

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540273

研究課題名(和文)原子核ニュートリノ反応の精密理論解析

研究課題名(英文)Precise description of neutrino-nucleus reaction

研究代表者

佐藤 透 (Sato, Toru)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10135650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、まず重力崩壊型超新星の爆発過程における軽元素ニュートリノ反応の役割を調べた。爆発過程の環境での、2核子散乱における重陽子レプトン生成及び重陽子の電子捕獲反応によるニュートリノ生成率の解析を行い、重陽子をふくむ反応が衝撃波の発展に重要な寄与をする可能性を示した。一方GeV領域ニュートリノ反応の研究では、ニュートリノエネルギー分布を再構成する新たな方法を提案した。従来、ニュートリノ混合パラメタの抽出には、ニュートリノ原子核反応の準弾性散乱過程を用いてきた。ここでは、最大エントロピー法を用い反応過程を特定しないミュー粒子包含断面積からニュートリノフラックスの再構成が可能な事を示した。

研究成果の概要(英文)：In the first project, we have investigated the neutrino reaction on the light nuclei. Under the environment of supernova explosion, we have studied the weak two nucleon fusion to the deuteron and the electron/positron capture on deuteron. We found appreciable contribution of those processes on the neutrino emissivity. We have suggested to include those neutrino reactions of light nuclei in the simulation of supernova explosion. In the second project we have proposed a new method to extract neutrino energy distribution from the data of neutrino-nucleus reaction. We have shown the neutrino flux can be extracted from the double differential cross section of muon in the inclusive neutrino-nucleus reaction by using the maximum entropy method. The advantage of this approach is that we need not separate each reaction mechanisms, while in the conventional approach one has to go through the model dependent procedure to identify the ideal quasi-free events.

研究分野：原子核理論

キーワード：ニュートリノ 超新星 中間子生成 核子共鳴

1. 研究開始当初の背景

原子核における電弱反応の理論解析の精密化は物理の進展の局面で鍵となる役割を果たしてきた。たとえばニュートリノ振動および太陽ニュートリノの問題では、低エネルギーにおけるニュートリノ重陽子反応に対する高精度の理論成果が Sudbury Neutrino Observatory(SNO)における重水を用いた太陽ニュートリノ観測の解析に貢献し、ニュートリノ振動が明解に示された。

(1)重力崩壊型超新星の爆発過程において、ニュートリノと物質の反応は中心的な役割を果たしている。ニュートリノ放出過程は冷却機構として、また生成されたニュートリノの一部は衝撃波背後の物質へ吸収され加熱機構として働く。これらは超新星爆発過程解析の鍵となる過程であり長らく研究が行われてきたがいまだ完全には理解されていない。最近いくつかのグループにより軽い原子核が時には陽子と同程度存在することが示唆され、軽い原子核におけるニュートリノ反応が果たす役割を解明することが緊急の課題となっている。

(2)一方、ニュートリノの混合パラメタ、混合角 θ_{13} や CP 破れの精密測定では、GeV 領域のニュートリノ原子核反応の精密な理論的解析を通してニュートリノフラックスを抽出することが不可欠である。この際、観測量は連続エネルギー分布しているニュートリノフラックスで平均化された断面積である。通常これは観測された断面積から中間子生成過程、終状態相互作用などの寄与を分離し、'準弾性散乱'における自由粒子の運動学を用いて行われる。この準弾性散乱過程分離の方法には反応模型依存性が大きいという問題点がある。反応模型依存性を最小限にとどめたニュートリノフラックス抽出方法の開発は非常に重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では軽い原子核のニュートリノ反応に対する理論解析の精密化を行い、超新星爆発およびニュートリノ混合の物理に関する以下の成果を得ることを目的とする。

(1)超新星の爆発過程において少数核子系におけるニュートリノ反応による新たな加熱、冷却機構を提案し、その重要性を解明する。

(2)GeV エネルギー領域のニュートリノ原子核反応において、原子核模型依存性を最小限にとどめるニュートリノフラックス抽出方法を開発する。また反応理論の精密化、ニュートリノによる中間子生成過程の解析も行いニュートリノ混合パラメタの解析に寄与する。

3. 研究の方法

(1)超新星の爆発過程における少数核子系におけるニュートリノ反応：

2 核子散乱における重陽子レプトン生成過程および重陽子による電子陽電子捕獲過程によるニュートリノ生成率の解析をおこない、超新星における重陽子を含む新たな2核子過程のニュートリノ生成過程を提唱しその重要性を調べる。

(A)これまでの研究成果に基づき 1 核子流、交換電流をふくむ核行列要素解析コードを開発する。(B)超新星爆発のシミュレーションにより得られる温度、ケミカルポテンシャルの情報を用いてニュートリノ生成率を求める。(C)荷電電流及び中性電流による反応率に着目し、電子陽電子消滅過程によるニュートリノ生成率などと比較し、ニュートリノスペクトルに対する新たに考慮した過程の効果を明かにする。

(2)GeV 領域ニュートリノ原子核反応：

ここでは平均化されたニュートリノ反応断面積をニュートリノフラックスのエネルギー依存断面積を積分核とした積分変換としてとらえ、ニュートリノフラックスを抽出する方法を開発する。この逆問題の解法を開発することにより、ニュートリノ原子核反応における重要な過程やエネルギー領域を明確に特定し、さらに原子核反応模型を、電子散乱データを用いて校正しながら精密化する研究の展望を開く。

(A)これまでの我々の研究で開発したパイ中間子生成を含むモデルを出発点としてニュートリノ ^{12}C 反応断面積を準備する。(B)逆問題の解法開発のためにニュートリノ反応実験の現実的な擬似データを生成する。(C)最大エントロピー法を用いたニュートリノフラックスの抽出可能性を解析する。その際ミュー粒子 Inclusive 断面積の他に陽子同時測定断面積などをとり入れ、情報量を増加することにより精度を向上する工夫を試みる。

4. 研究成果

(1)超新星の爆発過程における少数核子系におけるニュートリノ反応：

重陽子の電子捕獲によるニュートリノ放出、2 核子散乱におけるニュートリノ放出にともなう重陽子生成過程の解析を行った。超新星爆発シミュレーションの研究者から、温度、核子、電子など各粒子の密度の情報の提供を受け、開発した重陽子反応解析をもちいてニュートリノ放出率を調べた。その結果、新たに考察した重陽子をふくむ反応過程が、衝撃波の発展に重要な寄与をする可能性があることが示された。さらに新しい反応機構の影響を調べるため、超新星爆発シミュレーションの研究者に成果を提供した。その結果、重陽子の存在により衝撃波の到達が大きく成

長する場合があります。また、物質中における重陽子の性質とニュートリノ反応の研究を進めた。温度グリーン関数の方法を用い、T 行列近似による定式化を行った。解析の結果、原子核物質密度の1割程度の領域では、2核子は束縛せず、ニュートリノ放出率が減少すること、さらに、これらの領域では重陽子が短寿命となることを示した。

(2)GeV 領域ニュートリノ原子核反応:

代表者らが開発してきた準弾性散乱過程及びデルタ共鳴領域におけるパイ中間子発生をともなうニュートリノ反応のモデルを用い、ニュートリノフラックス抽出方法を開発した。最大エントロピー法による逆問題の解法がニュートリノフラックスの解析においては機能することが示され、その有用性が示された。さらに共鳴領域におけるニュートリノ核子反応では、光子、パイ中間子をプローブとした核子における中間子生成反応の解析が進んだことから、これをニュートリノ反応の研究に応用した。PCAC を用いた前方のニュートリノ反応の研究をすすめた結果、これまでニュートリノによる中間子生成反応についてはほとんど理論的研究がなかった、デルタ共鳴以上の高いエネルギー領域における前方のニュートリノ散乱における、パイ中間子のみならずさまざまな中間子生成反応率に関する信頼できるデータを提供できるようになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

(査読付き学術雑誌 7 件、国際会議報告 6 件)

1. Neutrino Emissivities from Deuteron-Breakup and Formation in Supernovae
S. Nasu, S. Nakamura, T. Sato, K. Sumiyoshi, F. Myhrer, K. Kubodera
Astrophys. J. 801 No2 (2015) 78 1-12 DOI 10.1088/0004-637X/801/2/78
2. Neutrino Reactions with deuteron in core-collapse supernova
S. Nasu, T. Sato, S. X. Nakamura, K. Sumiyoshi, F. Myhrer, and K. Kubodera
Few-Body Syst. 54 No 7-10 (2013)1595-1598 (査読付き) DOI 10.1007/s00601-013-0648-7
3. Nucleon resonances within a dynamical coupled-channels model of pi N and gamma N reactions
H. Kamano, S. Nakamura, T. -S. H. Lee, and T. Sato

Phys. Rev. C88 No 3 (2013) 035209 (査読付き) DOI 10.1103/PhysRevC.88.035209

4. Neutrino-induced-forward meson-production reactions in nucleon resonance region
S. X. Nakamura, H. Kamano, T.-S. H. Lee, and T. Sato
Phys. Rev. D86 No 9 (2012) 097503(査読付き) DOI 10.1103/PhysRevD.86.097503

[学会発表](計 21 件)

1. Extraction of Neutrino Flux from the Inclusive Muon Cross Section
T. Murata, T. Sato
16th International Workshop on Neutrino Factories and Future Neutrino Beam Facilities (NUFACT2014)
2014年08月27日 Glasgow, UK
 2. Nucleon resonances from the dynamical coupled channel approach of meson production reactions
T. Sato
The 9th international workshop on the physics of excited nucleons
2013年05月27日 Peniscola Spain(招待講演,基調講演)
 3. Nucleon Resonance from Coupled Channel Approach for Meson Production Reactions
T. Sato
Nucleon Resonance Structure in Exclusive Electroproduction at High Photon Virtualities(招待講演)
2012年08月14日 Columbia, SC, USA
 4. Neutrino nucleus reaction in a few nucleon system
T. Sato
Neutrinos and Dark Matter in Nuclear Physics(招待講演)
2012年06月13日 Nara, Japan
- [図書](計 0 件)
- [産業財産権]
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)
- [その他]
ホームページ等 <http://nuint.kek.jp>
6. 研究組織
(1)研究代表者
佐藤 透 (SATO Toru)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 10135650

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

鎌野 寛之 (KAMANO Hiroyuki)

大阪大学・核物理研究センター・特任助教

研究者番号： 00625361

住吉 光介 (SUMIYOSHI Kohsuke)

沼津工業高等専門学校・教養科・教授

研究者番号： 30280720

(4)研究協力者

中村 聡 (NAKAMURA Satoshi)

村田 知也 (MURATA Tomoya)

那須 翔太 (NASU Shota)