

電子の捕獲過程を加速する方法

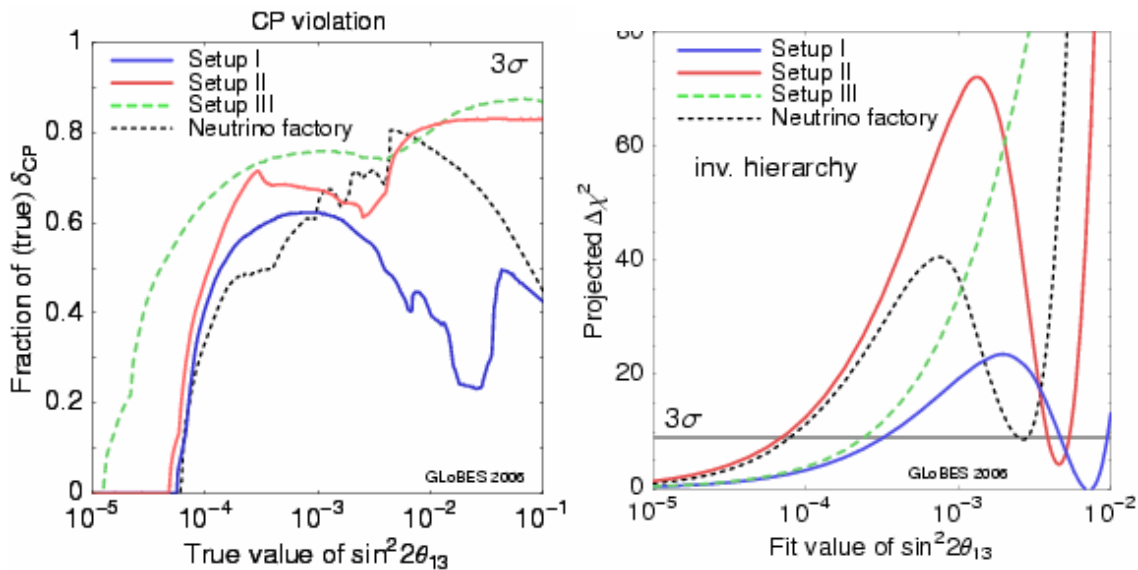
A method to accelerate a capture process

プロジェクト代表者: 佐藤 丈 (理工学研究科・准教授)

英語表記 Joe Sato

1 電子捕獲によるニュートリノビームを用いた振動実験の可能性について

ニュートリノ振動実験においてエネルギーが精度よく決まったビームを作るための方法として、電子捕獲によるニュートリノを使うというアイデアを以前提案しました (Physical Review Letters. 95, 131804, 2005)。このアイデアが、他の実験と比べてどの程度優位なのかを調べるために、CPの破れへの感度と今のところは駆られていない混合角 θ_{13} への感度を Globes というソフトウェアを使って解析しました。その結果は、まあ他の計画とよい勝負になるかな、というものでした。現在投稿中 ("Neutrino Beams From Electron Capture at High Gamma", Mark Rolinec and Joe Sato, hep-ph/0612148) ですが、そのグラフの一部をここに載せます。



左がCPの破れへの感度を表し、右が混合角への感度を表しています。Neutrino Factory というのが現在考えられている中では最も感度が高いとされている計画で、それに対して Setup I/II/III というのが新しいタイプの実験で考えた設定です。研究会や国際会議では既に何度も発表済みです。

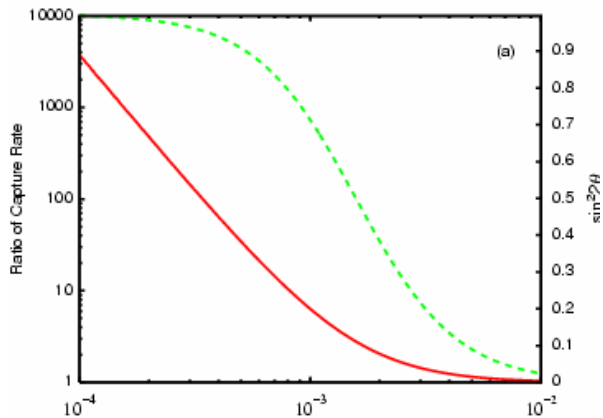
2 原子核による電子の捕獲過程を加速する方法についての研究

"Laser Irradiated Enhancement of Atomic Electron Capture Rate For New Physics Search",

Takaaki Nomura, Joe Sato, and Takashi Shimomura

Progress of Theoretical Physics 17:401-414, 2007

この上記のタイプの実験では、一般に原子核による電子の捕角率が低いので、ここにあげたグラフにあるような感度に到達するために統計量を上げようとする、現状ではほぼ不可能と思われる量の特異な原子核を集める必要があります。そこで、この弱点を補うため、電子の捕角率をあげる方法を考案しました。具体的には、これを大幅にあげるため、親の原子核にレーザーを当てるというアイデアを考え、このアイデアが妥当かどうかについて計算を行いました。基本的なアイデアは媒質中での屈折現象で、この研究では媒質として「光子」（つまりレーザー）を考え、屈折を起こすのは電子となっています。媒質中では粒子の分散関係が変わるため、電子が原子核近くの軌道を取ることで、それによって電子の波動関数と原子核の波動関数の重なりが大きくなり捕角率が上がるというのがその描像です。実際我々は、充分強度のあるレーザーであれば桁捕角率を上げる可能性があるという結果を得ました。こちらも、既に何回も発表を行っています。



図の横軸はレーザーに使う光子のエネルギー（単位eV）で強度が 10^{10} W/mm^2 の時の捕角率の増幅です。

3 Universal Extra Dimension模型におけるニュートリノと暗黒物質

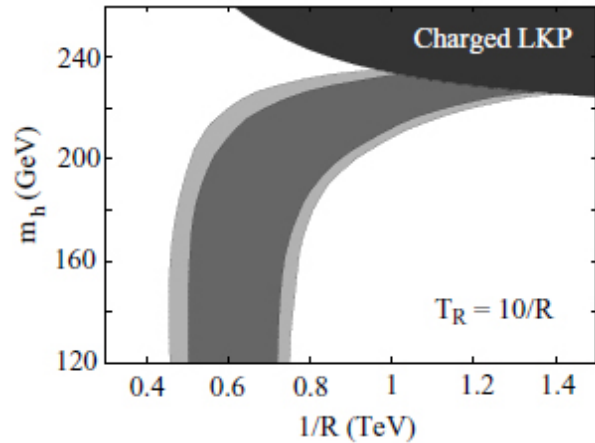
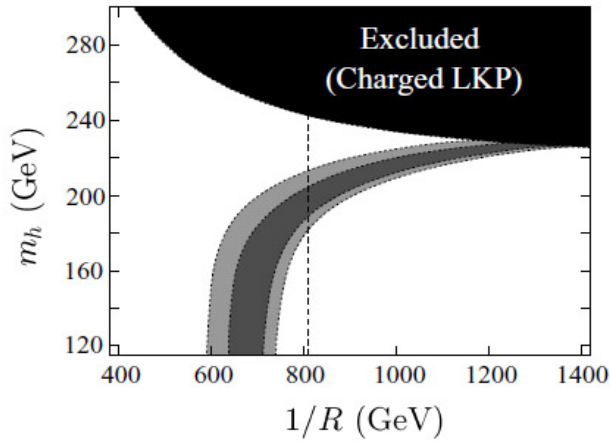
“Solving cosmological problem in universal extra dimension models by introducing Dirac neutrino”,

Shigeki Matsumoto ,Joe Sato, Masato Senami and Masato Yamanaka

Physics Letters B647:466-471, 2007

標準理論を超える模型としては、超対称性を入れた標準理論が最も有力だと考えられていますが、これの対抗馬として近年盛んに研究されるようになったUniversal Extra Dimension模型においてニュートリノ振動を説明するためにDirac型の質量を入れた模型を考察しました。標準的なUniversal Extra Dimensionの模型では重力子のKaluza-Kleinモードか光子のそれが暗黒物質の候補となりますが、この種の模型では右巻き型ニュートリノのKaluza-Kleinモードも暗黒物質の候補となり得ます。そこで、どの粒子が暗黒物質となるのか、また、右巻きニュートリノを入れないときに問題となった、重力子のKaluza-Kleinモードが宇宙の歴史の後の法に崩壊することによって現在の観測とは矛盾する背景放射を预言してしまうという問題を回避できるのか、について詳細に調べました。調べた結果、右巻きニュートリノのKaluza-Kleinモードが暗黒物質となり、また重力子に伴う問題も解決されることを確かめました。この結果についても既に何回も国際会議で発表を行っています。

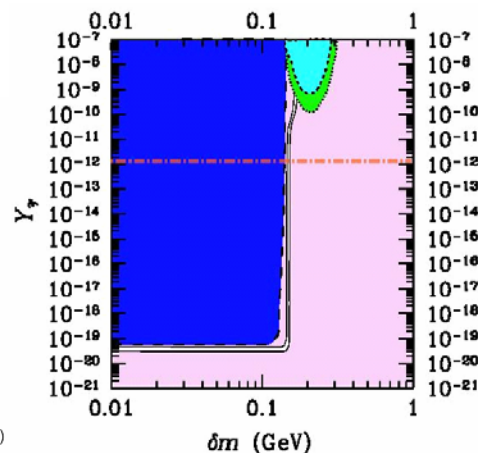
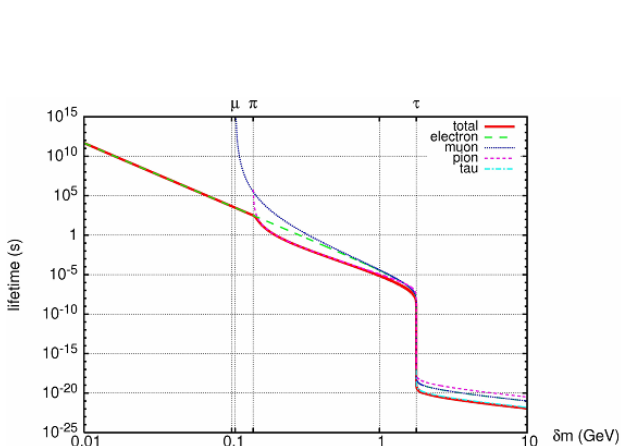
さらに、右巻き型のニュートリノは相互作用が弱いことにより宇宙初期で非熱的に作られるため、暗黒物質の残存量の計算ではこのことの影響も取り入れる必要があることに気が付きました。その影響を取り入れた結果、模型の許されるパラメタ空間が優位に変更を受けることを示しました。この変更は近い将来行われるLarge Hadron Collider (LHC) 実験ではその観測可能性に大きく影響するため、非常に重要な結果となっています。



図において、 $1/R$ というのは新しい粒子の質量に対応していますが、左の図が以前の結果 (Kakizaki *et al* の論文より) で、右の図 (“Relic abundance of dark matter in universal extra dimension models with right-handed neutrinos”, Shigeki Matsumoto, Joe Sato, Masato Senami, and Masato Yamanaka. e-Print: arXiv:0705.0934 より) が新しい結果となっています。このわずかな差が非常に重要な帰結をもたらすと考えられています。

4 宇宙初期の元素合成における 7Li 問題の解決

超対称性を持つように拡張した標準理論においてある特殊なパラメタ領域では、元素合成における 7Li という問題が解決されることを示しました。このようなモデルでニュートラリーノが暗黒物質である場合、coannihilationといわれる現象が起こると現在の暗黒物質の量がよく説明できることが知られています。その結果として、電荷を持った stau とニュートラリーノは質量において非常によく縮退します。この縮退の極限を考えると、stau が超長寿命な粒子となり元素合成が起こる時機まで有意に残ります。この残った stau はこの時機に周りの元素と束縛状態を組むことにより余分な元素を壊すことが分かります。このことによって現在の枠組みでは観測量より多く作られてしまうと考えられている 7Li が適度に壊されることになり、観測と合うようになります。



左の図は以前の論文 (Jittoh *et al*) から持ってきたもので、右の図は

左の図 (“Possible solution to the 7Li problem by the long lived stau”, Toshifumi Jittoh, Kazunori Kohri

, Masafumi Koike, Joe Sato, Takashi Shimomura, Masato Yamanaka. e-Print: arXiv:0704.2914より) が τ の寿命で横軸はニュートラリーノとの質量差を表します。これを見ると元素合成が起こる時機 (大体 10 秒から 100 秒) まで τ が残る可能性があることが分かります。右の図が、このことの影響を考慮して ${}^7\text{Li}$ を解決しているかどうかを見た図です。縦軸は、元素合成の時機に残っている τ の量をその時機のエントロピーで規格化したものです。白く抜けている非常に狭い領域が問題を解決している領域です。

ここでの計算は少し近似が粗いので狭い領域に見えますが、今後この近似を改善していくつもりです。この研究についても各所で話をしています。