会場 A

素粒子論, 理論核物理, 実験核物理領域

A-1 Leptogenesis における粒子の運動量依存性を考慮したボルツマン方程式の評価

佐賀大学大学院／工学系研究科／物理科学専 [A] 岡口広樹[A]

ニュートリノの質量を説明するシーソー機構によりに導入される重いマヨラナニュート リノの崩壊が宇宙膨張の中で熱平衡から逸脱するとレプトン数が生成される。レプトン数 は高温では、スファレロン過程によりバリオン数に変換される。これは Leptogenesis と呼ばれ標準理論のニュートリノ質量問題の解決とバリオン数生成を同時に行う事が出来る点 で魅力的なシナリオである。これまで Leptogenesis のシナリオではレプトン数は重いニュートリノ分布関数が平衡 分布に比例するとした仮定を使って計算されてきた。しかし Leptognesis は非平衡過程で起こり、従来の仮定には何の正当性も存在しない。この点に注目し本研究では分布関数を ボルツマン方程式から求め、生成されるレプトン数を計算した。今回は最終的に生成されるレプトン数に従来の仮定をする場合としない場合とでどの程 度の違いが現れるのかを調べていく。

A-2 Pion を含む Nuclear EFT における power counting について

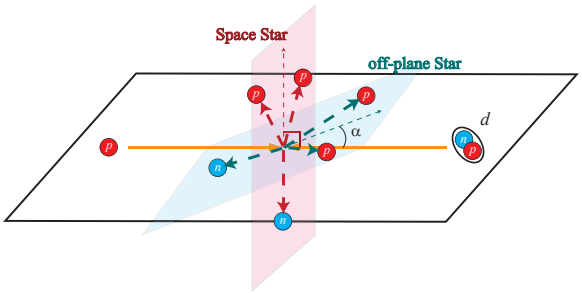
佐賀大 SL センター [A], 九大理 [B], 東北公益文科大 [C] 久保博史[A], 原田恒司 [B], 山本裕樹 [C]

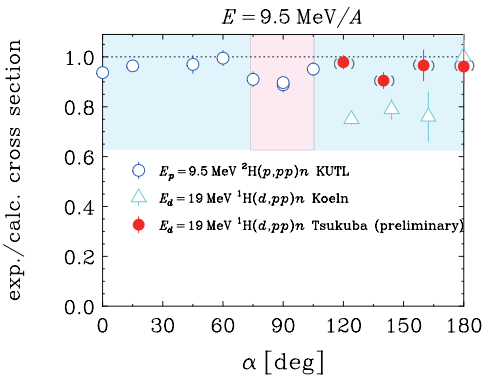
核子の相互作用をモデルに依存せずに記述する方法に有効場理論によるアプローチがある。この方法において重要な事は、理論に含まれる無限個の演算子、それに伴う結合定数をそれらの重要度に応じて順序付けを行うパワーカウンティングの選び方である。有効場理論のパワーカウンティングは、Wilson 流くり込み群の flow の構造を調べる事により、摂動論の適用可能性とは無関係に系統的に決定する事ができる。この方法により核子のみを力学的自由度として取り扱う"Pionless NEFT" の場合の解析はすでに行われている。今回の講演では "Pionful NEFT" においてパイ中間子の効果を One-Pion-Exchange(OPE) として取り入れて行った解析結果について説明する。

A-3 3 核子分解反応における Star-Anomaly の実験的検証

九大院理 [A] 石橋和久[A], 相良建至 [A], 黒板翔 [A], 矢部達也 [A], 田村隆志 [A]

低エネルギーにおける Space Star という特別な運動学的条件において nd, pd 分解反応の微分断面積の不一致がある。Space Star とは、重心系において Nd 分解反応後の 3 核子がビーム軸に垂直な正三角形をなすという運動学的条件である。また、この正三角形とビーム軸のなす角度 α を右図のように定義する。Space Star では α が 90°である。九大グループは、$pd-$Star 断面積の系統的測定を行い、断面積異常のα 依存性を調べている。既に E=13MeV/A では 0°≤ α≤180°の測定を終え、α=90°付近のみ異常 (Space Star anomaly) があることを見つけた。また、E = 9.5MeV/A では 120°≤ α≤180°での実験を最近行い、まだデータ解析の途中だが $E = 13MeV/A$ と同様に異常はα=90°付近に集中しているらしいとわかった。これは、Köln 大学のデータと全く異なる。我々の実験を報告し、Star 異常について議論する。

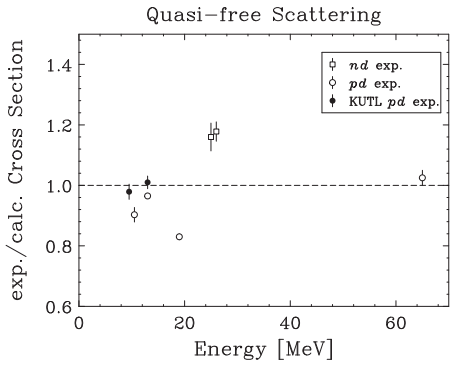




A-4 D(p,pp)n 反応における QFS anomaly の検証

九大院理 [A]　田村隆志[A], 相良建至 [A], 黒板翔 [A], 矢部達也 [A], 石橋和久 [A]

N d分解反応において、入射粒子が標的核中の一方の核子とだけ反応を起こし、他方の核子は傍観者として静止続ける運動学条件を、準弾性散乱（QFS）条件と呼ぶ。10MeV 付近の 3 核子分解反応断面積には Star 異常の他に、QFS 異常も報告されているが、QFS 異常は未だ確立されていない。昨年度まで我々のグループの研究によって得られた Ep=9.5、13MeV の QFS 条件での微分断面積測定値は、pd 理論計算値によりおおむね再現されることが分かった。過去に最も大きい QFS 異常が報告されている Ep=19MeV で、我々は最近、QFS 断面積の確認測定を行った。その実験結果を報告する。図は、QFS 条件におけるエネルギー依存性を示す。黒丸は昨年度まで我々のグループが行ってきた pd 実験値、他は他大学による pd、nd 実験値を示す。



A-5 170MeV における 2H(pol-p,n) 分解反応測定を用いた三体力効果の考察

宮崎大学 [A], 理化学研究所 [B], 九州大学 [C], 東京大学 [D], 東京大学原子核科学研究センター [E], 京都大学 [F], 大阪大学核物理研究センター [G]　齊藤透[A], 前田幸重 [A], 宮迫洋行 [A], 坂口聡志 [B], 陳瑞九 [B], 若狭智嗣 [C], 矢向謙太郎 [D], 上坂友洋 [E], 大田晋輔 [E], 時枝紘史 [E], 川瀬頌一郎 [E], 菊地陽介 [E], 川畑貴裕 [F], 民井淳 [G], 坂口治隆 [G], 鈴木智和 [G], 嶋達志 [G]

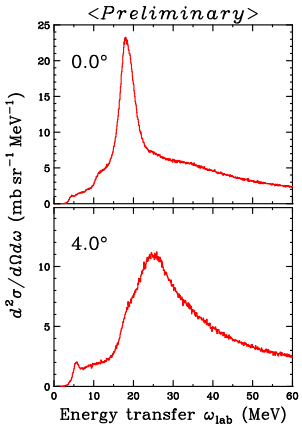
中間エネルギー領域において、核力の三体力の効果を研究するために、核子ー重陽子散乱実験が多く行われている。最近、E=248MeV における pd 弾性散乱や、D$(p,p)pn$ 分解反応測定において、微分散乱断面積・A_y共に、実験値と2π交換型 3 体力効果を含むFaddeev理論計算との間に不一致が見られている。この不一致の原因としては、理論計算に相対論的効果が含まれていない事などが考えられている。今回我々は大阪大学核物理センターNTOFコースで、入射エネルギー 170MeV での^{2}H$(\vec{p},n)pp$分解反応測定を$\theta=0^\circ$〜15°の範囲で行った。測定された出射中性子エネルギーは 90MeV〜170MeV で、微分散乱断面積の統計誤差 0.2 %程度であった。今回のエネルギーにおいても実験値と理論値とで最大 60 %の不一致が確かめられた。本講演では、微分散乱断面積と A_y の結果を報告し、理論計算との比較結果についても議論する。

A-6 ^{208}Pb$(\vec{p},\vec{n})$ 反応の全偏極移行量測定による ^{208}Bi のスピン双極子状態の研究

九大院理 [A], 宮崎大工 [B], 東大院理 [C], 阪大 RCNP [D]　岡本緑[A], 若狭智嗣 [A], 野呂哲夫 [A], 堂園昌伯 [A], 黒板翔 [A], 矢部達也 [A], 前田幸重 [B], 齋藤透 [B], 宮迫洋行 [B], 矢向謙太郎 [C], 畑中吉治 [D]

近年、原子核構造におけるテンソル力の効果が精力的に研究されており、不安定核の殻構造の変化などの説明に成功している。テンソル力は、巨大共鳴など量子多体系のダイナミクスにも影響を及ぼすと示唆されている。このようなテンソル力によって敏感に影響を受けるものに、スピン・アイソスピン励起状態である、スピン双極子共鳴のスピン依存性が挙げられるが、現在実験データがない。そのため我々は, テンソル力の影響を見るために、世界ではじめて ^{208}Pb$(\vec{p},\vec{n})^{208}$Bi 反応の全偏極移行量測定を行った。

本実験での断面積の結果を右図に示す。0 度ではガモフ・テラーが顕著であり、4 度ではスピン双極子が顕著であることより、断面積の角度分布からスピン双極子が分離できる。講演では、全偏極移行量のデータを用いてスピン双極子共鳴のスピン依存性を示し、テンソル力の影響について議論する。



A-7 九州大学 AMS システムの現状

九大院理 [A], 九大理 [B]　桑田薫法[A], 池谷康祐 [A], 衛藤晴彦 [A], 田中惇平 [A], 山足麻耶 [B], 森川恒安 [A], 野呂哲夫 [A], 前田豊和 [A]

AMS(Accelerator Mass Spectrometry；加速器質量分析) とは、加速器を利用した超高感度の微量元素分析法である。試料中の放射性同位体である ^{14}C の濃度を調べることで試料の年代を知ることができ、考古学をはじめとする様々な分野で利用されている。九大 AMS グループはタンデム加速器を用いて、まず ^{14}C の AMS を実用化し、さらに重い元素での AMS の実現を目指している。

通常の ^{14}C 年代測定では崩壊曲線を用いることにより試料の年代を決定する。九大 AMS グループでは、1950〜60 年代に行われた大気中核実験によって生じた大気中の ^{14}C 濃度の急激な変化（Bomb-Effect）を利用することにより、現代試料を１〜２年精度で測定する為に１％の精度での測定を行っている。

この精度１％の測定の為、我々のグループで開発した AMS 専用イオン源をはじめ、ビームトランスポートに関連した装置やパラメータの検討・改良を行っている。最近では、① 高速逐次入射法の導入により、ビーム強度の時間変動やビーム切替え時におけるターミナル電圧変動を従来の半分に抑えた。②LabVIEW を用いたパラメータのモニタリングシステムを開発した。これらの開発を行い、植物標本を測定した結果、福岡近郊の植物の ^{14}C 濃度の年次変化が世界標準の較正曲線と誤差１％で一致していることを確認することができた。さらに、地球惑星学分野のグループと共同で、古気候解明のためのミズゴケ泥炭層の年代測定を開始した。

本研究では、九大 AMS システムや、現代種子を用いた年代測定を紹介し、今後の課題や展望を述べる。

A-8 重イオン加速器質量分析に向けたマルチアノード・イオンチェンバの開発

九大院理 [A] 衞藤晴彦[A], 牧野広樹 [A], 池谷康佑 [A], 桑田薫法 [A], 田中惇平 [A], 山足麻耶 [A], 森川恒安 [A], 野呂哲夫 [A], 前田豊和 [A]

九州大学 AMS グループでは、現在測定を行っている ^{14}C より重い^{36}Cl 等の核種の AMS を目指し、新たなイオン検出器としてマルチアノード・イオンチェンバの開発を進めている。現在九州大学 AMS で使用している位置感応型 Si 半導体検出器 (PSD) は、入射イオンが重くなるほど (a) 放射線損傷による劣化、(b) 飛程が短いために電荷キャリアが高密度で生成され、再結合が起こり易く分解能が低下してしまうといった問題があり重イオンの検出に適していない。これに対して、イオンチェンバのようなガス検出器では入射イオンがガスを電離することで発生する電荷を信号として取り出すため放射線損傷が問題とならず、またガスの種類や圧力を調整して飛程を変えることが出来るので、キャリアの再結合による分解能低下を抑えることが出来る。

ガス検出器での粒子識別には、電極を二分割し、エネルギー損失 ΔE と全エネルギー E を同時測定する方法が AMS ではよく用いられる。本検出器では、アノード電極をイオンビームの進行方向に対して 16 個のセクションに分けることによって、ブラッグ曲線を測定し、より高い精度で入射イオンの核種を同定できるようにした。また、信号読み出しのために、専用の 16ch 電荷感応型増幅器を設計、製作した。

九州大学タンデム加速器を用い、Al フォイルターゲットで散乱させた ^{12}C イオンを入射し、ブラッグ曲線の測定を行った。また、封入ガス (PR ガスと He) の混合比を変えて飛程を調整する試みも行った。加えて現在はビーム入射位置検出機構の開発も進めている。発表では、以上の開発の詳細と今後の課題について述べる。

A-9 N=40 近傍における関数表現による有効相互作用の開発

福岡大理 [A] 武田将征[A], 江口正人 [A], 田崎茂 [A]

私たちは Zn や Ge などの N=40 近傍の原子核の殻模型計算に使用できる有効相互作用の開発を目指している．Zn や Ge では様々な特徴的な現象が見られるが, その中でも私たちは low-lying 0^+ excited states に興味を持っている．近年の計算機の能力の向上や新しい shell model code の開発が進み, この領域の原子核の研究も行われている．昨年には本間氏等が JUN45 という f_5pg_9 領域における優れた有効相互作用を開発を行っている．着目する現象によっては模型空間を広げる必要性があると考えられが，JUN45 はこのような場合に用いることができない.

そこで私たちはこのような場合にも適用できるよう, 有効相互作用を関数で表現すればよいと考えた．このような有効相互作用には長谷川, 金子, 水崎氏等による Extended P+QQ 力があるが, 私たちはこの相互作用とは別の角度からの分析を考えている.

具体的には fp 領域で用いられた有効相互作用 FPD6 を参考にして, 中心力やテンソル力のパラメータを変更して, f_5pg_9 領域で使用できる有効相互作用に改良したいと考えている．今回の講演では Zn 同位元素において各パラメータを変更させた場合の結果について JUN45 との比較を行いながら議論する.

A-10 関数表現による有効相互作用を用いた Ge 同位元素の分析

福岡大理 [A] 江口正人[A], 武田将征 [A], 田崎茂 [A]

N=40 近傍において，関数で表した有効相互作用を用い，Ge 同位元素の分析を試みる.『N=40 近傍における関数表現による有効相互作用の開発』では，^{56}Ni を core とし，その外に陽子数が 2 個存在する Zn 同位元素を対象として有効相互作用が考えられた．この発表で対象とする，Ge 同位元素は Zn 同位元素より更に陽子が 2 粒子多い元素であり，有効相互作用を考案したときに Zn のエネルギー準位の構造を変化させなかったパラメータがどのように影響を与えるかなどに興味がある．更に，想定された模型空間 $p_{3/2}$，$f_{5/2}$，$p_{1/2}$，$g_{9/2}$ よりも高い一粒子エネルギー準位，$d_{5/2}$ を含む計算での影響も検討する.

A-11 1 核子系カイラル摂動論における不変ではないように見える項 (ANTs)

九大理 [A], 佐賀大 SL セ [B], 東北公益文化大 [C] 原田恒司 [A], 久保博史 [B], 山本裕樹 [C], 吉本一世[A]

QCD の低エネルギー有効理論であるカイラル摂動論 (ChPT) を用いて、NG ボソンの散乱の量子補正をオフシェルで計算すると、カイラル対称性に対して、不変ではないように見える項 (ANTs) が現れることが知られている。ANTs は、カイラル不変な全ての相殺項を用いてもくりこむことが出来ないため、カイラル対称性を破っているように見えるものの、入射、散乱粒子の運動量に対して、オンシェルの条件を課すことで、S 行列に対する寄与はゼロになるというを性質を持つ。また、ANTs は非線形な変換をする理論において一般的に存在することが知られているが、フェルミオンと結合する系についての具体的な計算結果は、他の文献には明記されていない。

本研究では、上記の場合を拡張し、1 つの核子と π 中間子の相互作用を記述する 1 核子系カイラル摂動論を用いて、ANTs が存在するかどうかを確かめた。πN 散乱のオフシェルにおける相互作用の量子補正を、1-loop まで計算し、カイラル不変な相殺項によってくりこむことができない寄与を見つけ、ANTs が存在することを実際に示した。この結果により、フェルミオンと結合する系についても ANTs が存在することが具体的に示された。

例えば、オフシェルで計算される有効作用などは、ANTs を含まなければならない。同じように非線形表現を用いる理論においても、ANTs の存在は否定できない。したがって、この研究は、非線形表現におけるオフシェルの物理の研究に寄与することが期待される。

A-12 Holographic penta and hepta quark state in confining gauge theories

九州大学理学府 [A], 福岡工業大学情報工学部 [B], 近畿大学産業工学部 [C], 鹿児島大学理学部 [D]　郷六一生 [B], 中村昭洋 [D], 田港朝貴[A], 豊田文彦 [C]

現在までのところ、テトラクォークやペンタクォークといった 4 個以上のクォーク・反クォークから作られるとされるエキゾチックハドロンは、理論的にも実験的にも十分な議論や検証がなされておらず、それらの性質は多くの謎を残している。特に、クォーク 4 個、反クォーク 1 個から作られるペンタクォークは 2003 年に Spring-8 における実験でその存在が報告されて以来多くの追試が行われてきたものの、その存在の決定的な証拠は得られていないというのが現状である。

そこで我々は、ゲージ/重力対応の手法を用いてエキゾチックバリオンの有効な模型の構築を目指した。従来提唱されている D5 ブレーンを用いたバリオン模型を拡張した結果、クォークと同時に反クォークの自由度も模型に含めることが可能となり、エキゾチックバリオンとして扱える模型が得られた。しかしこの模型では、ペンタクォークに対応する 1 個の反クォークを含むバリオン解のみが、余剰次元依存性からの寄与により、構築不可能であることが示された。さらに、クォーク 5 個、反クォーク 2 個からなるヘプタクォークに関してもこの模型を用いて議論する。また、これらのエキゾチックハドロン模型の示す質量比は従来のクォーク模型の結果を満足する事がわかった。

本発表では、以上のような内容の詳細について報告する。

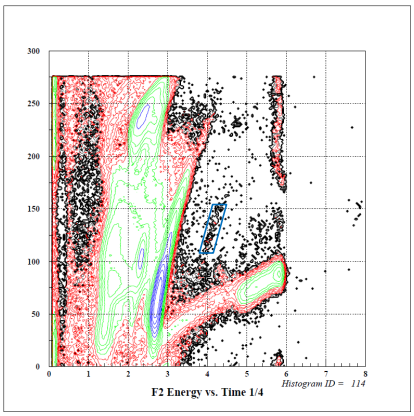
A-13 Ecm=1.5MeV での 4He+12C → 16O+γ 天体核反応測定 〜BG 除去〜

九州大学理学府物理学専攻粒子物理学講座 [A]　山口祐幸[A], 相良建至 [A], 寺西高 [A], 藤田訓裕 [A], 谷口雅彦 [A], 岩淵利恵 [A], 大場希美 [A], 松田沙矢香 [A]

九州大学粒子物理学研究室では、E_{cm}＝2.4—0.7MeV での^4He（^{12}C、^{16}O）γの反応断面積を測定している。この反応によって天体の^{12}Cと^{16}Oの存在比が決定され、その比が天体でのその後の元素合成に影響を及ぼし、星の進化も左右する。この測定は約４０年間世界的に行われてきたが未だに成功していない。

天体ではこの反応は E_{cm}＝ 0.3MeV で起きているが、クーロン障壁により反応断面積はσ〜$10^{-17}barn$ と非常に小さく、実際に測定することは不可能である。そこで我々はこの全断面積を E_{cm}＝ 0.7MeV まで測定し、E_{cm}＝ 0.3MeV での全断面積を外挿して求める。

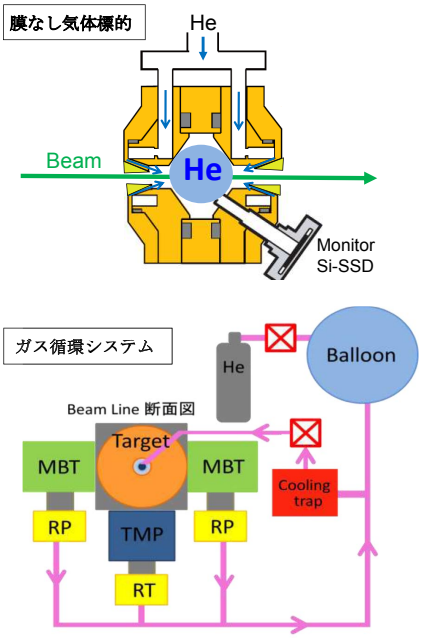
我々はバックグラウンド除去のため、ビームのパルス化や反跳粒子分析器、Long-time chopper 等を使用している。9 月の実験では E_{cm}＝ 1.5MeV での全断面積測定に世界で初めて成功した。今回はバックグランド除去について報告する。



A-14 天体核実験用の窓無なしガス標的とガス循環系の開発

九州大学大学院　理学府　物理学専攻　粒子 [A]　松田沙矢香[A], 相良健至 [A], 寺西高 [A], 藤田訓裕 [A], 谷口雅彦 [A], 岩淵利恵 [A], 大場希美 [A], 山口祐幸 [A]

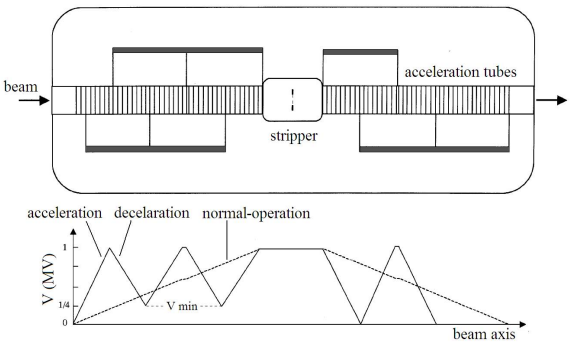
九州大学原子核実験室では、天体における $^4He + ^{12}C \rightarrow ^{16}O + \gamma$ 反応の断面積測定している。この反応は恒星の He 燃焼期の反応で、その後の天体の進化を左右する重要なものである。しかし、反応断面積が非常に小さいため測定は大変難しく、いまだ反応断面積は確定されていない。我々は、^{12}C をビームに ^4He を標的にして、生成 ^{16}O を検出する。真空中に気体標的を置くための膜は、低エネルギー大強度ビームですぐに破れてしまうため、吹込み型窓なし気体標的を開発し、世界最高厚さの 24Torr × 4.5cm のターゲットを作ることに成功した。この標的には 1 日約 $15m^3$ もの He 流量が必要で、今後 1 週間〜1 ヶ月の徹夜実験を繰返すため、目下、He 消費量を 1/20 にするガス循環システムを開発中である。気体標的の性能と圧力分布、および開発中のガス循環システムについて紹介する。



A-15 タンデム加速器の加速減速強集束運転法

九州大学大学院理学府 理学専攻 粒子物理学 [A]　Maria Theodora Rosary[A], 相良建至 [A], 寺西 高 [A], 藤田 訓裕 [A], 谷口 雅彦 [A], 大場　希美 [A], 松田　沙矢香 [A], 山口　祐幸 [A]

九州大学タンデム加速器を加速減速強集束運転をして、強いビームを加速しす。このベームは低エネルギーの強い ^{12}C ビームが必要なので ^{12}C $+^4$ He $\rightarrow^{16}$ O $+ \gamma$ 天体核反応の実験を行います。九州大学タンデム加速器は 6〜10MV の電圧でビームを加速するように設計してあります。天体核反応の実験では 1〜1.5MV で加速しますが、集束ビームが弱くなります。それで、ビーム輸送効率が 5 %くらいになります。そこで、私たちはタンデム加速器をモディファイして、九州大学独自の加速減速強集束運転をします。通常の運転では加速電圧を一様に上げて行きますが、加速減速法では加速電圧の上昇 (加速) と下降 (減速) を繰り返します。そして、強集束の原理で集束ビームを強くします。九州大学タンデム加速器では 2002 年に加速減速法が考案されましたが、^{12}C$+^4$He $\rightarrow^{16}$ O$+\gamma$ 実験が進んで、いよいよ実用する段階になりました。そこで加速減速集束計算を見直して、最適条件を探しています。その計算内容と、これからの実験計画を報告します。



A-16 Determination of the reaction rate for ^{13}C(α,n)^{16}O by means of CDCC analysis of s

九大院理 [A] 福井徳朗[A], 緒方一介 [A], 八尋正信 [A]

Fe よりも重い元素の半分ほどは、恒星内部での元素合成過程の一つである s process で生成されると考えられている。

^{13}C(α,n) 反応は、漸近巨星分岐星 (Asymptotic Giant Branch star; AGB) という、低温度で質量の小さい恒星内での s process に必要な中性子を供給すると考えられている。

^{13}C(α,n) が核力作用半径よりも遠方で起こる表面的な (peripheral) 反応であれば、必要な波動関数は ^{13}C と ^{17}O の重なり関数の漸近形だけでよい。核力作用半径よりも遠方の漸近領域では、波動関数はある係数 (ANC) と Whittaker 関数の積で書けることが知られている。そして、この係数 ANC は反応固有の値ではないため、別の ^{17}O を用いた反応、^{13}C(^{6}Li,d)^{17}O から求められる。したがって ^{13}C(α,n) の反応率は、^{13}C(^{6}Li,d) 反応を測定および解析することにより、間接的に決定することができる。このような手法を ANC 法と呼ぶ。

ANC 法を用いた ^{13}C(α,n) の反応率決定の研究は、Florida State University の G. V. Rogachev, E. D. Johnson らの実験グループによって行われているが、その解析では ^{13}C(^{6}Li,d) の入射粒子 ^{6}Li が α と d に分解する効果が取り入れられていない。そこで本研究では、^{13}C(^{6}Li,d) を離散化チャネル結合法 (CDCC) によって解析するこにより、^{6}Li の分解の自由度まで考慮して、^{13}C(α,n) の反応率を正確に決定する。

A-17 変形中性子過剰核 ^{31}Ne における弱束縛中性子軌道

九大院理 [A], 北大創成 [B] 蓑茂工将[A], 木村真明 [B], 緒方一介 [A], 清水良文 [A], 八尋正信 [A]

近年の実験技術の大きな進歩により, 不安定核の物理の解明は着実に進展し, その研究対象は比較的軽い中重核のドリップラインにまで迫っている. その代表例が ^{31}Ne や ^{33}Mg などの中性子過剰核であり, このような中性子ドリップライン近傍の $N = 20$ 周辺領域は “Island of Inversion” と呼ばれ, 現在注目を集めている. 不安定核の中には, ハロー構造などの特異な構造を有する核があることは良く知られている. “Island of Inversion” 核の中には, ハローなどの性質ばかりでなく, 非常に大きく変形し, 安定核とは異なる殻構造を持つと予測されている核もある. 理化学研究所において, それらを入射粒子とした 1 中性子分離断面積などが測定され始めているものの, そのスピン・パリティなどの性質はいまだ決定されていない.

ハロー核の候補として, 特に注目されているのが ^{31}Ne や ^{33}Mg である. 我々は, Glauber 模型を用いた 1 中性子分離反応の解析により, ^{31}Ne の 1 中性子軌道の情報として得られるのは分光学的因子ではなく漸近係数 (ANC) であることを明らかにした. さらに, 分解反応に対する標準理論である離散化連続チャネル結合法を用い, ^{12}C や ^{208}Pb を標的とした ^{31}Ne の 1 中性子分離反応実験 [1] の解析を行うことによって, ANC を正確に決定する.

Reference

[1] T. Nakamura *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 262501 (2009).

A-19 有限バリオン、有限アイソスピン化学ポテンシャルにおける QCD 相図

九大院理 [A], 佐賀大理工 [B] 佐々木崇宏[A], 境祐二 [A], 河野宏明 [B], 八尋正信 [A]

量子色力学 (QCD) 相図とは、有限温度 (T)・有限化学ポテンシャル (μ) におけるクォークとグルーオンの状態変化を表した図である。現在のクォークは閉じ込め状態にあり陽子や中性子などのハドロンを形成しているが、宇宙初期の高温状態では閉じ込めから解放されたプラズマ状態であった。従って、宇宙進化の過程ではプラズマ相から閉じ込め相への相転移が起こり、ハドロンが生成されたと考えられる。この QCD 相転移を理解するためには、QCD 相図の情報が必要不可欠である。QCD の第一原理計算である格子 QCD シミュレーションは有限クォーク化学ポテンシャル ($\mu_{\rm q}$) 領域で実行困難であるため、QCD の解析には有効模型が用いられる。有効模型は多くの不定性を伴うが、我々は格子計算が可能な領域で第一原理計算との定量的比較を行い、模型の信頼性を確認し、有限 $\mu_{\rm q}$ 領域の QCD 相図を定量的に予言したいと考えている。

今回我々は、アイソスピン化学ポテンシャル ($\mu_{\rm I}$) に着目した。$\mu_{\rm I}$ は u,d クォーク間のアイソスピン非対称度に対応しており、$\mu_{\rm q}=0$ の $\mu_{\rm I}$-T 平面では格子計算が実行可能である。また、重イオン散乱実験や中性星内部では一般に $\mu_{\rm I}\neq 0$ であるため、$\mu_{\rm I}$-$\mu_{\rm q}$-T に対する QCD 相図が必要である。本公演では、有効模型として Polyakov-loop extended Nambu-Jona-Lasinio 模型 (PNJL 模型) を用いた結果を報告する。まず、$\mu_{\rm q}=0$ の $\mu_{\rm I}$-T 平面における格子計算との比較により、我々の模型が第一原理計算と一致することを示す。さらに、$\mu_{\rm I}$-$\mu_{\rm q}$-T の 3 次元空間における相構造を見ることで、高次相互作用が及ぼす定性的な変化について議論する。

A-20 Polyakov loop extended Nambu-Jona-Lasinio model(PNJL model) を用いた 2+1 フレーバー QCD 相構造の研究

九大院理 [A], 佐賀大理工 [B] 小田輝[A], 境祐二 [A], 河野宏明 [B], 八尋正信 [A]

量子色力学（QCD）は、クォークとグル―オンの間の強い相互作用を記述する基礎理論である。近年では、有限温度・有限密度系において、QCD が複雑な相構造をもつことが分かってきており、QCD 相構造の解明は、重要な研究テーマの一つとして注目を集めている。また、J-PARC、RHIC、LHC などの大型の加速器によって、これらの相構造の実験的研究も可能になってきている。

計算機の発達により、QCD の第一原理計算である格子 QCD 計算が可能となり、多くの結果が得られている。零密度領域の結果からは低温領域おいてはハドロン、高温領域においてはクォークの寄与がそれぞれ支配的であるということがわかっており、有限温度・有限密度領域においてもクォーク相とハドロン相の 2 つに分離できることが示唆されている。しかし、符号問題により、格子 QCD 計算では有限密度領域の計算を行うことができない。そのため、様々な有効模型による計算が行われてきた。特に、Polyakov loop extended Nambu-Jona-Lasinio 模型 (PNJL 模型) は格子 QCD 計算の結果をよく再現する有効模型の１つとして、注目されている。

本研究では、ストレンジクォークを含めた２＋１フレーバーの PNJL 模型を用いて熱力学量の計算を行い、零密度領域における格子 QCD 計算との比較を行った。また、有限密度領域においては、PNJL 模型とハドロンを記述する Walecka 模型による二層模型を用いて、クォーク相とハドロン相の解析を行った。