, связана с анализом структур и языка стандартных разделов физики и поиском общего для них. Традиционно физика делится на довольно самостоятельные разделы: классическую механику, оптику, электромагнетизм, термодинамику, статистическую физику, квантовую механику, атомную и ядерную физику и т.д. За этим в известной степени искусственным разделением не всегда видно согласования разделов физики друг с другом. Так, например, второй закон термодинамики, традиционно связываемый с ограниченным классом явлений и процессов (тепловых), может рассматриваться как один из наиболее общих законов, которые управляют всеми процессами в природе. Сейчас выясняется, что все вновь открываемые вещества и виды взаимодействий неизменно подчиняются этому закону.

Видимо, анализ всех физических законов и принципов с позиций возможной их унификации на все более широкий класс явлений и процессов позволит выявить новые законы или дать более обобщенную формулировку этим законам. Такой анализ целесообразно проводить на основе выделения роли и места в законах фундаментальных физических постоянных как своеобразных законов сохранения универсального плана. Видимо, количество этих фундаментальных постоянных необходимо пересмотреть, поскольку имеются возможности их переформулирования друг через друга или через постоянные, имеющие более глубокий смысл и физически более содержательные. Очевидно, это подтверждает известный тезис о всеобщей гармонии природы, базирующийся на представлении об ограниченном числе возможностей существования воспринимаемого нами мира, т.е. на принципе простоты.

Теперь, сформулировав общие положения, перейдем непосредственно к анализу интересующей нас проблемы. Здесь мы считаем необходимым прежде всего «развести» теорию великого объединения и космофизику как унифицирующую и унифицированную физическую теорию, что позволит дать специфическое методологическое обоснование последней и сформулировать ряд методологических проблем космофизику.

Как известно, развитие теории великого объединения носило и носит гипотетико-дедуктивный характер. Основная цель создания этой теории – унифицировать представления о силах взаимодействия между элементарными составляющими нашего мира. Первые попытки такой унификации были предприняты А.Эйнштейном, который стремился создать теорию, объединяющую электромагнитные и гравитационные силы на основе геометрического представления пространства-времени. Однако при построении своей теории Эйнштейн не учел множество не известных современной ему науке факторов, и прежде всего существование сильных и слабых ядерных взаимодействий. Поэтому его попытки оказались безуспешными в смысле создания единой теории поля, но весьма полезными с точки зрения методологии.

Напомним, что сильное взаимодействие связывает протоны и нейтроны в ядре, а слабое ответственно за бета-радиоактивность. Обе эти силы действуют на значительно более коротких расстояниях, чем гравитационная и электромагнитная силы: сильное взаимодействие – на расстояниях порядка 10^{-13} см и слабое – на расстояниях 10^{-15} см. Переносчиками слабого взаимодействия являются промежуточные векторные бозоны, сильного – глюоны, электромагнитного – фотоны и гравитационного – гравитоны.

Была выдвинута гипотеза, послужившая основой для унификации представлений о слабом и электромагнитном взаимодействиях в теорию электрослабого взаимодействия. Суть этой гипотезы состояла в том, что если связь между двумя названными взаимодействиями существует, то слабые силы, как и электромагнитные, должны быть калибровочными [3]. Следствием данной гипотезы, вытекающим из математических соображений, было предположение о необходимости существования триплета промежуточных частиц, из которых одна частица заряжена положительно, вторая – отрицательно, а третья нейтральна. Основу электрослабой фундаментальной силы в таком случае составляют указанный триплет и фотон, представ-

ляющие собой разные проявления этой силы. Однако потребовалось постулировать существование еще одной частицы, ответственной за нарушение симметрии между бозонным триплетом и фотоном. Такую частицу назвали частицей Хиггса. Кроме того, формализм теории привел к предсказанию существования нового кварка и его партнера.

Экспериментальное исследование взаимодействия нейтрино с протонами и нейтронами дало первое эмпирическое подтверждение истинности теории, имевшей до этого сугубо гипотетико-дедуктивный характер. В дальнейшем был получен еще ряд обнадеживающих результатов, предсказанных теорией электрослабого взаимодействия, источниками которого являются лептоны.

Следующим шагом к унификации сил стали попытки объединить электрослабое и сильное взаимодействия в единую электрорядерную силу. Здесь основная идея также заключалась в использовании концепции калибровочной симметрии, связывающей интенсивность взаимодействия с зарядом. В случае сильного взаимодействия в качестве подобного заряда выступает так называемый цветовой заряд, которым обладают кварки и глюоны. Но если электромагнитное поле создается зарядом только одного вида, то глюонное поле требует для своего создания три различных цветовых заряда – красный, синий и зеленый. Источником же сильного взаимодействия являются кварки.

Требование локальной калибровочной симметрии – инвариантности относительно изменений цвета в каждой точке пространства – привело к необходимости введения представления о компенсирующих силовых полях. Математический формализм позволяет на этой основе вывести гипотезу о существовании восьми таких полей, переносчиками которых являются глюоны. Значит, должно быть восемь различных типов глюонов. Тем самым сильное взаимодействие значительно отличается от электромагнитного, переносчиком которого является фотон, и слабого, имеющего трех переносчиков. Другое отличие заключается в усилении сильного взаимодействия при увеличении расстояния между кварками, тогда как остальные взаимодействия при увеличении расстояния между частицами ослабевают. Развитие квантовой хромодинамики позволило понять физику данного явления. Эксперименты же опосредованно, а в ряде случаев и непосредственно подтверждают истинность теоретических построений квантовой хромодинамики. Таким образом, можно считать, что и в случае сильного взаимодействия, так же как и в случае электромагнит-

ного и слабого, мы имеем унифицированное описание его на основе калибровочных полей. Такая общность исходных методов построения теорий позволила начать поиски объединения этих трех взаимодействий в великое единое взаимодействие. Поиски привели к появлению нескольких конкурирующих теорий великого объединения, основанных на одной и той же идее, имеющей унифицированный характер – идее единой симметрии. Это еще раз подтверждает большую эвристическую значимость методологического принципа симметрии.

Существенно общим моментом всех теорий великого объединения является то, что кварки и лептоны включаются в единую теоретическую схему [4]. Кроме того, использование калибровочной симметрии снова чисто теоретически требует увеличения числа компенсирующих полей, обладающих свойством превращать кварки в лептоны, и соответствующего им числа частиц, также включаемых в эту теоретическую схему.

Само же разнообразие теорий великого объединения определяется разными возможными математическими подходами, осуществляемыми на основе общей, унифицирующей идеи. Они дают различные следствия, эмпирическая проверка которых позволила бы выбрать наиболее адекватную теорию. Однако прямые эксперименты невозможны, во всяком случае в обозримом будущем, так как они потребуют неимоверно огромной энергии: предполагаемая энергия унификации электрослабого и сильного ядерных взаимодействий должна быть, по некоторым теоретическим расчетам, не менее 10^{15} ГэВ. Такие значения величин энергии находятся далеко за пределами нынешних наших возможностей проверить их. Существуют более реальные, но в известном смысле и более опосредованные возможности проверки. Речь идет о том, что в ряде теорий великого объединения предполагается нестабильность протона, но время его жизни оценивается по-разному. Если бы удалось экспериментально обнаружить явление распада протона и определить время его жизни, то можно было бы выбрать предпочтительную теорию. Кроме того, обнаружение магнитного монополя и определение его характеристик также способствовали бы решению проблемы выбора теории великого объединения. Но достичь этих результатов, во всяком случае с достаточной достоверностью, пока не удалось.

Итак, теоретически, на гипотетико-дедуктивной основе, удалось унифицировать три вида фундаментальных взаимодействий (элек-

ромагнитное, слабое и сильное) в виде единой теоретической схемы, однако имеющей несколько вариантов. Были получены и определенные эмпирические результаты, подтверждающие, по меньшей мере косвенно и по отдельным позициям, истинность пути создания объединенной теории. Остается построить суперединую теоретическую схему, включающую в себя еще и четвертое фундаментальное взаимодействие – гравитационное, и тогда объединение всех известных нам фундаментальных взаимодействий в единую теорию будет завершено. Но эта последняя задача оказалась самой сложной. И основная сложность заключается в необходимости унификации вещества и сил, т.е. фермионов и бозонов. Кроме того, если первые три взаимодействия можно представить в виде силовых полей в пространстве и времени, то гравитация сама есть пространство и время, как утверждает общая теория относительности. Это обстоятельство создает весьма серьезные трудности при любых попытках квантования гравитационного поля.

Формализм нового типа симметрии – суперсимметрии, соединяющей бозоны и фермионы в единый мультиплет, позволяет в известной степени обойти указанные трудности. Введение калибровочной инвариантности позволило, в свою очередь, представить гравитацию как калибровочную силу, соответствующую такой суперсимметрии. Созданная на этой основе теория гравитации, названная супергравитацией, дала базу для суперобъединения. Супергравитация отличается от обычной гравитации тем, что в качестве переносчиков взаимодействия выступает суперсимметричное семейство частиц, а не одна частица – гравитон.

Фактически суперсимметрия есть расширение пространственно-временных симметрий. Действительно, обычное пространство в теории относительности обладает симметрией относительно группы Лоренца – Пуанкаре. Но математически можно построить такие симметрии, для которых эта группа является лишь подгруппой множества пространственно-временных симметрий. Отсюда следует вывод о необходимости расширения представлений о пространстве до некоторого суперпространства. И здесь возможны различные варианты построения таких суперсимметрий.

Для: решения этой проблемы пришлось воспользоваться предположением о существовании еще более элементарных форм материи, чем известные нам элементарные частицы, – преонов, каждый из которых несет по одному из известных нам фундаментальных зарядов:

трех цветовых, двух по аромату и трех, соответствующих различным семействам [5]. Такой ситуации отвечает супергравитация уже в одиннадцати измерениях, которая эквивалентна четырехмерной расширенной супергравитации, содержащей расширенную внутреннюю симметрию для восьми электроядерных зарядов. На этом пути получены весьма обнадеживающие результаты, но эмпирическая проверка их невозможна, так как унификация такого рода может осуществляться при планковской энергии – энергии порядка 10^{19} ГэВ, а это уже масштабы космологической энергии.

Таким образом, мы переходим с уровня элементарных частиц на уровень Вселенной, что соответствует программе А.Д. Сахарова. И, во-первых, на наш взгляд, первый возможный сейчас метод проверки унификации космологии и физики высоких энергий – использование наблюдательных данных из области космологии. Именно на ранних стадиях развития Вселенной (около 10–15 млрд. лет назад) взаимодействия происходили с такими же огромными величинами энергий. Результатом этих взаимодействий является современный вид Вселенной. И, во-вторых, экстраполяция современных наблюдательных космологических данных в далекое прошлое, позволяя восстановить это прошлое при учете и привлечении современных достижений физики высоких энергий, дает возможность проверить истинность идей космофизики. Отсюда следует, что любая современная теория или гипотеза из области физики высоких энергий должна проходить «космологическую проверку», позволяющую отбрасывать те представления, которые не выдерживают такого испытания, и наоборот. Но здесь возникает важная методологическая проблема, которую можно сформулировать в виде вопроса: а не проверяем ли мы одно неизвестное через другое неизвестное?

Дело в том, что основным источником наблюдательных космологических данных являются исследования электромагнитного фонового излучения, имеющего космологическую природу, а также структуры Вселенной в больших масштабах (~1 Мпк). Но экстраполяция в прошлое Вселенной, проводимая на основе этих данных, вынужденно базируется на теоретических и экспериментальных результатах физики высоких энергий, так как ранняя Вселенная представляла собой горячую плазму, состоящую из частиц и античастиц. Таким образом, решение указанной методологической проблемы возможно лишь на пути создания такой теории, которая описывает не только микромир в целом (теория великого суперобъединения) или мегамир (Все-

ленную) в целом (космология), но и то и другое вместе, т.е. фактически на пути создания новой фундаментальной унифицированной науки – космофизики [6]. В этом случае теория великого суперобъединения, как и космология современного состояния Вселенной, является частью новой, более общей теоретической конструкции, предлагающей нам единую картину единого физического мира.

Разработка такой унифицированной физической теории ставит перед исследователями ряд сложных методологических проблем. И одной из наиболее существенных является проблема соотношения этой теории с реальностью. Речь идет о том, что возникает соблазн (и в известной степени небезосновательный на данном этапе развития научного познания) считать эту теорию последней физической теорией, которая представляет собой синтез теорий, выявляющий все фундаментальные взаимодействия, и космологии современного состояния Вселенной, описывающей все происходящие сейчас астрономические и астрофизические процессы. Предполагается, что эта унификация позволит описать прошлое, настоящее и будущее мира в целом. И тем самым мы будем знать все о нашем мире (*ирония* – лапласовский идеал познания). А такая физическая теория будет совпадать с физической реальностью!? Если бы это случилось, мы приобрели бы абсолютную власть над природой – смогли бы по своему желанию создавать или превращать частицы, менять структуру пространства и времени, создавать новые миры (только хватило бы энергии и здравого смысла).

Можно предположить, что для построения этой теории достаточно разработать подход к описанию космологических явлений с помощью квантования Вселенной как целого (квантовой космологии), проанализировать в рамках современной квантовой теории (теорий супергравитации, Калуцы – Клейна, суперструн и др.) представления о локальной структуре пространства-времени и глобальной структуре Вселенной, решить еще ряд проблем более частного порядка [7]. Но достаточно ли этого на самом деле? На наш взгляд, здесь уместно вернуться к исторической аналогии, связанной с развитием классической физики. Тогда также казалось, что классическая физика, и прежде всего классическая механика, решив ряд на первый взгляд «мелких» проблем, даст нам окончательное знание о мире. Однако в процессе анализа этих «мелких» проблем в дальнейшем появились теория относительности и квантовая механика, которые полностью разрушили классическую картину мира. Уроки истории

физики должны все-таки научить нас крайне скептически относиться к мыслям о возможности получения окончательного и полного знания о физическом мире.

В классической физике проблема соотношения теории с реальностью решалась просто и очевидно: если результаты, полученные из теоретических представлений, совпадают с экспериментальными данными, то теория истинна и соответствует реальности. Содержание понятий теории в этом случае считалось однозначно отражающим сущность реальных явлений, процессов и тел и независимым от наших ощущений (если исследователь придерживался материалистических воззрений). Выстраивалась довольно простая (с точки зрения современного исследователя) иерархия материальных объектов, составляющих содержание объективной реальности, объективного мира: атомы и их движения и взаимодействия; молекулы как совокупность атомов, также обладающих своими специфическими состояниями; более крупные материальные образования – тела, состоящие из атомов и молекул, и так далее вплоть до человека и общества, а их, как считали некоторые ученые XVIII–XIX вв., можно также описать в принципе механическими законами.

Однако гегелевская идея развития по диалектической спирали воистину гениальная и всеобщая! И в нашем случае всякое разрушение (отрицание) программы достижения окончательного знания снова и снова приводит к ее возрождению на качественно новом уровне, на новом витке спирали. На начальном этапе развития неклассической физики, в первой четверти XX в., произошло разрушение лапласовского идеала, но в последней четверти столетия он снова возрождается в максимально мыслимом объеме и одновременно значительно усложняется.

Первые признаки возрождения тенденции построения единого знания о реальности (строго говоря, окончательно она никогда не забывалась, держалась, так сказать, «в уме») появились в период расцвета «классической» физики элементарных частиц. В 1964 г. В. Вайскопф заявил: «Нам хотелось бы объяснить все известные явления единым образом, и с этой точки зрения все науки в конечном счете представляют собой разделы физики» [8]. Одной из попыток создания такой теории была разработка В. Гейзенбергом единой левой теории элементарных частиц.

Фактически Гейзенберг предложил все физические законы сформулировать с помощью одного уравнения. Отвечая критикам, он

утверждал, что «требование универсальности обусловлено не претенциозностью программы – оно с необходимостью следует из того, что элементарные частицы являются мельчайшими элементами материи... Единая теория поля должна служить рамками для всех физических явлений» [9]. Но в то же время «следует подчеркнуть, что фундаментальное уравнение не определяет законы во всех других областях физики полностью. Например, пока не добавлено специфическое предположение об асимметрии основного состояния, т.е. о космологической модели мира, электромагнитные законы из уравнения не следуют. Аналогично радиоактивность и гравитация, вероятно, связаны со структурой мира на больших расстояниях. В какой-то мере граничные условия, касающиеся основного состояния, являются довольно гибкими, и их нужно привести в соответствие со свойствами реального мира; *эта процедура отнюдь не тривиальна* (выделено нами.– А.С.)» [10]. Но ее нетривиальность не означает невозможности, так что преодолев соответствующие трудности, мы, как можно заключить из слов Гейзенберга, имеем шанс создать единую теорию мира (в данном случае опирающуюся *только* на единую теорию элементарных частиц).

Такая программа имеет под собой эпистемологические основания. Действительно, развитие физики представляет собой последовательную унификацию существующих теорий на основе разработки единого математического формализма, описывающего известные на том или ином этапе этого развития фундаментальные взаимодействия (на данном этапе известны четыре таких взаимодействия) в теории все большей степени общности. В 50-е годы XIX в. Дж. Максвелл разработал теорию электромагнетизма, описав как целое, унифицированное, электричество и магнетизм. Далее открытие слабого взаимодействия привело к созданию в 1967 г. А. Саламом и С. Вайнбергом унифицированной теории электрослабого взаимодействия, описывающей единым формализмом электромагнитное и слабое взаимодействия. Теория получила надежное подтверждение в 1983 г. благодаря открытию *W*- и *Z*-частиц.

Существует несколько вариантов унификации космологии и физики высоких энергий. Эмпирических данных, позволяющих сделать окончательный выбор. Тем не менее сейчас быстро растет число теоретических предпосылок для сверхобъединения всех фундаментальных взаимодействий (включая гравитацию) в единую суперсилу, что позволит, по мнению некоторых исследователей, создать единую

космомикрофизику, описывающую физическую реальность. Уверенность в благополучном исходе исследований настолько велика, что С. Хокинг видит в этой теории кульминацию теоретической физики: такая теория и есть сама реальность. Более осторожный П. Девис утверждает, что «подобно многим заманчивым образам единая теория может оказаться миражом, но впервые за всю историю науки у нас складывается представление о том, как будет выглядеть законченная научная теория всего сущего» [11]. Фактически мы имеем сложившуюся сейчас и завоевывающую все большее влияние методологическую установку на создание унифицированной теории мира, пусть даже и не имеющей возможности быть проверенной эмпирически в ближайшем будущем, но тем не менее истинной. Можно ли согласиться с такой установкой парадигмального характера? Мы считаем, что делать это нельзя ни в коем случае.

Наше отрицательное отношение к такого рода установкам определяется следующим. Прежде всего, ограничение числа фундаментальных взаимодействий четырьмя ничем не обосновано. Тахионная гипотеза и возможный выход теоретических представлений о мире за пределы такой постоянной, как скорость света, вводимой, строго говоря, аксиоматическим образом, приводят к предположению о возможности существования других видов фундаментальных взаимодействий. Данная проблема обостряется и в связи с нерешенностью проблемы количества пространственно-временных измерений.

Действительно, проблема постоянства скорости света, которая в известной степени сейчас выпала из поля зрения исследователей, тем не менее остается в принципе нерешенной: неизвестно, существует ли зависимость скорости света от направления его распространения; не выяснены вопросы, какова причина именно такого значения величины скорости света, каков механизм ее постоянства, если она постоянна, и т.д. Любой ответ на эти вопросы может принципиально изменить существующие сейчас физические подходы. Что касается числа пространственных измерений (речь идет о реальном пространстве), то решение этой проблемы может еще более кардинально изменить физическую картину мира.

Есть много фактов, которые на первый взгляд подтверждают трехмерность пространства: известно, что орбиты планет устойчивы в пространстве с числом измерений, не превышающем трех, атомы устойчивы также только в четырехмерном пространстве-времени и т.д. Но существуют силы, которые не описываются обратной про-

порциональностью квадрату расстояния, как гравитационные и кулоновские, и предполагают существование пространств с большим числом измерений. Для создания же непротиворечивой теории, объединяющей описание мега- и микромира, необходимо, чтобы в масштабах 10^{-33} см размерность пространства-времени составляла $N = 10 + 1$. Если масштабы значительно большие, то мы наблюдаем пространство-время с $N = 3 + 1$, а остальные измерения скомпактифицированы (свернуты) в 7-сферы. Свернуть многомерные пространства можно различными способами, и чем больше число измерений, тем больше вариантов свертывания, тем больше набор возможных топологий. Но вместе с тем возможны и достаточно непротиворечивые варианты физики мира, в котором реализуется пространство-время с $N = 9+1$. Эта возможность связана с моделью Вселенной, составленной из мини-вселенных, а также с развивающейся сейчас физикой суперструн.

Таким образом, ответ на вопрос о количестве измерений пространства остается открытым. В последние годы появился вариант ответа на этот вопрос с помощью антропного принципа, критика которого опять-таки подтверждает, что мы правы в своем отрицательном отношении к методологическому тезису о возможности создания окончательной физической теории.

Антропный принцип был сформулирован на основе анализа так называемой гипотезы больших чисел. Исследуя проблему фундаментальных физических постоянных, таких как, например, гравитационная постоянная, П. Дирак предположил, что их величины обусловлены возрастом фридмановской вселенной. Р. Дикке выдвинул предположение, что если не будет совпадения больших чисел, выявленного Дираком, то не будет и физиков, размышляющих над этой проблемой. Иными словами, только при совпадении больших чисел возможно существование нашего мира. Б. Картер сформулировал этот тезис в виде слабого и сильного антропных принципов. Слабый антропный принцип утверждает, что наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей. В соответствии с сильным антропным принципом Вселенная (и, следовательно, фундаментальные параметры, в том числе и фундаментальные взаимодействия, от которых она зависит) должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе ее эволюции допускалось существование наблюдателей.

Из механизма введения антропного принципа в научный оборот и его формулировок можно видеть, что он не соотносится с каким-либо природным процессом или их группой, т.е. не имеет онтологической нагруженности. Кроме того, в основе этого принципа лежат представления о фундаментальных постоянных, которые, как утверждают большинство его сторонников, якобы определяют вид Вселенной. Мы же считаем, что, наоборот, вид Вселенной определяет эти постоянные. Следует учесть и тот факт, что гипотеза больших чисел трактует взаимосвязь постоянных, не учитывая того, что любое их изменение должно вызывать и соответствующие изменения связанных с ними законов, и наоборот, а это приводит к новому миру с новой физикой. Но фиксировать изменения такого рода наблюдателю будет, видимо, чрезвычайно сложно, так как они вызовут изменения и самого наблюдателя, и результатов наблюдений, и снова (и одновременно) мир наблюдателя будет для него естественным (если, конечно, не исчезнет сам наблюдатель). Проблема же фундаментальных взаимодействий и фундаментальных постоянных возникнет снова. Да и наличие космологической сингулярности, особенно в контексте *M*-теории, подрывает утверждение о такой уникальности нашей Вселенной, а тем самым и антропный принцип.

Наконец, в анализе проблемы соотношения космофизики как максимально мыслимой теории и реальности следует выделить еще один аспект, имеющий методологическое значение. Речь идет о роли наблюдателя, но не в контексте антропного принципа, а в контексте представления наблюдателя как познающего субъекта. В более узкой части этой проблемы речь может идти о триаде человек – прибор – объект наблюдения. Как выяснилось еще в квантовой механике, мы фактически наблюдаем не сам реальный объект, а результат его взаимодействия с прибором. В таком случае можно сформулировать проблему в более общем плане: а не сказывается ли присутствие активного познающего субъекта на состоянии всей Вселенной? Тем более, что состояние Вселенной (по меньшей мере такого ее фрагмента, как Солнечная система) сказывается на человеке и его самочувствии, а это предполагает наличие обратной связи. Таким образом, создаваемая исследователем теория, видимо, относится не к чистой онтологии, а к ее преломлению через призму человеческой сущности.

Следовательно, необходимо предположить, что в нашем случае мы также будем иметь теорию, не совпадающую однозначным обра-

зом с онтологией. Все это позволяет сделать вывод о необходимости поиска законов более фундаментального порядка, так сказать, законов второго уровня, которые определяют и известные сейчас фундаментальные взаимодействия, и законы этих взаимодействий, т.е. речь идет о выходе на второй уровень познания (если первым считать все предшествующее созданию единой космомикрoфизической теории и саму теорию познания). На этом уровне познания может, на наш взгляд, появиться возможность выявить причины существования именно четырех или более фундаментальных взаимодействий, возможной суперсилы, их объединяющей (унифицирующей), и значений величин (и возможное число) фундаментальных констант. Но здесь нам нужна принципиально иная методология, черты которой в самом общем, прикидочном виде уже намечаются.

Другой важной проблемой в космомикрoфизике, связанной с ее методологическим обоснованием, является проблема целостности. Известно, что великое объединение описывает единой теорией локальное взаимодействие, космология – глобальное, а космомикрoфизика ставит своей целью установить связь между локальным и глобальным в системе взаимодействий. Разрешение парадокса Эйнштейна – Подольского – Розена в пользу признания нелокальности квантовых состояний позволяет использовать методологию холизма, требующую понимать свойство отдельной физической системы через понимание всего мира. Иными словами, состояние отдельной частицы имеет смысл только в контексте состояния Вселенной. В этом отношении представления о разделении материи «первоатома» в процессе Большого взрыва, родившего нашу Вселенную, на различного рода частицы и поля выглядят, несмотря на свою убедительность и известную эмпирическую обоснованность, несколько искусственными, а более соответствующими объективной реальности являются представления о Вселенной и микромире как целом, содержащем части, которые сами представляют собой это целое. Космомикрoфизика в таком случае должна представлять свой объект исследования не как глобальную совокупность физических объектов и взаимодействий между ними, составляющих Вселенную, а как непрерывное целое, выходящее за пределы нашей Вселенной.

Подобное представление объекта исследования создает значительные трудности как логического, так и психологического плана. Чисто психологически для человека характерно стремление распространять, экстраполировать на весь мир законы, выведенные из ана-

лиза непосредственно (либо опосредованно – через приборы) воспринимаемого им мира. Мышление человека предметно в смысле вещности и поэтому дискретно, так как дискретны сами вещи. Логика и математика раскрывают связи между вещами, поэтому они также дискретны, построены по принципам «да – нет», « $1+1 = 2$ ». Здесь фактически нет места непрерывному целому. Возможный выход из данной гносеологической ситуации может лежать в утверждении процессуальности мира, в построении картины мира как процесса. Тогда, например, можно попытаться построить непрерывную логику по аналогии со сложением токов: сложение одного тока с другим дает не два тока, а один ($1 + 1 = 1$). Это будет логика развивающихся объектов, а в математике мерность пространства решений не обязательно будет целочисленной. Видимо, придется пересмотреть и идею дискретности квантовых переходов, и идею непрерывности пространства с целочисленными значениями измерений.

Одним из следствий подобных представлений может быть изменение интерпретации причинности. Временное следование причина \rightarrow следствие теряет свой смысл. Причина и следствие рождают друг друга, как рождают друг друга мать и дитя. Тогда, возможно, существует некий порядок, определяющий Вселенную как целое и одновременно определяемый ею. В данном случае мы видим непосредственное проявление законов сохранения состояний в их глобальном выражении. На первый взгляд это парадоксально, но мы считаем, что уже сейчас в современной физике складываются подобные представления. В качестве примера можно привести проблему временной асимметричности в космологии.

Исследование этой проблемы – одна из задач космомикрoфизики. Традиционное ее решение уже сейчас не выглядит в полной мере удовлетворительным. Дело в том, что исходные принципы решения данной проблемы в пользу временной последовательности из прошлого через настоящее в будущее опираются на постулаты специальной теории относительности. Последние, в свою очередь, связаны прежде всего с описанием электромагнитных взаимодействий, которые хотя и представляют собой широкий класс физических взаимодействий, но не универсальны в полном смысле этого слова. Кроме того, эти постулаты в эмпирическом плане обоснованы не в полной мере, хотя теория, сформулированная на их основах, вполне подтверждена опытами (что в истории физики случалось неоднократно). Это касается прежде всего постулата предельности скорости света.

Здесь можно возразить, что если обоснованы и эмпирически подтверждены следствия, то обоснованы и сами постулаты. Но это не так: обоснование истинности постулата можно считать удовлетворительным, если мы знаем физический механизм, лежащий в его основе и являющийся следствием других процессов, описываемых теорией более высокого уровня, чем та теория, в основе которой лежит данный постулат. Короче говоря, постулат можно считать доказанным, если он является следствием теории с большим полем действия [12]. Следовательно, нельзя утверждать, что классическая специальная, да и общая теория относительности, доказывает необратимость времени, а тем самым и космологическую временную асимметричность. Скорее всего наблюдаемая нами асимметричность является частью какой-то более высокой симметрии, что соответствует методологическому принципу симметрии.

Современные неклассические теории гравитации допускают локальную обратимость времени. В качестве примера можно привести гипотезу о возможности существования нешварцшильдовских топологических ручек, где возникает проблема глобальной причинности. Дело в том, что свет может попадать по ручке в удаленные друг от друга области пространства за сроки, с точки зрения пространства ручки несовместимые с фундаментальной скоростью распространения в нем сигналов. На основе этой идеи высказывается предположение о возможности создания «машин времени» (К. Торн, И.Д. Новиков и др.), позволяющей путешествовать в прошлое.

Кроме того, сценарий раздувающейся Вселенной допускает существование сильных флуктуаций метрики пространства Вселенной. Флуктуации, в свою очередь, приводят к разбиению Вселенной на большие области, находящиеся в различных состояниях. Свойства пространства-времени в этих областях будут различными. Таким образом, глобальная геометрия Вселенной отличается от геометрии фридмановских вселенных, представляющих собой мини-вселенные с разными свойствами, а законы в них могут быть взаимоисключающими. Топологические ручки могут связывать эти вселенные друг с другом, что «снимает» в определенной степени остроту проблемы глобальной причинности, сводя ее к относительно локальным представлениям о причинности. И здесь возможны, видимо, случаи локального обращения времени, связанные с обращением временного порядка событий, происходящих в некоторых системах отсчета. Но отсюда возникает идея существования неких «избранных» систем

отсчета (по отношению к каким-либо событиям). Нарушается принцип относительности Эйнштейна.

Введение представлений о тахионах может «снять» это нарушение и восстановить временной порядок, а тем самым объяснить временную космологическую асимметрию. Однако такой подход требует расширения принципа причинности: с обоснования данного принципа на уровне электромагнитных взаимодействий придется перейти к его обоснованию на уровне более широкого класса взаимодействий. Такая проблемная ситуация практически еще не обсуждалась, и, как нам кажется, здесь существует определенная возможность выхода на теорию более высокого уровня, чем какие-либо существующие сейчас. Но это предполагает разработку в рамках космомикрoфизики вариантов супер-суперобъединения, включающих не только известные фундаментальные взаимодействия, но и гипотетические взаимодействия, связанные с тахионами. Природа подсказывает нам великое множество вариантов объяснения и описания мира, и нельзя априори отбрасывать те из них, которые нам не нравятся по тем или иным причинам. Толерантность и плюрализм как методологический принцип здесь суть обязательные условия достижения нашей общей цели – познания мира.

Таким образом, можно видеть, что методологическое обоснование космомикрoфизики лишь на первый взгляд выглядит простым и тривиальным, достаточно только признать принцип всеобщей универсальной взаимосвязи. Однако ситуация здесь гораздо сложнее. Если мы будем конкретизировать этот принцип, с одной стороны, и пойдем дальше конкретных методологических требований гипотетико-дедуктивного подхода, ставшего классическим в современной физике, – с другой, то выйдем на новые методологические представления. Причем они предполагают не только коренное преобразование мировоззрения, логики и психологии исследователя, но и уточнение предмета и объекта космомикрoфизики, направленности ее развития. Перед нами вырисовывается и новая конкретно-научная программа, и новая методологическая парадигма.

Новая парадигма предполагает, на наш взгляд, создание космомикрoфизики как науки не о предметах, а о процессах. Начавшись с описания фундаментальных структур микро- и мегамира, их взаимосвязи, она должна перейти к изучению процессов, формирующих эти структуры и взаимосвязи. И здесь необходимо учесть и заново проанализировать роль и содержание фундаментальных физических

констант, особенно с точки зрения их взаимосвязи: возможно ли такое сочетание констант, при котором значения каждой из них отличаются от общепризнанных, но структура мира остается такой, какой мы ее наблюдаем. Дело в том, что есть известные основания сомневаться в постоянстве ряда констант, в частности постоянной тяготения. Именно процессуальный подход позволит, по нашим первым прикидкам, построить теорию, в которой роль этих констант меняется с ведущей на вспомогательную, поскольку такой подход предполагает выделение глубинных процессов, определяющих константы. В рамках же классической физики считается, что константы сами определяют процессы: процессы таковы потому, что таковы константы.

Другое фундаментальное методологическое требование связано с разработкой подходов к описанию космологических явлений с помощью квантования Вселенной как целого (холистический подход). Одновременно с этим необходимо будет решить проблему мерности пространства, структуры пространства-времени на всех уровнях – микро-, макро- и мегауровне. Но, повторим, здесь необходимо будет кардинально изменить нашу логику.

Следует сказать несколько слов об эмпирическом обосновании космомикрופизики. Мы уже отмечали, что непосредственная экспериментальная проверка космомикрופизических концепций представляется на данном этапе развития науки невозможной из-за ограниченных энергетических ресурсов человечества. Поэтому основное внимание необходимо уделять разработке косвенных, опосредованных эмпирических методов. К ним можно отнести астрономические наблюдения и поиск редких процессов (таких, как, в частности, распад протона), новых частиц на основе анализа результатов взаимодействия космических лучей с земными материалами, а также в экспериментах БАК и т.п. Видимо, математическое моделирование и математический анализ результатов экспериментов в БАК и астрономических наблюдений в такой ситуации останутся одними из основных методов исследований, позволяющих осуществить унификацию космологии и физики высоких энергий в рамках космомикрופизики, поскольку они позволят проводить вычислительные эксперименты, осуществлять репрезентативную обработку результатов косвенных исследований. В какой-то мере это даст нам возможность выбирать концепции, в большей степени удовлетворяющие критериям истинности.

В итоге только (на наш взгляд) космомикрофизика в своем дальнейшем развитии в контексте унификации сможет дать нам новое направление познания мира, которое в какой-то степени скрыто в интуиции современных исследователей.

Примечания

1. См., напр.: *Сахаров А.Д.* Космомикрофизика – междисциплинарная проблема // Вестн. АН СССР. – 1989. – № 4. Детально с точки зрения физики и физика эта проблематика рассматривается в работе: *Хлопов М.Ю.* Космомикрофизика. – 2-е изд., существ. перераб. – М.: Эдиториал УРСС, 2003. – 112 с.
2. См.: *Симанов А.Л.* Методологическая функция философии и научная теория. – Новосибирск, 1986.
3. См.: *Салам А.* Фундаментальная структура материи. – М., 1984. – С. 178.
4. См.: *Девис П.* Суперсила: Поиски единой теории природы. – М., 1989. – С. 142–143.
5. См.: *Салам А.* // Фундаментальная структура... – С. 198, 200–201.
6. См.: *Сахаров А.Д.* Космомикрофизика – междисциплинарная проблема... – С. 50.
7. Там же. – С. 47.
8. *Вайскопф В.* // УФН. – 1968. – Т. 95, вып. 2. – С. 513.
9. *Гейзенберг В.* Введение в единую полевою теорию элементарных частиц. – М., 1968. – С. 188.
10. Там же.
11. *Девис П.* Суперсила... – С. 161.
12. В известном смысле это утверждение аналогично теореме Геделя о неполноте теории.

Дата поступления 20.02.2015

Институт философии и права
СО РАН, г. Новосибирск

als49@mail.ru

Simanov, A.L. Unification: cosmology and high-energy physics

Are examined possibilities and problems of the unification of cosmology and high-energy physics within the framework of the program, developed by A.D. Sakharov.

Keywords: methodology, cosmology, high-energy physics, the unification