



大阪科学・大学記者クラブ 御中
(同時資料提供先：文部科学記者会、科学記者会)

2020年10月16日
大阪市立大学

ゲージ・ヒッグス統一模型の大統一理論へ拡張した理論を構築し、クォーク・レプトンの質量階層性も再現することに成功

<本研究のポイント>

- ◇ゲージ・ヒッグス統一模型の大統一理論へ拡張した理論を構築。
- ◇クォーク^{*1}・レプトン^{*2}の質量階層性^{*3}も再現することに成功。

<概要>

大阪市立大学大学院理学研究科 丸 信人(まる のぶひと)准教授と同研究科 後期博士課程 1 年生の矢田貝 祥貴(やたがい よしき)さんは、素粒子標準模型におけるヒッグス場を高次元ゲージ場の一部とみなす 5 次元ゲージ・ヒッグス統一理論を大統一理論に拡張した理論を構築し、電弱対称性の破れ^{*4}およびヒッグス粒子^{*5}の質量を再現できただけでなく、クォーク・レプトンの質量階層性も不自然なパラメタの微調整をせずに再現することに成功しました。

本研究成果は、2020年10月9日(金)、「The European Physical Journal C」に掲載されました。

【発表雑誌】The European Physical Journal C 80 933 (2020) (IF=4.4)

【論文名】Improving Fermion Mass Hierarchy in Grand Gauge-Higgs Unification with Localized Gauge Kinetic Terms

【著者】丸 信人、矢田貝 祥貴

【掲載 URL】https://link.springer.com/article/10.1140/epjc/s10052-020-08485-8?wt_mc=Internal.Event.1.SEM.ArticleAuthorIncrementalIssue

*1 クォーク…原子核を形成する陽子等(ハドロン)を構成する6種の素粒子の総称。

*2 レプトン…電子や電子ニュートリノなどの6種の素粒子の総称。クォークとともに物質の基本的な構成要素となる。

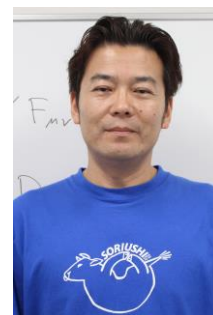
*3 質量階層性…標準模型では予言できないクォークとレプトンの質量間にある6桁にも及ぶ階層性のこと。

*4 電弱対称性の破れ…電磁気力と弱い力を統一する電弱理論において、対称性が自発的に破れている現象。

*5 ヒッグス粒子…標準模型で用いられるヒッグス機構において、質量の起源として作用する粒子。

<研究者からのコメント>

ゲージ・ヒッグス統一模型の大統一理論への拡張を15年ほど研究していますが、対称性からの制限が強く、困難でした。優秀な院生が興味を持ってくれたおかげで、新しいアプローチによる模型構築の研究を実施でき、現実的大統一理論の下地ができました。さらなる課題に取り組み、私たちの理論の予言を引き出したいと思っています。



丸 信人准教授

<研究の背景>

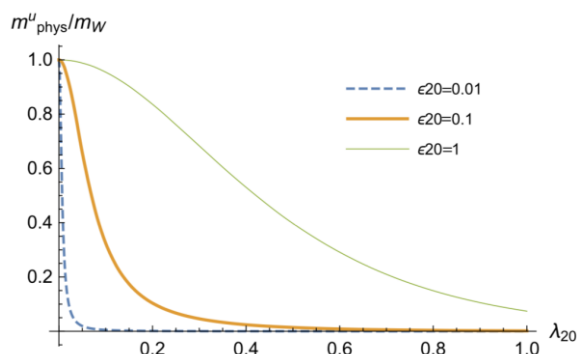
素粒子論は、分割不可能な基本粒子(素粒子)の存在とその素粒子が受ける力(相互作用)について明らかにする研究です。現在までのところ、クォーク・レプトンと呼ばれる物質粒子と強い力、弱い力、電磁気力の3つの力を媒介する粒子(ゲージ粒子という)と素粒子に質量を与えるヒッグス粒子が素粒子として知られています。それらの素粒子と3つの相互作用は、標準模型で記述されており、実験データをよく説明しています。しかし、標準模型では、電弱対称性の破れの起源、ヒッグス粒子の起源、クォーク・レプトンの質量階層性の問題など多くの未解決問題があります。1番目と2番目の問題は、標準模型におけるヒッグス粒子のポテンシャルに決められないパラメタがあることが原因です。3番目の問題は、標準模型では湯川結合定数が決められないことが原因です。これらの問題を解決するためには、標準模型を超える物理への拡張が不可欠であり、様々な理論が提唱されています。

<研究の内容>

本研究では、その拡張の1つである5次元SU(6)ゲージ・ヒッグス大統一理論を構築し、上記の問題を一挙に解決しました。大統一理論は、上記3つの力を1つの力に統一する野心的な理論です。またこのゲージ・ヒッグス統一理論では、ヒッグス粒子が5次元ゲージ粒子の余剰次元成分に同一視され、ヒッグス粒子とゲージ粒子をも統一する理論です。このような野心的な理論は未だ完成しておらず、現実的な模型構築は重要な研究課題となっています。

本研究では、その第1歩としてクォーク・レプトンのみならず、標準模型に含まれない物質粒子を追加でうまく選ぶことにより、標準模型で生じる電弱対称性の破れが実現され、ヒッグス粒子の質量を再現するシンプルな模型を構築することに成功しました。また、5番目の空間の境界に局在するゲージ粒子の運動項を導入することで、再現することが困難なトップクォークの質量も含めたクォーク・レプトンの質量階層性を、パラメタの不自然な微調整をせずに再現することにも成功しました。

成功の鍵は、今回構築したゲージ・ヒッグス大統一理論では、ヒッグス粒子のポテンシャルおよび湯川結合はゲージ対称性の要請により、ヒッグスポテンシャル中のパラメタや湯川結合定数に対して制限が課され、勝手な値を取れなくなり決まらないパラメタの数が非常に少なくなることです。この著しい性質により予言能力が高まり、上述の研究成果につながりました。



アップ型クォークとWボソン質量比の依存性

<今後の展望>

本研究で構築した理論は、現実的大統一理論へ向けての第1歩がクリアできた段階であり、次の研究課題としてゲージ結合定数の統一と陽子崩壊の解析という2つの研究が必要不可欠です。前者の研究で電磁気力、強い力、弱い力の3つの力が統一するエネルギースケールを評価し、その情報を用いて後者の研究から、上述の理論に特有な陽子の主崩壊モードを特定したのち陽子の

寿命を計算し、将来計画されているハイパーカミオカンデ実験での検証可能性を明らかにします。

<資金情報>

日本学術振興会 科学研究費 基盤研究 C JSPS KAKENHI Grant Number 17K05420

【研究内容に関するお問い合わせ先】

大阪市立大学 大学院理学研究科

数物系専攻 准教授 丸 信人

TEL : 06-6605-2539

Email : nmaru@sci.osaka-cu.ac.jp

【報道に関するお問い合わせ先】

大阪市立大学 広報課

担当 : 西前 香織

TEL : 06-6605-3411

Email : t-koho@ado.osaka-cu.ac.jp