

УДК 50:1(075)

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ

В.К. Горшков, Г.Н. Мансуров*Московский государственный областной университет
105005, Москва, ул. Радио. 10А*

Аннотация: Дано краткое изложение основной идеи теории струн. Полученные результаты по принципиальным вопросам физики элементарных частиц дают основание рассматривать её как главного кандидата на роль единой теории. Рассмотрены возможности её экспериментального подтверждения.

Ключевые слова: Струнная теория, картина мира, суперсимметрия, происхождение Вселенной, элементарные частицы.

Раньше перед наукой стоял вопрос: «*Как устроен мир?*», а теперь созрел второй вопрос: «*Почему мир устроен именно так, а не иначе?*». Ответ на этот вопрос ожидают от физики как многолетнего лидера технических достижений (космос, атомная бомба) и новейших технологий. Но технический прогресс – это божество, которому молится общество потребления, и который, по высказыванию Норберта Винера (создателя кибернетики, сделавшего для технического прогресса больше, чем кто-либо другой), является «вульгарным прихвостнем теории эволюции» [1]. О познании мира здесь речь не идет. Познание мира как цель – это дело чистой науки, для которой не стоит вопрос выгоды [2]. Познание мира ставит задачи перед чистой наукой, эти задачи связаны между собой и составляют внутреннюю логику эволюции науки. Имеет смысл именно чистая наука (наука ради науки), целью которой является создание *единой картины мира*; как и чистое искусство (искусство ради искусства), наука составляет содержание духовной жизни, без которой человек перестает быть человеком. А достижения чистой науки огромны как, например, в физике элементарных частиц и в космологии; в каждой из этих двух областей, которые, на первый взгляд бесконечно далеки друг от друга, пытаются найти ответ на один и тот же вопрос – о происхождении Вселенной. На решение этого вопроса направлена разработка и единой теории взаимодействий, и квантовой космологии.

Между проблемами *современного естествознания* и преподаванием курса «Концепции современного естествознания» в вузе существует огромный пробел, ликвидация которого в современной космологии и составляет цель данной работы.

На пути к единой теории

Почему же ответ на вопрос об устройстве мира мы ожидаем от физики? Дело в том, что именно физика имеет своей целью определение фундаментальных законов природы. Какой бы сложности ни был объект исследования, можно, путем деления его на все более мелкие части, придти к предельно малым неделимым частям. Именно на этом пути и образовалась физика элементарных частиц. Можно утверждать, что в принципе любое явление природы путем деления может быть сведено к фундаментальным законам, определяющим поведение элементарных частиц [3]. Так, молекула какого-либо

вещества является мельчайшей частицей, которая сохраняет свойства этого вещества. Но молекулы делятся на атомы, представляющие собой атомные ядра, вокруг которых находятся электроны. Электроны уже являются элементарными частицами - дальше они не делятся; атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, которые, в свою очередь, состоят из кварков. Таким образом, мы от молекулы перешли к элементарным частицам. Поведение элементарных частиц определяется законами, которые и приводят, в конечном счете, к образованию молекул. Эти законы являются фундаментальными, поскольку им подчиняются самые простые, неделимые частицы, из которых образуется все, что нас окружает. Подобным образом мы можем провести разделение клетки на все более и более мелкие части и в пределе придем к элементарным частицам, самым простым и неделимым объектам природы. Знание фундаментальных законов, определяющих свойства элементарных частиц, вовсе не означает, что мы можем рассчитать ход биологической эволюции. А также и в более «простом случае» знание законов, управляющих поведением электронов в электрических полях, не значит, что мы можем рассчитать строение любой молекулы, но мы можем объяснить, почему атомы в химических реакциях ведут себя так, а не иначе, а построенные из них молекулы обладают теми или иными свойствами. Именно знание физических принципов, управляющих электронами и электрическими полями, позволяет понять поведение атомов.

Знание законов природы, составляющих её логическую структуру, позволяет искать объяснения в соответствии с этой структурой. Однако следует отметить, что при сведении химических представлений к физике мы теряем химию. Точно также, если разделить клетку на молекулы, мы потеряем жизнь. В любом случае при разделении целого на части мы теряем определенное свойство, присущее данному целому. И, наоборот, при движении в противоположном направлении, при переходе на более сложные уровни мы обнаруживаем возникновение явлений, не наблюдаемых на более простых уровнях, а тем более на уровне элементарных частиц. Например, нет ничего похожего на разум на уровне отдельных живых клеток и ничего похожего на жизнь на уровне атомов и молекул. Идея возникновения новых явлений на высоком уровне сложности наиболее очевидна в биологии и, особенно, при образовании различных сообществ (например, муравьи, пчелы, мыши и т.д.). Следует отметить, что это не является исключительно спецификой жизни, но наблюдается на различных уровнях организации материи.

Очень важным примером возникновения новых качеств является термодинамика, наука о теплоте. Вначале она выглядела как автономная наука, не выводимая из механики частиц, а построенная на новых понятиях температуры и энтропии, не имеющих аналогов в механике. Два закона термодинамики формулировались на основании многолетнего человеческого опыта и имели столь же фундаментальный статус, как и любой другой закон природы, полученный в результате обобщения опытных данных. Первый закон термодинамики - это закон сохранения энергии; понятие энергии имеет тот же смысл, что и в механике. Центральным принципом термодинамики был второй закон, согласно которому физические системы обладают не только энергией, но и температурой, и энтропией. Эти понятия имеют смысл для достаточно сложных систем, состоящих из большого числа частиц, например, для газов. Суть второго закона заключается в том, что энтропия в любой замкнутой системе растет и достигает максимума в состоянии равновесия (когда температура, давление и концентрация во всех точках одинаковы). Термодинамика успешно применялась в разнообразных ситуациях, начи-

ная от поведения пара и кончая замерзанием, кипением и химическими реакциями. Если термодинамика столь универсальна, то, как можно ее логически связать с физикой определенных частиц и сил? Оказывается, что принципы термодинамики можно вывести из анализа вероятности распределения энергии среди большого числа частиц и, в частности, молекул. В рамках такой статистической механики тепловая энергия газа является просто *кинетической энергией его частиц*. Энтропия есть мера беспорядка в системе, а второй закон термодинамики выражает тенденцию изолированной системы становиться все более неупорядоченной. Хочешь порядка - прикладывай энергию, порядок держится *на силе* в любой системе, и в человеческом сообществе тем более. Брошенный дом разрушается, превращается в развалины, поскольку в него не вкладывалась энергия на поддержание порядка. Другим примером возникновения специфических закономерностей представляется явление, называемое хаосом. Это состояние препятствует всем попыткам предсказать будущее системы. В хаотической системе почти одинаковые начальные условия через какое-то время приводят к совершенно разным результатам. Чаще всего это связывают со сложностью наблюдаемой системы. Однако существует возможность возникновения хаоса и в простых системах, как, например, в системе, состоящей из трех тел - звезда и две ее планеты. А если это тела человеческие, то такие примеры мы можем наблюдать на каждом шагу. При этом остается верным утверждение, что в какой бы далекий момент времени мы ни захотели предсказать поведение физической системы, подчиняющейся законам Ньютона, мы способны это сделать при определенной точности задания начальных условий. Это значит, что явление хаоса вовсе не отвергает детерминизм классической физики.

Каждая наука существует, в определенной степени, автономно и имеет, при этом, свою систему понятий для объяснения явлений, составляющих предмет её исследования. Однако автономность наук не означает, что отсутствует всякая связь их законов с более глубокими физическими законами. При переходе от рассмотрения систем одного уровня сложности к другому возникают новые законы, управляющие сложными системами, создается свой язык. Это в равной степени относится и к химии, и к термодинамике, и к хаосу. Но *фундаментальны* ли новые законы? Ведь если мы попросим объяснить, почему эти законы действуют, нас не удовлетворит ответ, что это фундаментальные законы, без объяснений через что-то другое. Сведение объяснений на более простой уровень, разделение сложной структуры на части и составляет смысл редукционизма. Успех, достигнутый в последние годы в изучении хаоса, заключается не только в установлении эмпирических законов, управляющих хаотическими системами, но, что значительно важнее, в выводе этих законов математическим путем из законов микрофизики. Фундаментальными являются те законы, которые относятся к предельно простым объектам, не поддающимся делению на более мелкие составные части. Такими объектами и представляются нам элементарные частицы. А поэтому принципы (законы) физики элементарных частиц являются фундаментальными для всей природы.

Вообще говоря, элементарные частицы сами по себе не очень интересны. Каждый электрон во Вселенной похож на любой другой электрон – если бы вы увидели один электрон, то считайте, что вы видели все. Но именно из этой простоты следует, что электроны, в противоположность людям, не состоят из множества более фундаментальных составляющих. Элементарные частицы интересны именно потому, что они так однообразны; благодаря простоте их изучение приближает нас к исчерпывающему пониманию природы.

Разберем на конкретном примере смысл, вкладываемый в утверждение, что физика элементарных частиц более фундаментальна, чем любые другие области физики. В наши дни физики твердого тела пытаются понять интересное явление возникновения высокотемпературной сверхпроводимости в ряде веществ. В то же время физики, занимающиеся элементарными частицами, пытаются понять происхождение масс кварков, электронов и других частиц. Нет сомнений, что специалисты по твердому телу рано или поздно решат свою проблему без всякой помощи физиков, занимающихся частицами. А когда последние поймут происхождение массы, то это произойдет без участия физиков, занимающихся твердым телом. Разница между этими двумя задачами в том, что когда «твердотельщики» объяснят, наконец, явление высокотемпературной сверхпроводимости, то какими бы замечательными ни были новые идеи, все равно, в конце концов, объяснение примет форму математической выкладки, в которой существование этого явления будет выведено из известных свойств электронов, протонов и атомных ядер. В противоположность этому, когда ученые, занимающиеся физикой частиц, поймут, наконец, происхождение массы, объяснение будет основано на тех свойствах, которые нам сегодня совершенно не известны. Поэтому физика элементарных частиц представляет собой границу нашего знания в том смысле, который отсутствует в физике твердого тела. Другими словами, в пределе, все разделы физики могут быть выведены из физики элементарных частиц [4].

До недавнего времени физика элементарных частиц была основана на точечной модели, как и общая теория относительности. Однако именно точечная модель приводит к непреодолимым противоречиям между общей теорией относительности и квантовой механикой. Эти противоречия разрешает теория струн, которая приводит к созданию квантовой теории гравитации.

Единая теория

Теория элементарных частиц - это теория фундаментальных физических сущностей, из которых образуются все остальные виды материальных объектов. Законы, определяющие существование элементарных частиц, являются фундаментальными законами природы, поскольку, исходя из них, можно объяснить законы и принципы, управляющие поведением материальных структур на разных уровнях организации, разной сложности - от микромира до макромира. Теория струн ограничивает точность геометрического описания гравитации, основанного на понятии точки, ибо струна определяет минимальный размер, который может иметь физический объект. В теории струн понятие точечной частицы теряет смысл, поскольку свойство протяженности струны определяет предельный размер физического тела, что является основанием для создания квантовой геометрии. Этот результат означает, что вместо Вселенной нулевого размера в начальный момент в модели Большого взрыва должна рассматриваться Вселенная, размеры которой ограничены планковской длиной. Это исключает представления о Вселенной, рождающейся из точки с бесконечной плотностью и схлопывающейся в такую точку при сжатии. Конечно, сложно вообразить себе Вселенную, сжатую до песчинки планковских размеров, но вообразить Вселенную, сжатую до нулевого размера, вообще невозможно.

Теория струн разрешила противоречия между общей теорией относительности и квантовой механикой и привела к созданию квантовой теории гравитации [5]. Струны являются физическими сущностями нового типа. Если обычные струны состоят из частиц - протонов, нейтронов, электронов, то новые струны - это как раз то, из чего со-

стоят протоны, нейтроны и другие элементарные частицы. Струны можно представить себе как протяжённые одномерные разрезы на гладкой поверхности. Они могут быть открытыми, с двумя свободными концами, или замкнутыми - как резиновое кольцо. Пролетая в пространстве, струны находятся в состоянии вибрации. Каждая из струн может находиться в любом из бесконечного числа возможных колебаний. Их можно сравнить с обертонами колебаний скрипичной струны. Однако если со временем колебания скрипичной струны затухают, их энергия переходит в энергию случайного движения атомов, из которых струна состоит, т.е. в энергию теплового движения, то принципиальное отличие струн, о которых идет речь в теории струн, в том, что они могут продолжать колебаться бесконечно долго. Дело в том, что они не состоят ни из каких других частиц, а являются неделимыми фундаментальными объектами материи и энергии их колебаний переходить не во что.

Для разных элементарных частиц струны одни и те же, но они могут находиться в разных состояниях, в разных модах колебаний. Разным модам соответствуют разные переносчики взаимодействий (бозоны) и разные частицы с полуцелым спином (фермионы), являющиеся строительным материалом для более сложных структур, например, атомов. Поэтому теория струн даёт основания для разработки единой теории всех взаимодействий, всех фундаментальных сущностей. Известные нам элементарные частицы - кварки, глюоны, фотоны - соответствуют низшим модам колебаний струны, что представляет собой низкоэнергетическое приближение фундаментальной теории элементарных частиц. Теория струн объясняет существование множества всех частиц и факт образования нескольких семейств, но, что самое замечательное, в теории струн было установлено существование моды колебаний, все свойства которой совпадают со свойствами гравитона - носителя гравитационного взаимодействия. Всё это и дает основание определять теорию струн как единую теорию для всех видов взаимодействий.

Познание мира на самом фундаментальном уровне становится возможным благодаря созданию единой теории всех видов взаимодействий - гравитационных, сильных, электромагнитных и слабых. Может возникнуть вопрос: «Как можно сравнивать между собой гравитационные силы, которые в окружающей жизни выглядят самыми слабыми и ядерные (сильные) и даже электромагнитные?». Но надо иметь в виду, что гравитационному взаимодействию подвергается всё - и тела, которые мы наблюдаем вокруг, и все виды энергии, например, два световых луча. Поэтому сила тяготения между двумя элементарными частицами при достаточно больших энергиях может стать столь же большой, как и любая другая сила, действующая между ними. Та энергия, при которой это происходит, составляет примерно 10^{19} ГэВ. Её называют планковской энергией и она в 10^{15} раз больше той, которая достигается на самых современных ускорителях.

Объяснить возникновение Вселенной с тем или иным набором свойств элементарных частиц не представляется возможным иначе, чем на основании единой теории, которая дала бы ответ на вопросы: «*Что* определяет свойства элементарных частиц?» и «*Как* возникают пространства разной размерности и сама материя?». Только единая теория позволит охватить весь круг вопросов, относящихся к происхождению Вселенной, через определение её исходного состояния.

Поскольку задача космологической теории состоит в объяснении происхождения нашего мира, то мы неизбежно прослеживаем историю Вселенной вспять до точки Большого взрыва. При этом возникают *две проблемы*: одна состоит в *объяснении сингулярности* точки Большого взрыва, другая сводится к формулировке *принципа, пред-*

определяющего историю Вселенной, начиная с Большого взрыва. Это общие задачи для космологии и единой теории взаимодействий [6]. В единую теорию должна быть включена и гравитация, хотя гравитационное взаимодействие в обычных условиях является самым слабым. Так, в атоме сила гравитационного притяжения между электроном и протоном в 10^{40} раз слабее силы электрического притяжения между ними. Но сила гравитационного притяжения растет пропорционально квадрату энергии, т.е. гораздо быстрее других сил, которые растут с энергией логарифмически. При достижении энергии $\sim 10^{19}$ Гэв гравитация становится сильным взаимодействием, соизмеримым со всеми другими силами и, таким образом, появляется основание для объединения всех сил природы. Эту задачу решает теория суперструн. Исходными составляющими материи в этой теории являются не точечные частицы, а протяжённые одномерные струны.

Происходит принципиальный для всей науки переход от нульмерных фундаментальных объектов к одномерным. Одномерные струны – это неделимые сущности, которые составляют основу теории квантовой гравитации. На больших расстояниях она асимптотически переходит в теорию Эйнштейна. Это напоминает аналогию с квантовой механикой, которая асимптотически переходит в классическую. Теория струн определяет существование гравитона и устраняет противоречие между общей теорией относительности и квантовой механикой.

Теория струн требует наличия дополнительных измерений, которые должны быть свёрнуты до очень маленького размера. Свёрнутые пространственные измерения оказывают существенное влияние на возможные моды резонансных колебаний струны. Крошечные струны, из которых состоит вся Вселенная, колеблются во всех пространственных измерениях, поэтому форма, в которую свёрнуты дополнительные измерения, а также их взаимное переплетение строго ограничивают возможные моды резонансных колебаний. Эти моды, в значительной мере определяемые геометрией дополнительных измерений, и формируют набор свойств различных частиц, которые мы можем наблюдать в обычных протяжённых измерениях, а именно фундаментальные физические свойства, такие, как массы и заряды частиц.

Из теории струн следует суперсимметрия для элементарных частиц, а также необходимость вывода о многомерности пространства. Та особенность, что струны – это одномерные фундаментальные сущности, даёт возможность устранить противоречие между общей теорией относительности и квантовой механикой. Свойство протяжённости струндаётоснование для создания квантовой теории гравитации и установления минимального размера Вселенной. Это решает проблему сингулярности в теории Большого взрыва, исключает бесконечное значение плотности в начальный момент возникновения Вселенной. Кроме того, на основании теории струн создана микроскопическая теория энтропии чёрных дыр и найдено её численное значение [7, 8]. Это и ещё многое другое даёт основание считать теорию струн кандидатом на роль единой теории, «теории всего».

«Мог ли Бог сотворить мир другим, оставляет ли какую-то свободу требование логической простоты?» (Эйнштейн). Ответом на этот вопрос может быть единая теория.

Если у нас есть окончательная теория природы, то одним из самых убедительных аргументов в пользу её конкретной структуры является то, что она не могла бы быть другой. Окончательная теория должна иметь тот вид, который она имеет, потому что она даёт уникальную формулировку, в рамках которой можно объяснить Вселенную, не натываясь на внутренние или логические противоречия [5].

Именно *поэтому* единая теория, по определению, устанавливает неизбежность той эволюции, которая характерна для нашей Вселенной, а значит, даёт ответ на вопрос: «Почему мир устроен так, а не иначе?».

В Церне недавно начал работать новый ускоритель – Большой адронный коллайдер (Large Hadron Collider, LHC). Этот ускоритель рассчитан на достижение энергии ~ 7 Тэв (10^{12} эв); при этих энергиях есть надежда на обнаружение частиц-суперпартнёров, что и было бы экспериментальным подтверждением суперсимметрии – одного из результатов теории струн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Винер, Н. Кибернетика [Текст]. М., Наука, 1983. С.344.
2. Эйнштейн, А. Собрание научных трудов, т. 3 [Текст]. М., Наука, 1966. с.464.
3. Вайнберг, С. Мечты об окончательной теории [Текст]. М., Едиториал УРСС, 2004, с. 256.
4. Гросс, Д. Грядущие революции в фундаментальной физике, Проект «Элементы», вторые публичные лекции по физике (25.04.2006), <http://elementy.ru>.
5. Грин, Б. Элегантная Вселенная [Текст]. М., Едиториал УРСС, 2004, с. 290.
6. Хокинг, С. Чёрные дыры и молодые вселенные [Текст]. СПб., Амфора/Эврика, 2001, с.192
7. Strominger, A. and Vafa C. Microscopic Origin of the Bekenstein-Hawking Entropy [Text].Phys. Lett. B 379, 99 (1996) [hep-th/9601029].
8. Линде, А. Многоликая Вселенная. Всероссийский проект «Открытые публичные лекции», ФИАН,10.06.2007, <http://elementy.ru>

A UNIFIED THEORY

V. Gorshkov, G. Mansurov

*Moscow State Regional University
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

Abstract. In present work main ideas of the string theory is presented. The results on fundamental issues of elementary particle physics give grounds to consider it as the main candidate for the role of a unified theory. The possibilities of its experimental confirmation are given.

Key words: string theory, the picture of peace, supersymmetry, the origin of the Universe, elementary particles.