

素粒子理論研究室

1. 研究活動の概要

1) 低エネルギー長基線実験における非標準相互作用のある場合のパラメーター縮退 (安田)

これまでのニュートリノ振動に関する実験データは、標準的な三世代間混合の枠組みでほとんど説明されているが、必ずしも定量的に説明に成功しているとは言えないデータが若干存在している。太陽ニュートリノ実験とカムランド実験による質量二乗差の測定値が約 2σ 異なっている点はそのような現象の一つである。この質量二乗差の違いは、ニュートリノ伝播に影響を与えるフレーバー依存性のある非標準相互作用により説明ができることが知られている。非標準相互作用を仮定した場合の太陽ニュートリノの解析では、実質的に低エネルギーにおける二世代の問題に帰着させて行われる。このため、加速器ニュートリノによる長基線実験に対して従来行われる解析では3行3列の行列要素のパラメーター ($\epsilon_{\alpha\beta}$, $\alpha\beta = e, \mu, \tau$) が使われており、太陽ニュートリノの解析に現れるパラメーター (ϵ_D, ϵ_N) とは異なるため、直接の比較が難しくなっているだけでなく、余分な自由度に対する最適化が必要となっている。この研究では、加速器ニュートリノ実験のうちでも比較的低エネルギーの部類 ($E \lesssim 1\text{GeV}$) に属する T2HK と T2HKK を想定し、太陽ニュートリノの解析と同様の近似で、非標準相互作用の無次元パラメーターが小さいという仮定のもとに、ニュートリノ振動の確率を求めた。その結果、(ϵ_D, ϵ_N) の他に余分なパラメーター1個を増やすだけで、振動確率を表すことが出来ることがわかった。さらに、基線長の異なる T2HK と T2HKK の2つの実験を組み合わせることで、実験的誤差が十分小さい場合には、質量階層性 (Δm_{31}^2 の符号), θ_{23} の octant ($\pi/4 - \theta_{23}$ の符号), CP 位相 δ , 非標準相互作用のパラメーター3個を原理的に決定できることを、非標準相互作用のパラメーターが小さいという仮定のもとに、解析的に示した。T2HKK 実験は、低エネルギーで基線長が 1000km 以上の唯一の加速器ニュートリノ実験計画であり、非標準相互作用に関する解析の簡単化はその特長の一つとして挙げられる。

2) 吸収の効果を考慮した高エネルギーニュートリノにおけるステライルニュートリノ振動 (安田, ワン)

従来のニュートリノ振動ではニュートリノのフラックスが減少しないという仮定のもとに議論されている。一方、最近関心が持たれている高エネルギーニュートリノでは、ニュートリノ一核子の断面積が大きくなるため、吸収の効果が無視できなくなる。標準的な三世代間混合の場合には吸収の効果は三種類のフレーバーに普遍的に働くため、一様な減衰となることがわかる。しかし、ステライルニュートリノが存在する場合には、通常のニュートリノには吸収の効果が働く一方、ステライルニュートリノには働かないので、非自明な効果が期待される。特に質量二乗差が LSND 実験から示唆されている値かそれ以上の値の領域の場合には、高エネルギー領域 ($10\text{TeV} \lesssim E \lesssim 1\text{PeV}$) で質量による混合効果、ニュートリノ振動におけるいわゆる物質効果、吸収の効果がそれぞれ同程度に効いてくるため、実質質量二乗差・実質混合角が標準的なものとは異なる形を持つ。ステライルニュートリノが存在し、その振動パラメーターが一定の領域に存在する場合には、将来の IceCube のアップグレード等の超大型検出器で、これらの効果の観測が期待できる。

3) 弦模型におけるゲージの自発的破れ (北澤)

弦理論の 10 次元時空に D_p ブレーンという p 次元空間を占める物体を導入すると、その上の $p+1$ 次元時空にゲージ対称性が導入される。 D_p ブレーンが N 枚重なっているとゲージ対称性群は $U(N)$ になる。現実の世界で起きている電弱対称性の自発的破れのようなゲージ対称性の自発的破れは、この N 枚の D_p ブレーンが分離することによって起こる。例えば、それが N_1 個のまとまりと N_2 個のまとまりに分離すると ($N_1 + N_2 = N$)、ゲージ対称性は $U(N_1) \times U(N_2)$ に破れる。分離した2組の D_p ブレーンの

距離をどうやって一定に保つかということが問題になる。なぜなら、その距離がゲージ対称性の自発的破れのエネルギースケールに対応し、現実の世界では弱い相互作用の力の強さを決めることになるからである。D p ブレーンが相対的に静止しているときには力は働かないが、相対運動をしている場合には超対称性が破れて力が働く。もしその力が十分に強くて遠心力とバランスするならば、2つの D p ブレーンは連星系のように距離を一定に保ちつつ公転運動する可能性がある。これは2組の D p ブレーンの距離を一定に保つ機構であるかもしれない。そこで、特に3次元空間を占める D3 ブレーンの場合について具体的に力のポテンシャルを計算した。その結果、力は引力であることがわかったが、その大きさは2つの D3 ブレーンに公転運動をさせるほどは強くないことがわかった。しかし、これはそれぞれ1枚の D3 ブレーンが離れて存在する場合についてで、複数枚の重なった D3 ブレーンの場合には、公転運動が可能である可能性が残されている。

この研究は高エネルギー加速研究機構の磯暁氏、須山孝夫氏および太田光氏との共同研究である。

4) 公転するブレーン上におけるローレンツ対称性の破れ (北澤)

互いに公転する連星系のような束縛状態が実現した場合、D p ブレーン上ではローレンツ対称性が破れることになる。特に、ゲージ対称性の自発的破れと関わるヒッグス粒子に現れるローレンツ対称性の破れについて、束縛状態を作っている力の性質によらない予言を行なった。現在の実験から、公転の角速度はおよそ 0.1GeV 以下 (自然単位系) でなければならないことがわかった。

この研究は高エネルギー加速研究機構の磯暁氏との共同研究である。

5) 宇宙背景輻射の大きなスケールのゆらぎの偏極 (北澤)

宇宙背景輻射のゆらぎの偏極、特に大きなスケール (小さな波数) のゆらぎの B-mode と呼ばれる偏極 (大スケール B-mode 偏極) について研究した。大スケールの温度ゆらぎには異常があり、それがインフレーションの始まりを見ているためであると解釈できることが知られている。また、大スケール B-mode 偏極は宇宙のインフレーションによって生成された原始テンソルゆらぎのみを起源とすることが知られている。大スケール B-mode 偏極を簡潔に計算する方法を提案し、それを用いて、将来の LiteBIRD などの観測装置による大スケール B-mode 偏極の精密測定によって、我々がインフレーションの始まりを見ているという解釈のさらなる傍証を得ることができる可能性があることを示した。また、そのためには宇宙の再イオン化の過程の精密な理解が必要であることを、具体的に再イオン化の過程について可能性のある変更を行った試算をいくつか行うことによって指摘した。

この研究は、ピサ高等師範学校の A.Sagnotti 氏、および PLANCK collaboration に属する A.Grappuso 氏と P.Natoli 氏の協力を得て行った。(昨年度からの継続研究)

2. 研究業績

1) 論文

Satshi Iso and Noriaki Kitazawa, A Possibility of Lorentz Violation in the Higgs Sector, *Modern Physics Letters A* **35** (2020) 2050064.

Satoshi Iso, Noriaki Kitazawa, Hikaru Ohta and Takao Suyama, Dynamics of Revolving D-Branes at Short Distances, *JHEP* **2001** (2020) 182.

Noriaki Kitazawa, On CMB B-modes and the Onset of Inflation, *JCAP* **1908** (2019) 005.

2) 国際会議報告

Osamu Yasuda, Systematics in T2HK, T2HKK and DUNE *PoS NOW2018* (2019) 034.

3) 学会講演

- 日本物理学会 2019 年秋季大会 2019 年 9 月 17 日 – 20 日 (山形大学)

磯暁, 北澤敬章, 太田光, 須山孝夫 : Effective potential for revolving D-branes in superstring theory

- 日本物理学会 第 74 回年次大会 2020 年 3 月 16 日 – 19 日 (名古屋大)

安田修 : ニュートリノ振動研究の現状と展望 (招待講演)

国際会議

- A topical conference on elementary particle physics and cosmology (Miami2019), 12–18 December 2019, Fort Lauderdale, Florida, USA

O. Yasuda: Phenomenology of the nonstandard interactions of neutrinos with the solar neutrino parametrization

- Rencontres du Vietnam 2019: 3 Neutrinos and Beyond, 4–10 Aug 2019, ICISE, Quy Nhon, Vietnam

O. Yasuda: Practical tests on the PMNS paradigm (invited talk)

4) 著書

安田修 (共著), 高原文郎・家正則・小玉英雄・高橋忠幸 編 : 宇宙物理学ハンドブック, 付録 D.3
朝倉書店, 2020 年 02 月 01 日, ISBN978-4-254-13127-7