

剰余空間を用いた統一理論

プロジェクト代表者: 佐藤 丈 (理工学研究科・准教授)

1 10次元のコンパクトな剰余空間を用いた統一理論の構築

コンパクトな剰余空間を剰余次元として持つ理論から、有効理論として4次元の理論を導く手法として Coset Space Dimensional Reduction (CSDR) の手法というのがあります。この手法を援用して、これまで誰にも調べられたことのない、10次元のコンパクトな剰余空間を用いた統一理論の構築を行いました。

具体的には、10次元のコンパクトな剰余空間を全て見つけ出し、おのおのの空間ごとに低エネルギー側での理論として、標準模型(SU(3)*SU(2)*U(1))あるいはSO(10)またはSU(5)に基づく大統一理論を導けるのかを網羅的に調べました。

まず、10次元の剰余空間は全部で35あることを見いだしました。それに基づいて、剰余空間毎に標準模型(SU(3)*SU(2)*U(1))あるいはSO(10)またはSU(5)に基づく大統一理論を導ける可能性のある高次元での統一群としてのゲージ群とそこでの物質の表現を定め、それを剰余空間の理論を4次元時空の理論に落とすためのCSDRの手法に基づいて、その高次元での理論が正しかったとしたときに、我々の4次元世界がどのような理論で記述されるのかを導きました。

この手法は理論的な制約が大変強く、なかなか現実世界を記述するような理論を導出できませんでしたが、それでも、SO(10)理論を導きしかもフェルミオンが三世代分出てくるような模型をいくつか見つけました。たとえば、剰余空間としてSU(6)/SU(5)*U(1)やSO(9)*SU(2)/SO(8)*U(1)を選び、高次元でのゲージ群としてSO(20)をとりそこでのフェルミオンの表現として512をとると、我々の存在する4次元の理論としてはゲージ群がSO(10)*U(1)となり、フェルミオンは三世代、また、フェルミオンに質量を与えるヒッグス場もほしい10次元表現のものが得られます。

Table 5

The field contents in four dimensions with $H = SO(10)(\times U(1))$ for each combination of $(S/R, G, F)$. Coset spaces are indicated by the number assigned in Table 1. Numbers in a superscript of the representations denote its multiplicity.

14D model			4D model		
S/R	G	F	H	Scalars	Fermions
(1)	SO(20)	512	SO(10)	10	16
(2)	SO(20)	512	SO(10)	{ 10 } ²	{ 16 } ²
(4)	SO(20)	512	SO(10) × U(1)	10 (2), 10 (-2)	16 (-1), 16 (3), 16 (-5)
(5)	SO(20)	512	SO(10) × U(1)	10 (0), 10 (2), 10 (-2)	16 (1), 16 (-1)
(6)	SO(20)	512	SO(10) × U(1)	10 (0), 10 (1), 10 (-1)	16 (0), 16 (1), 16 (-1)
(8)	SO(20)	512	SO(10) × U(1)	10 (0), 10 (0), 10 (2), 10 (-2)	16 (1), 16 (1), 16 (-1), 16 (-1)
(10)	SO(18)	256	SO(10) × U(1)	10 (0)	16 (3), 16 (-3), $\overline{\mathbf{16}}$ (-3), $\overline{\mathbf{16}}$ (3)
(11)	SO(18)	256	SO(10) × U(1)	10 (0)	16 (2), 16 (-2), $\overline{\mathbf{16}}$ (-2), $\overline{\mathbf{16}}$ (2)
(11)	SO(19)	512	SO(10) × U(1)	10 (0), 10 (2), 10 (-2)	16 (1), 16 (-1), $\overline{\mathbf{16}}$ (1), $\overline{\mathbf{16}}$ (-1)
(15)	SO(14)	64	SO(10) × U(1)	(a): 10 (1), 10 (-1), 1 (2), 1 (-2) (b): 10 (3), 10 (-3)	(a): 16 (0), 16 (1), 16 (-1), $\overline{\mathbf{16}}$ (0), $\overline{\mathbf{16}}$ (-1), $\overline{\mathbf{16}}$ (1) (b): 16 (0), 16 (3), 16 (-3), $\overline{\mathbf{16}}$ (0), $\overline{\mathbf{16}}$ (-3), $\overline{\mathbf{16}}$ (3)

他にもSU(5)ゲージ理論や標準理論を導くような組み合わせを見つけました。

研究期間が一年と短く、出版まで至りませんでした。なんとかプレプリントを出すところまではこぎ

着けています。(“Model building by Coset space dimensional reduction scheme using ten-dimensional coset spaces” [Toshifumi Jittoh](#), [Masafumi Koike](#), [Takaaki Nomura](#), [Joe Sato](#), [Takashi Shimomura](#) arXiv:0803.0641[hep-ph])

2 暗黒物質生成量の計算

標準理論に現れる粒子に加え、右巻き型のニュートリノを導入した上で、余剰次元を持つように標準理論を拡張した模型において、宇宙の歴史の中でどれだけの暗黒物質が作られるかを計算しました。

この模型では、ニュートリノに質量を持たせるために、右巻きのニュートリノを通常のニュートリノと湯川型の相互作用を持たせ、これを期限としてディラック型の質量項が出てくるようになっています。この模型では、右巻き型ニュートリノの第一カルツァ・クラインモードが暗黒物質の候補となります。

この場合、通常の暗黒物質の候補に比べて右巻き型のニュートリノは相互作用が非常に弱いことにより宇宙初期で非熱的にも作られるため、暗黒物質の残存量の計算ではこのことの影響も取り入れる必要があります。宇宙初期で作られるため、粒子の質量への温度補正が非常に重要なものとなり、通常の計算手法で得られる結果とは様相の異なったものになります。

結果として、通常の計算で得られる暗黒物質の量よりも多めに暗黒物質が作られることとなります。この効果を考えると、暗黒物質の作るエネルギー密度は、(暗黒物質となる粒子の質量) * (現在の粒子数密度) で与えられるため、暗黒物質の質量が通常考えられているよりも軽いことが養成されます。つまり、右巻き型のニュートリノの第一カルツァ・クラインモードの質量が軽いことを要請し、これは剰余空間のコンパクト化スケールが通常よりも下がることを意味します。このスケールは他の粒子のカルツァ・クラインモードの質量とも強く関連するため、これがどこにあるかは、Large Hadron Collider (LHC) 実験での観測可能性に大きく影響するため、非常に重要な結果となっています。この結果は“Relic abundance of dark matter in universal extra dimension models with right-handed neutrinos”, Shigeki Matsumoto, Joe Sato, Masato Senami and Masato Yamanaka Phys. Rev. D76:043528-1-8, 2007 に発表されています。

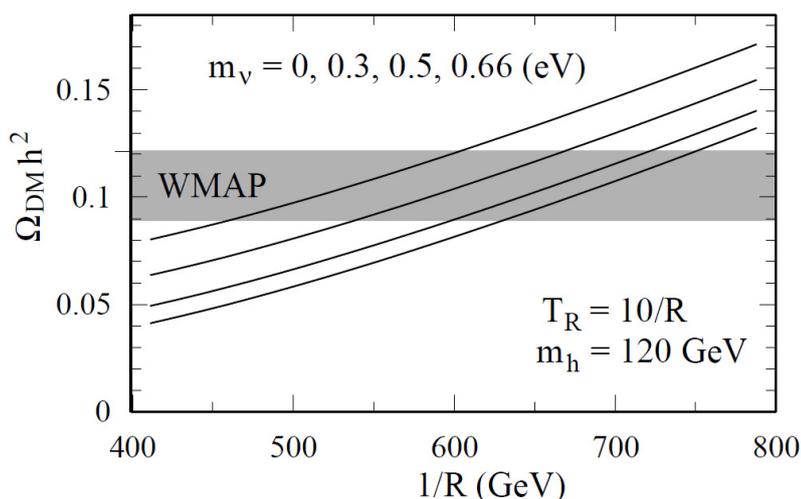


Figure 2: The dependence of the abundance on m_ν with fixed $T_R = 10/R$ and $m_h = 120$ GeV. The solid lines are the relic abundance for $m_\nu = 0, 0.3, 0.5, 0.66$ eV from bottom to top. The gray band represents the allowed region from the WMAP observation at the 2σ level