

## Теория фундаментальных взаимодействий

Центральной проблемой современной теоретической физике является создание единой теории фундаментальных взаимодействий. В этом направлении в XX веке были достигнуты впечатляющие успехи. С одной стороны, прогресс экспериментальной техники позволил исследовать строение материи на субатомных масштабах, что привело к открытию различных элементарных частиц: мезонов, нейтрино, W- и Z-бозонов и т.д. С другой, объединение квантовой механики со специальной теорией относительности привело к созданию квантовой теории поля - теоретического аппарата, обеспечивающего описание мира элементарных частиц. В основе современной физики высоких энергий лежит Стандартная модель, описывающая электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия. Последним триумфом Стандартной модели явилось открытие в 2012 году на Большом адронном коллайдере бозона Хиггса, теоретически предсказанного за полвека до этого.

Однако Стандартная модель изначально не включала в себя четвертое взаимодействие – гравитацию. На этом пути имеются две принципиальные трудности. Во-первых, на малых масштабах гравитация несравненно слабее других взаимодействий, что затрудняет возможность экспериментального изучения ее проявлений в физике элементарных частиц. Во-вторых, попытки квантования теории гравитации сталкиваются с неустраняемыми расходимостями, характерными для неперенормируемых теорий. Этот факт сигнализирует о том, что на малых масштабах (эквивалентно, при больших энергиях) природа описывается какой-то принципиально иной, пока неизвестной, теорией, по отношению к которой гравитация является лишь низкоэнергетическим приближением. Это не так удивительно, учитывая, что классическая (т.е. неквантовая) теория гравитации - это Общая теория относительности Эйнштейна, согласно которой, гравитация проявляется в виде искривления пространства-времени, источником которого является материя. Можно ожидать, что такой фундаментальный сдвиг, как квантование геометрии, потребует радикального пересмотра существующих физических понятий и теорий.

В наши дни, наиболее популярным кандидатом на роль фундаментальной теории является теория суперструн. Она утверждает, что при энергиях квантовой гравитации физика описывается не квантовыми полями, а струнами: протяженными одномерными объектами, совершающими колебания подобно обычным струнам. Различные моды этих колебаний при низких энергиях могут приближенно описываться как различные квантовые поля, в т.ч. гравитационные. В рамках теории струн было совершено наиболее значительное открытие последнего времени в теории фундаментальных взаимодействий: голографическое AdS/CFT соответствие. Эта гипотеза (подкрепленная значительным числом различных конкретных примеров, но до сих пор не имеющая общего доказательства) утверждает, что теория гравитации в  $(d+1)$ -мерном пространстве-времени анти- де Ситтера (AdS), т.е. максимально симметричном пространстве-времени с отрицательной космологической постоянной, эквивалентна конформной теории поля (CFT), т.е. квантовой теории поля без характерных масштабов, в обычном (плоском) пространстве-времени размерности  $d$ . Подобно тому, как двумерная голограмма содержит в себе трехмерное изображение, обе теории несут одинаковую информацию, однако записанную на разных "языках": например, черная дыра в AdS эквивалентна теории поля при конечной температуре и т.п. AdS/CFT соответствие является предметом активного исследования теоретиков, и, несомненно, дальнейшее развитие этого сюжета поможет в продвижении на пути понимания квантовой гравитации и построения фундаментальной теории. Еще одним важным направлением современных исследований, способным пролить свет как на природу AdS/CFT соответствия, так и на скрытые симметрии теории суперструн, является калибровочная теория высших спинов, в основе которой лежат высшие симметрии, которые должны проявляться при сверхвысоких энергиях, превышающих планковский масштаб  $10^{19}$  GeV.