

УДК 001.5

**СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МИКРОМИРА  
В АСПЕКТЕ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ****Раджабов О.Р.***ФГОУ ВПО «Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова»,  
Махачкала, e-mail: filek08@Rambler.ru*

Рассмотрены основные структурные уровни организации вещества в контексте современной физики микромира. Обосновано, что в познании микромира физика исторически шла от молекул к атомам, от атомов к ядрам и далее к элементарным частицам, далее к вакууму. До 1932 г. были известны лишь три «элементарные» частицы – электрон, протон и фотон. Некоторые из этих частиц ничем не менее (но и не более) элементарны, чем протон или электрон. Другие (например, гипероны и частицы-резонансы) кажутся возбужденными состояниями более легких частиц. Большинство частиц нестабильно, они превращаются друг в друга и окружены «облаками» виртуальных частиц. Выяснено, что понятия об элементарности или сложности частиц сами становятся весьма неэлементарными и сложными. Частицы характеризуются массой, спином, зарядом, временем жизни и рядом других величин и квантовых чисел. Причем число частиц имеет, весьма разнообразный набор характеристик. Физика XX и XXI в., проникая все глубже в строение материи, вышла сначала на уровень атома, затем – атомного ядра и, наконец, на уровень элементарных частиц. Однако понятие «элементарный» относительно. Как сказал Ферми, «возможно, что оно отражает уровень нашего понимания». Предполагается, что в природе существует особая форма поля – хиггсовское поле, носителем которого и является хиггсовский бозон. Бозоны Хиггса – особая форма материи, поэтому выяснение, действительно ли они существуют, необходимо для понимания механизма появления масс частиц, а также для понимания природы физического вакуума. Научные результаты, полученные в последние годы, показывают, что существующих знаний о фундаментальных частицах и их взаимодействиях явно недостаточно для описания наблюдаемого мира.

**Ключевые слова:** микромир, элементарные частицы, суперсимметрия, вакуум, бозоны Хиггса**STRUCTURAL LEVELS OF THE ORGANIZATION IN TERMS OF THE  
MICROCOSM OF MODERN PHYSICS****Radzhabov O.R.***Dagestan State Agricultural University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala,  
e-mail: filek08@Rambler.ru*

The article considers the basic structural levels of organization of matter in the context of modern physics of the microworld. It is proved that in the study of the microworld physics historically came from molecules to atoms, from atoms to nuclei and then to elementary particles, then the vacuum. Before 1932 only three elementary particles were known – electrons, protons and photons. Some of these particles are no less elementary (but not greater) than the electron or proton. Others (e.g., hyperons and particle resonances) are seemed to be excited states of the lighter particles. Most particles are unstable, they turn to each other and are surrounded by «clouds» of virtual particles. It's found out that the concepts of simplicity or complexity of the particles become very elementary and complex. Particles have mass, spin, charge, lifetime, and a number of other variables and quantum numbers. Moreover, the number of particles has a very diverse set of characteristics. Physics of XX and XXI centuries, going deeper into the structure of matter, came first to the level of the atom, and then – the atomic nucleus, and finally to the level of elementary particles. However, the concept «elementary» is relative. As Fermi said, «it is possible that it reflects the level of our understanding». It is assumed that there is a special form of the field – the Higgs field, the carrier of which is the Higgs boson. Higgs bosons are a special form of matter, so it is necessary to find out whether they really exist, in order to understand the mechanism of the appearance of the particle masses, as well as for understanding the nature of the physical vacuum. The scientific results obtained in recent years show that the existing knowledge of the fundamental particles and their interactions is not enough to describe the observable world.

**Keywords:** microcosm, elementary particles, super symmetry, vacuum, Higgs bosons

В истории физики всегда существовало стремление познать первооснову, из которой происходит вещество материального мира. В познании микромира физика исторически шла от молекул к атомам, от атомов к ядрам и далее к элементарным частицам, далее к вакууму.

До 1932 г. были известны лишь три «элементарные» частицы – электрон, протон и фотон. Затем были открыты нейтрон, позитрон,  $\mu^\pm$ -лептоны,  $\pi^\pm$ - и  $\pi^0$ -мезоны, более тяжелые мезоны, гипероны, частицы-

резонансы, электронные и мюонные нейтрино, антинейтрино и другие. Некоторые из этих частиц ничем не менее (но и не более) элементарны, чем протон или электрон. Другие (например, гипероны и частицы-резонансы) кажутся возбужденными состояниями более легких частиц. Большинство частиц нестабильно, они превращаются друг в друга и окружены «облаками» виртуальных частиц (например, нуклоны одеты в р-мезонные «шубы»). Таким образом, понятия об элементарности или сложности

частиц сами становятся весьма неэлементарными и сложными. Частицы характеризуются массой, спином, зарядом, временем жизни и рядом других величин и квантовых чисел. Причем число частиц имеет весьма разнообразный набор характеристик [4].

На присущих частицам взаимодействиях была основана их начальная классификация. Сильновзаимодействующие частицы называются адронами (от греческого «hadros» – «тяжелый»), они подразделяются на барионы и мезоны. Адроны обладают также слабым и электромагнитным взаимодействиями, которые заметно проявляются лишь в тех случаях, когда процессы сильного взаимодействия почему-либо не могут происходить. Например, пионы, самые легкие из адронов, не могут распадаться, образуя другие, более легкие адроны, т. е. за счет сильного взаимодействия.

Частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях, но обладающие слабым, называются лептонами (от греческого «leptos» – «легкий»). Лептоны, не имеющие электрического заряда, – это нейтрино, участвующие только к слабым взаимодействиям. Заряженные лептоны (пока речь шла о двух из них – электронах и мюонах, но есть третий тип, называемый тау-лептонами), очевидно, обладают также электромагнитным взаимодействием.

Фотоны не являются ни адронами, ни лептонами, они входят в еще один класс частиц. Все частицы одного типа (например, все электроны или все протоны) тождественны. Принцип тождественности лежит в основе квантовой статистики, рассматриваемой свойства систем частиц.

Одним из основных свойств частиц является их спин, характеризуемый соответствующим квантовым числом. Это число выражает величину спина в единицах постоянной Планка и может быть либо целым (включая нулевое), либо полуцелым. Частицы с целым и полуцелым спином существенно различаются, проявляется это различие в том, что они подчиняются различным законам квантовой статистики. Системам частиц с целым спином соответствует статистика Бозе – Эйнштейна, и поэтому их называют бозонами, частицы с полуцелым спином называют фермионами, так как они подчиняются статистике Ферми – Дирака. Последняя включает принцип Паули – важнейший принцип квантовой теории, согласно которому две тождественные частицы с полуцелым спином не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии (одно из проявлений принципа Паули – образование электронных оболочек атомов, каждая из которых заполняется до

тех пор, пока не будут исчерпаны все комбинации квантовых чисел электронов для данной оболочки: энергия, орбитальный момент и его проекция, ориентация спинов). Все фермионы имеют античастицы, что теоретически следовало еще из уравнений Дирака. В пределах достигнутой в настоящее время экспериментальной точности, фермионы могут рождаться или уничтожаться только в паре с антифермионами. Это означает, что сохраняется разность числа фермионов и числа антифермионов [5].

Физика XX и XXI в., проникая все глубже в строение материи, вышла сначала на уровень атома, затем – атомного ядра и, наконец, на уровень элементарных частиц. Однако понятие «элементарный» относительно. Как сказал Ферми, «возможно, что оно отражает уровень нашего понимания». С развитием физики частиц число обнаруженных адронов быстро росло, к началу 60-х годов их было уже известно больше, чем имеется элементов в таблице Менделеева, более 350, и стало ясно, что все они не могут быть элементарными. И тогда в 1964 г. Мюррэм Гелл-Манн и независимо Джордж Цвейг выдвинули смелую гипотезу, впоследствии блестяще подтвердившуюся, что все адроны состоят из более элементарных структурных элементов, названных кварками. Название «кварк» ввел Гелл-Манн. Слово взято из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнигану», где его значение неопределенно. (Между прочим, «quark» по-немецки означает «творог»). Оказалось возможным «построить» все известные в то время адроны всего из трех видов кварков, обозначаемых соответственно  $u$ ,  $d$ ,  $s$  – начальными буквами английских слов «up» (вверх), «down» (вниз) и «strange» (странный). Барионы состоят из трех кварков (соответственно барионный заряд кварков составляет  $1/3$ ), мезоны – из кварка и антикварка. Кварки – фермионы, их спин равен  $1/2$ , поэтому барионы тоже фермионы, а мезоны являются бозонами. Наиболее необычное в свойствах кварков то, что у них дробные электрические заряды  $-1/3(e)$  и  $+2/3(e)$ , где  $e$  – элементарный электрический заряд (следует заметить, что существование дробных электрических зарядов, хотя и представляется нам удивительным, не нарушает ни одного известного закона природы). В то же время электрические заряды адронов, равные сумме зарядов составляющих их кварков, всегда целые [1].

Суперсимметрия утверждает, что при перестановке бозонных и фермионных частиц физические законы остаются неизменными. Из свойств суперсимметрии следует

далеко идущее обобщение у каждого бозона должен быть свой партнер-фермион и наоборот. Поэтому наряду с кварками-фермионами должны существовать и кварки-бозоны. Продолжая аналогию, можно предположить, что фотону должен соответствовать его партнер фотино; электрону электрон-бозонный партнер и т. д. Расчеты выявляют очень большую разницу масс партнеров, которая, однако, выравнивается при очень высоких энергиях. Сегодня все кварки уже обнаружены, и в их существовании никто не сомневается. Более того, как отмечалось, выдвинута гипотеза о протокварках (преонах и т. д.) – частицах следующего структурного уровня строения материи. Однако возможно, что деление вещества на каком-то этапе прекратится, причем нетривиальным образом: составные части адронов теряют возможность самостоятельного существования в свободном виде. Вполне вероятно, что процесс дробления вещества останавливается именно на кварках. Стандартная Модель содержит принципиально важную гипотезу, что массы частиц обязаны своим происхождением действию механизма Хиггса. «Этот сложный механизм можно очень упрощенно представить таким образом. В некотором (ненаблюдаемом) исходном вакуумном состоянии, до своего «рождения», частицы не обладают массами. Это «зародышевое» состояние симметрично, но неустойчиво (его энергия не минимальна). Взаимодействие с полем, квантами которого являются виртуальные бозоны Хиггса  $W^{\pm}$ ,  $Z^0$ , дает толчок к спонтанному нарушению этой симметрии, и частицы переходят в более устойчивое состояние, приобретая массы» [6].

Одной из нерешенных задач в теории элементарных частиц является обнаружение хиггса – скалярного бозона со спином  $S=0$ . Хиггсовскими бозонами называют кванты особого скалярного поля, введенного в физику элементарных частиц П. Хиггсом. В 1964 г. Питер Хиггс (Peter W. Higgs) из Эдинбургского университета изучил работу Голдстоуна и обнаружил, что теория с самопроизвольным нарушением симметрии допускает существование массивных частиц. Масса возникает из-за взаимодействия между полем  $j$  и всеми типами частиц, включая и частицы – переносчики слабых ядерных сил. От того, удастся его обнаружить или нет, будет многое зависеть в теории строения материи предлагаемой физикой XXI века, так как эта частица, по мнению ученых, определяет массу материи. Предполагается, что в природе существует особая форма поля – хиггсовское поле, носителем которого и является хиггсовский

бозон. Оно поразительно похоже на отвергнутый учеными всепроникающий эфир и заполняет всю Вселенную. В хиггсовском поле, взаимодействуя с ним, движутся все частицы. Масса частицы определяется как мера ее взаимодействия с хиггсовским полем [3].

Как было сказано выше, Стандартная Модель исходит из представления, что массы частиц возникают при спонтанном нарушении симметрии электрослабого взаимодействия в процессе их взаимодействия с полем гипотетических бозонов Хиггса (обычно их для краткости называют просто хиггсами). Хиггсы, как и калибровочные бозоны, проявляются в виртуальном состоянии как кванты соответствующего поля (поля Хиггса), но должны существовать и в виде реальных физических частиц. Однако бозоны Хиггса резко отличаются как от калибровочных бозонов, так и от всех остальных фундаментальных частиц, прежде всего по таким определяющим характеристикам, как спин и взаимодействие с другими частицами [2].

Хиггсы – единственные из всех фундаментальных частиц – не имеют спина: четность хиггсов положительна, и в соответствии с классификацией частиц по их спину и четности они являются скалярными частицами. Бозоны Хиггса – особая форма материи, поэтому выяснение, действительно ли они существуют, необходимо для понимания механизма появления масс частиц, а также для понимания природы физического вакуума. Следовательно, поиск бозонов Хиггса – наиболее важная экспериментальная задача современной физики частиц. В простейшем варианте теории, принятом Стандартной Моделью, должен существовать только один тип бозона Хиггса, не имеющий электрического заряда. Согласно теории суперсимметрии должны быть как нейтральные, так и заряженные хиггсы. В теории элементарных частиц актуальной проблемой физики является теория одномерных струн, успехи которой сильно зависят от экспериментов с частицами сверхвысоких энергий. Вместо термина «струны» часто употребляют «суперструны» (superstrings), во-первых, чтобы не было путаницы с космическими струнами (такое понятие есть в астрофизике), и, во-вторых, чтобы подчеркнуть их предполагаемую симметрию.

«Струны представляют собой одномерные объекты, по последним оценкам имеющие размер порядка 10-16 см. Они характеризуются сильными натяжениями и находятся в состоянии непрерывных вибраций с различными гармониками, ина-

че называемыми колебательными модами. В зависимости от частоты вибрации натянутой струны, на уровне Стандартной Модели квантовой теории каждой отдельной колебательной моде отвечает одна из известных элементарных частиц. Следовательно, основа элементарных частиц, а вместе с ними и вещества – это элементарные сгустки энергий, вибрирующие с различными частотами» [7]. Струны могут быть конечной длины (некоторый отрезок) или иметь вид колец. Струны движутся не в обычном четырехмерном пространстве, а в многомерных пространствах, скажем, с десятью или одиннадцатью измерениями. Они обладают бозон-фермионной симметрией, т. е. являются суперструнами.

Научные результаты, полученные в последние годы, показывают, что существующих знаний о фундаментальных частицах

и их взаимодействиях явно недостаточно для описания наблюдаемого мира.

#### Список литературы

1. Гейзенберг В. Космология, элементарные частицы, симметрия // Природа. 1969. № 12. – С. 79-85.
2. Герштейн С.С., Логунов А.А. Единство различных сил природы и строение элементарных частиц // Ленинское философское наследие и современная физика. – М.: Наука, 1981. – С. 458-501.
3. Кайзер Д. Рождение космологии частиц // В мире науки. 2007. № 9. – С. 41-47.
4. Новожилов Ю.А. Элементарные частицы // Структуры и формы материи. – М.: Наука, 1967. – С. 193-228.
5. Наумов А.И. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1984. – 325 с.
6. Пахомов Б.Я. Становление современной физической картины мира. – М.: Мысль, 1985. – С. 248-252.
7. Ровинский Р.Е. Мировоззренческие проблемы физической науки, наследуемые XXI веком // Вопросы философии. 2008. № 8. – С. 132.