

БОЗОНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И РОЛЬ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Шурпо Т.В., студент гр.418301, Княжевич К.А., студент гр.418302

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Чаевский В.В. — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Аннотация. В работе представлен анализ бозонов — частиц с целочисленным спином, играющих ключевую роль в реализации фундаментальных взаимодействий. Рассмотрены их классификация, физические свойства, роль в Стандартной модели и гипотезах за её пределами. Особое внимание уделено бозону Хиггса, завершившему Стандартную модель, а также перспективам исследований в области квантовой гравитации и тёмной материи [1].

Бозоны — элементарные частицы с целочисленным спином, подчиняющиеся статистике Бозе-Эйнштейна, что позволяет множеству частиц занимать одно квантовое состояние. Их уникальные свойства лежат в основе макроскопических квантовых явлений, таких как сверхпроводимость (проведение тока без сопротивления за счёт куперовских пар) и формирование структуры материи [2]. В рамках Стандартной модели бозоны выступают переносчиками фундаментальных взаимодействий: фотон (γ) отвечает за электромагнетизм, глюоны (g) — за сильное взаимодействие, перенося «цветовой» заряд между кварками, а $W^\pm$ и Z -бозоны (массы $\sim 80,4$ и $\sim 91,2$ ГэВ/ c^2) опосредуют слабые взаимодействия. $W^\pm$ -бозоны, несущие заряд $\pm e$, участвуют в превращениях кварков, например, в бета-распаде нейтрона, а Z^0 -бозон отвечает за нейтральные токи, не изменяющие тип частицы [3]. Бозон Хиггса (спин 0, масса 125 ГэВ/ c^2), открытый в 2012 г. на БАК, взаимодействует с одноимённым полем, нарушающим электрослабую симметрию и придающим массу фермионам и W/Z -бозонам [1].

Составные бозоны, такие как пионы (кварк-антикварк), мезоны и дейтроны (протон+нейтрон), формируются из чётного числа фермионов, что обеспечивает целочисленный спин. Гипотетические бозоны включают гравитон (спин 2, безмассовая частица, предсказанная теорией струн для квантования гравитации) и аксион — ультралёгкую частицу, предложенную для решения проблемы CP-нарушения в квантовой хромодинамике. Аксионы, слабо взаимодействующие с обычной материей, рассматриваются как ключевой кандидат в холодную тёмную материю [5].

Коллективные эффекты бозонов проявляются в конденсате Бозе-Эйнштейна (атомы рубидия при ~ 1 мК), где частицы синхронизируются в единое квантовое состояние, и сверхтекучести гелия-4 ($T < 2,17$ К), где квантовые эффекты подавляют вязкость, позволяя веществу течь без трения [2]. В фундаментальных взаимодействиях W/Z -бозоны и фотоны объединены в электрослабую теорию (Глэшоу-Вайнберг-Салам), проявляющуюся при энергиях выше 100 ГэВ [3], а глюоны формируют «силовые трубки» между кварками, объясняя конфайнмент — невозможность их изоляции из-за роста энергии связи, приводящего к рождению новых частиц [4].

Космологическая роль бозонов связана с фазовыми переходами ранней Вселенной, включая нарушение симметрии Хиггса ($\sim 10^{-12}$ с после Большого взрыва), которое привело к появлению масс частиц и разделению электрослабого взаимодействия. Гипотетические бозоны, такие как аксионы, могут составлять до 27% массы Вселенной, объясняя гравитационные аномалии галактик и скоплений [5]. Современные эксперименты на БАК изучают аномальные распады бозона Хиггса ($H \rightarrow \gamma\gamma$), отклонения которых могут указывать на взаимодействие с тёмной материей или дополнительные измерения [1]. Теория суперсимметрии, предсказывающая бозонные партнёры фермионов (скалки, снеитрино) для решения проблемы иерархии масс, пока не подтверждена при энергиях до 13 ТэВ [6]. Проекты вроде LISA (запуск в 2034 г.) и NanoGrav исследуют низкочастотные гравитационные волны от слияния сверхмассивных чёрных дыр, что может дать косвенные свидетельства гравитонов.

Перспективы связаны с коллайдерами нового поколения: FCC (длина 100 км, энергия до 100 ТэВ) и HL-LHC, которые повысят точность измерений хиггсовского бозона и проверят его возможную составную природу. Эти проекты, наряду с детекторами тёмной материи (XENONnT, IceCube), углубят понимание квантовой гравитации, тёмной материи и мультивселенных, расширяя границы физики за пределы Стандартной модели.

Список использованных источников:

1. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV / ATLAS Collaboration // *Physics Letters B*, 2012, - P. 30–61.
2. Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor / Anderson, M. H. [et al] // *Science*, 1995, - P. 198–201.
3. A Model of Leptons / Weinberg, S. // *Physical Review Letters*, 1967, - P. 1264–1266.
4. Ultraviolet Behavior of Non-Abelian Gauge Theories / Gross, D. J., Wilczek, F. // *Physical Review Letters*, 1973, - P. 1343–1346.
5. History of Dark Matter. / Bertone, G., Hooper, D. // *Reviews of Modern Physics*, 2018, - 90.045002.
6. The Eightfold Way/ Gell-Mann M., Ne'eman, Y. // *The Eightfold Way*. Benjamin, 1964.