

A-a1

隠れたカイラル対称性の破れによる自発的なプランクスケール生成とインフレーション

金沢大数物, 富山大理^A

青木 真由美、久保 治輔^A、楊 錦波

Inflation after spontaneous Planck-scale generation by hidden chiral symmetry breaking

Kanazawa Univ.; Toyama Univ.^A

M. Aoki, J. Kubo^A, J. Yang

標準模型では、実験や観測から確認されているニュートリノ質量や暗黒物質の存在を説明することができず、また、唯一の質量次元を持つパラメーターであるヒッグス場の質量項が階層性問題をもたらす。階層性問題とは、標準模型をある高エネルギースケールまでの有効理論だとすると、ヒッグス場の質量項の受ける量子補正が甚大で、大型ハドロン衝突型加速器で測定された 125GeV のヒッグス粒子質量を説明するためには非常に不自然な微調整をしなければならないという問題である。

本講演は、階層性問題を解決する可能性があるアプローチとして、古典的スケール不変な理論に注目する。標準模型に隠れた量子色力学(QCD)セクターを導入し、強い相互作用の場合と同様にカイラル対称性のダイナミカルな破れによりスケールを生じさせる。また、標準模型と隠れた QCD セクターとのポータルとしてスカラー場を導入し重力セクターに拡張させることで、カイラル対称性の破れのスケールとプランクスケールを結び付ける。一方、右巻きニュートリノはスカラー場との湯川結合によって重い質量を持ち、その量子補正でヒッグス質量項を生成し、さらにタイプ I シーソー機構で左巻きニュートリノ質量項を生成する。

本模型の重力セクターには、ヒッグスインフレーションのようなスカラー場とリッチスカラーとの非最小結合があり、リッチスカラーの二乗項もあるため、 $R+R^2$ インフレーションが実現する可能性がある。本講演ではこのようなインフレーションを議論し、宇宙マイクロ波背景放射の観測結果から、模型のパラメーター範囲を制限する。また、カイラル対称性の破れによって暗黒物質候補が生成されるため、その残存量についても議論する。

A-a2

Subcritical hybrid inflation in a generalized superconformal model

金沢大自然, 金沢大数物^A 軍司啓宏, 石渡弘治^A

Subcritical hybrid inflation in a generalized superconformal model

Kanazawa Univ. Yoshihiro Gunji and Koji Ishiwata

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測により、極初期宇宙の指数関数的な加速膨張、即ちインフレーションパラダイムが確実視されている。そのため、これまでも数多くのインフレーション模型が提案されてきた。一方で、過去に提案されたシンプルな模型は、近年の CMB 観測の精度向上によって次々に棄却されてきている。超対称性のもとで構築されるハイブリッドインフレーション模型もそのような模型の一つであり、模型が予言する曲率揺らぎのスペクトル指数が大き過ぎるために、現在の CMB 観測と整合しない。

一方で、近年、D-項ポテンシャルを用いたハイブリッドインフレーション模型において新たな見地からの研究がなされている。それは、ケーラーポテンシャルの対称性により異なるタイプのインフレーションが実現するというものである。その中でも、超共形対称性の枠組みで提案された超共形ハイブリッドインフレーション模型は、CMB の観測結果と整合することが知られている。また、ハイブリッドインフレーションは通常、臨界点で終了するが、この模型では特定のパラメータ領域において臨界点通過後もインフレーションが継続する。この臨界点以降のインフレーションはサブクリティカルインフレーションと呼ばれている。

本研究では、超共形ハイブリッドインフレーション模型のケーラーポテンシャルをより一般的な形へと拡張し、その拡張模型におけるサブクリティカルインフレーションについて精査した。その結果、サブクリティカルインフレーションが広いパラメータ領域において実現されることが判明した。また、パラメータの値により様々なインフレーション描像が出現し、結果として、テンソル・スカラー比の値が 10^{-4} から 10^{-1} という広い範囲に予言されることが明らかとなった。

A-a3

素数次元における一般化ベル状態の局所識別可能性条件

福井大工 林明久, 堀邊稔, °橋本貴明

Simple criterion for local distinguishability of generalized Bell states in prime dimension

Dept. of Appl. Phtys., Univ. Fukui A. Hayahsi, M. Horibe, °T. Hashimoto

いくつかの部分系からなる量子状態の識別問題は広く研究されているが、部分系での局所操作と部分系間の古典的通信のみ (LOCC) を用いた現実的な識別問題が大きなテーマとなっている。ここでは、量子テレポーテーションに用いられるベル状態を高次元化した一般化ベル状態の LOCC による識別問題を取り上げる。一般化ベル状態とは共に d 次元の2つの部分系 A, B からなる互いに直行する最大エンタングルメント状態で、次のように定義される。

$$|W\rangle^{AB} = \frac{1}{\sqrt{d}} \sum_{a,b=0}^{d-1} W_{a,b} |a\rangle^A \otimes |a\rangle^B \quad W_{a,b} = X^a Z^b$$

ここで、 X, Z はシフトと位相変換からなる一般化パウリオペレーターである。我々は特に one-way LOCC で複数個の一般化ベル状態が識別可能であるかどうかの条件について考察した。

具体的には、この識別問題で既に十分条件として知られている Fan の条件 [1] と同等な容易に計算できる条件を、一般化パウリオペレーターのシンプレクティック共変性を用いて導出した。考えている一般化ベル状態の個数が d 個で d が素数の場合には、この条件が一般化ベル状態が識別可能であるための必要条件でもあることが示される [2].

[1] H. Fan, Phys. Rev. Lett. **92**, 177905 (2004).

[2] T. Hashimoto, M. Horibe, A. Hayashi, Phys. Rev. A. **103**, 053429 (2021).

A-a4

摺動界面に長周期構造を有する NEMS についてのナノ動摩擦法則の探究

金沢工大 EOE 研 遠田 英資, 大島 友都, 下境 雅也, 中川 拓海, 林 啓治

Search for Laws of Nano-Friction for NEMS with long-period structure at the sliding interface

Kanazawa Institute of Technology, E. Tohda, Y. Oshima, M. Shimosakai, T. Nakagawa, K. Hayashi

現在、マイクロ化学チップや Micro-ElectroMechanical System(MEMS)について、さらなる高性能集積化に向け、コンポーネントとしての Nano-ElectroMechanical System(NEMS)の開発の効率化が望まれている。所属研究室では、NEMS 開発・設計指針を得るため、既に熟を持っている摺動部においてなお持続的に摩擦熱が発生し、かつ、磨耗を伴わない弾性接触条件下での動摩擦(我々の研究室において“ナノ動摩擦”と定義する)に関する法則性の解明に取り組んでいる。さて、このようなナノ動摩擦について精密に測定する実験技術は世の中で未だに確立されていない。散逸現象は複雑系挙動であるため、解析に分子動学(MD)シミュレーションを先見的に活用している。

以前に我々は、格子定数 σ_{CC} の結晶Cを n_C 層、格子定数 σ_{DD} の結晶Dを n_D 層ずつ交互に積層した歪み超格子を、原子スケールで平坦な lateral 断面において、格子定数 σ_{AA} における、単結晶 A の2次元最密格子の平坦な表面と接触させた摩擦系について、定常滑り条件下におけるナノ動摩擦特性を、系統的に解析した[1]。なお、 n_C 原子層の幅と n_D 原子層の幅の和を超格子周期と呼ぶ。また lateral 歪超格子の積層方向の平均格子定数 $(n_C\sigma_{CC} + n_D\sigma_{DD})/(n_C + n_D)$ に等しい格子定数 σ_{MM} を持つ単結晶を考え、M と呼ぶ。このシミュレーション研究により、ナノ動摩擦力の滑り速度依存性について、動摩擦力が急激に増大する“滑り速度の閾値”が、摺動界面で相接する結晶の格子定数比に依存して決まるとの知見を得た。

本研究では、研究室で以前より得てきた、ナノ動摩擦について単純な議論を可能とする格子Cを平衡核間距離で固定した“凍結モデル”の成果を踏まえ、lateral 歪超格子のシミュレーターに改良を加えた。これにより、膨大な統計処理に基づく確度の高いデータを得ることを可能とした。このシミュレーターを用いてナノ動摩擦特性の解析を行い、得た知見を本講演で報告する。

[1] K. Hayashi *et al.*, Computer Physics Communications, 177, 51 (2007).

A-a5

固体凹凸表面の形状を変化させたときの水滴に対する濡れ性の変化

福井大工, 飛田 晃太郎, 古石 貴裕

Structure of textured surface dependence of the wettability change for water droplets

Fac. of Eng. Univ. of Fukui; Kotaro Tobita, Takahiro Koishi

固体の板のようなものの上に凹凸を作ると、表面が水を弾くようになる。この現象は、自然界で撥水性を持つものとしてよく知られるハスの葉の表面構造にも見られる。この表面構造がどのような形だと撥水性をより持てるのかを調べるため、これまでの実験で四角柱や円柱、釘型などが用いられた様々な凹凸面が作成されてきた。

今回の研究では、分子レベルの凹凸面での水滴の挙動の解析をするため、分子動力学法を用いて再現を行った。凹凸面は、四角柱、円柱、円錐、四角台錐を並べた4種類の表面を再現した(図1)。ここで、原子で柱を作って凹凸面を再現しようとする、柱の形状が原子配置の格子構造に強く依存し、曲面や傾斜面が作りにくい、相互作用面を用いた。相互作用面とは、面が存在するとされる範囲内で水分子と最短距離になる位置に原子を置くことで面を表現する方法である。この方法を用いて、凹凸面に水滴を置くシミュレーションを行った。得られる水分子の座標データから、マーチングキューブ法を用いて水滴が表面に接触している面積を調べた。

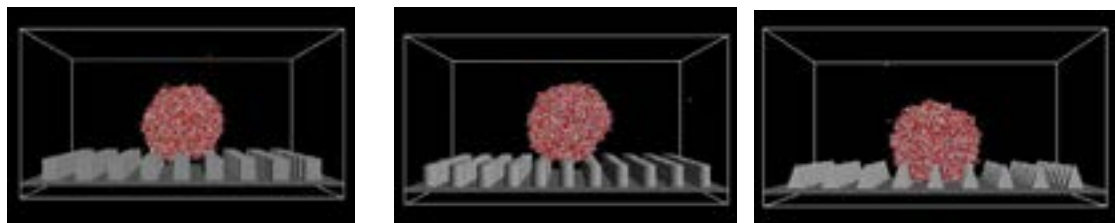


図1 凹凸表面に水滴を置くシミュレーションの様子(左から 四角柱、円柱、四角錐台)

A-a6

分子動力学シミュレーションを用いたナノスケール水ポンプの動作原理の解析

福井大工 武生 一歩, 古石 貴裕

Analysis of Mechanism of Nanoscale Water Pump by Molecular Dynamics Simulation

Fac. of Eng., Univ. of Fukui, Ippo Takeo, Takahiro Koishi

水は人類にとって欠かすことのできない物質で、生命維持や産業活動といったあらゆる場面で使用されており、水の輸送にはエネルギーが消費される。このときのエネルギー効率を上げるために、水の輸送を効率的に制御していく必要がある。そこで、近年粗視化シミュレーションで提案されているカーボンナノチューブ(CNT)を用いた水ポンプのモデルに着目し、分子動力学シミュレーションによって低エネルギーで機能するナノスケール水ポンプの動作原理の解析を行った。

今回研究に使用したポンプは、圧力勾配や密度勾配がない場合でもCNTの片側半分の直径を変化させることにより、水を輸送することができる(図1)。CNTは一列の水分子が入ることのできる直径だが、水を輸送する際に水分子の列が途切れることがある。CNTの直径の変化率やその切り替えの時間間隔を変えることで、水分子の列が途切れることと、水が輸送されることとの関係を調べた。

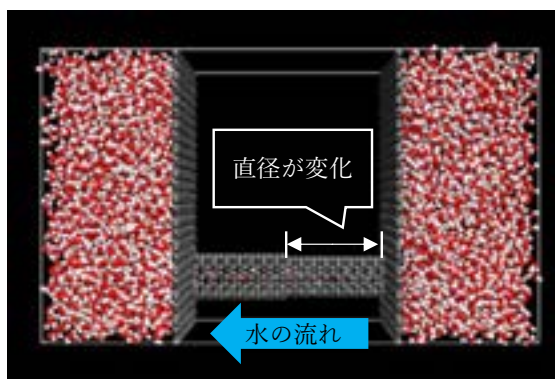


図1: CNTの右側半分の直径を切り替えることで水を輸送しているナノスケール水ポンプ

A-a7

オートエンコーダを用いた香気曝露に伴う胃電図の解析に関する研究

福井大工 福島 涼太, 福井大院工 杉江 倫太郎, 平田 隆幸, 高田 宗樹

A Study on Analysis of Electrogastrogram Associated with Aroma Exposure Using Autoencoder

Fac. of Eng., Univ. of Fukui R. Fukushima, R. Sugie, T. Hirata, H. Takada

嗅覚は視覚や聴覚などと異なり、それらの情報の数値化をヒトの官能評価に頼っている。しかし近年、香気刺激時の生体反応・生体情報を利用した嗅覚およびその情報の客観的評価が検討されている[1]。本研究では、香気刺激時の生体反応・生体情報を利用した嗅覚およびその情報の客観的評価について、統計的機械学習を用いて低次元へ埋め込み、その際に特徴的な差異が存在するか検証した。

本研究で用いる胃電図波形は、不整脈疾患や消化器疾患および消化器症状を有さない若年健康者 8 名 (平均±標準偏差: 23.125 ± 0.78 歳) を対象に記録されたものである。香気の曝露にはそれぞれ濃度の異なる人工バナナのおいがついた脱脂綿の入った蓋つきの瓶 3 つ (溶媒のみ、低濃度、高濃度) を用いた。本研究では胃電図波形 (Fig. 1) 上で香気曝露および香料濃度の特徴があらわれることを仮説として、香料濃度別のクラスタリングを試みた。そこで、入力されたデータに次元削減の処理を施すことで、特徴を抽出することが可能なオートエンコーダ (AE) を用いた。こうして、時系列データを 2 次元の埋め込み空間上にプロットして、香料濃度別 (溶媒のみ、低濃度、高濃度) と基準となる control の 4 クラス分類に試み、時系列データから特徴抽出を行った。結果及び考察は講演での報告とする。

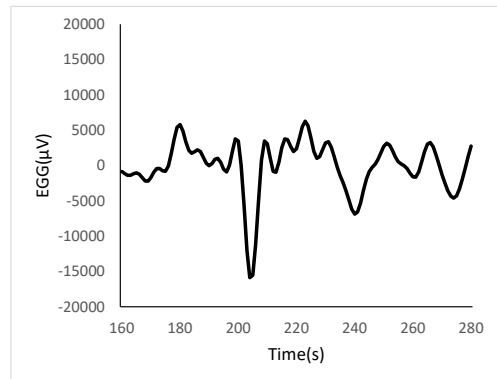


Fig. 1 胃電図波形の一部分

参考文献

- [1] 宮崎 良文(1997) 主観評価と生理応答の対応, 日本官能評価学会誌, 1 巻, 1 号: p.37-42.

A-a8

前庭電気刺激(GVS)による重心動揺時系列データの非線形性解析

福井大工 福井大院工^A 岐阜医療科学大保^B

牧野 瑞稀, 坂倉 響^A, 高田 宗樹, 平田 隆幸, 杉浦明弘^B

Analysis of Nonlinearity in Body Sway during using Galvanic Vestibular Stimulation

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; Grad Sch. of Eng., Univ. of Fukui^A;
Fac. of Health Sci., Gifu Univ. of Medical Science^B M. Makino, H. Sakakura^A, H. Takada, T Hirata, A Sugiura^B

近年、立体映像視認時に引き起こされる映像酔いが問題視されている。視覚誘導性姿勢反応(VEPRs)の制御を通じて映像酔いも制御できる可能性が示唆されている先行研究がある[1]。そこで本研究では、VEPRs が重心動揺に及ぼす影響に着目した。VEPRs の誘発方法としてガルバニック前庭電気刺激(GVS)を採用し、外的刺激による VEPRs の誘発が重心動揺に及ぼす影響を調べ、同時に非線形解析を行った。

重心動揺の計測には健康な 21 歳の男性 6 名、女性 9 名を対象とした。本実験では、被験者の眼前に視距離 100 cm の位置にモニタを設置した。視覚刺激として多数の球体がランダムに位置し、球体すべてが 0.25 Hz で左右方向に移動する映像を周辺視にて観察させた。GVS には、4 秒周期の左右方向を主成分とする VEPRs と同様の体動発生が期待できる 0.25 Hz の正弦波交流電源を用いた。以上の視覚刺激および前庭電気刺激を調整し、映像のみ、GVS のみ、VEPRs と GVS の位相が同じ順位相、逆位相の 4 種類の検証をそれぞれランダムな順番で 120 秒間印加して、重心動揺の計測を行った。

計測した重心動揺の時系列データに Wayland アルゴリズムを用いて並進誤差を求めた。また、計測した時系列データに Fourier-Transform サロゲート法を用いて、代理時系列データを 5 つ作成した。代理時系列データについても計測した時系列データと同様の方法で並進誤差を求め、並進誤差の平均値を代理時系列データの並進誤差とした。元データと代理時系列データの並進誤差を比較検討し、重心動揺を記述する数理モデルの非線形性についても確認した。結果および考察の詳細については講演での報告とする。

参考文献

- [1] 杉浦明弘, 田中邦彦, 若田部駿, 松本千佳, 宮尾克, 往復運動映像観視における重心動揺の時間特徴解析. 日本衛生学雑誌, 71(1) pp. 19-29, 2016.

A-a9

眼電図を記述する数理モデルの非線形性に関する研究

福井大工 福井大院工^A 岐阜医療科学大保^B 石川 顕正, 坂倉 響^A, 杉浦 明弘^B, 平田 隆幸, 高田 宗樹

A Study on Nonlinearity of Mathematical model for Electroretinogram

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; Grad Sch. of Eng., Univ. of Fukui^A;
Fac. of Health Sci., Gifu Univ. of Medical Science^B;
K. Ishikawa, H. Sakakura^A, A. Sugiura^B, T. Hirata, H. Takada

近年、スマートフォンが急速に普及しており、生活上、必要不可欠なツールとなっている。それに伴い、今後さらに眼疲労を訴える人が増加すると考えられる。眼球に関する客観的な計測の一つに視線運動がある。こうした時系列データを分析する際、フィルターを適用したり、移動平均をとるなどして、重畳されたノイズを低減する試みがある。一方で、古典的に標準化間隔を大きくとって、粗視化した上で、相関次元やサロゲート法にもとづいて、時系列データを生成すると考えられる数理モデルを検討した例がある^[1]。本質的な数理モデルの情報が得られたり、重畳されたノイズを特定することにつながることもある。また、適切なサンプリング周波数の数理設計に寄与することもある。

計測は健常な 21-22 歳の若年者 8 名(6M, 2F)を対象に、暗室で行い、計測姿勢は椅座位とした。赤外線強膜反射法によって、眼球運動を計測する眼球運動計測装置 TKK2930a (竹井機器工業)を用いた。映像視認には、42V 型の 3D テレビ LW5700(LG エレクトロニクス)を使用し、画面上に散布した紫色の球体が動く映像と、紫色の球体に加えて中心に、紫色の球体と同じように動く黄色の球体がある映像(Fig.1)を用いた。ただし、視標に用いた球体の運動は 0.25 Hz の周期成分を有するが、1 方向的なものではない。まず、サンプリング周波数を 500 Hz とし、映像視認時の各サンプリング時間での縦横方向での眼球運動を記録した。ここでは、計測した追従視の時系列データを、X 軸成分(右方向を正)と Y 軸成分(上方向を正)に分けて時系列解析を行った。次に、その計測した時系列データのサンプリング周波数を 500Hz から 250Hz まで下げた時系列データを作成した。加えてそれぞれの時系列データから代理時系列データを 5 つずつ生成し、Fourier-Transform サロゲートデータ法を用いて解析を行った。次に、これらの時系列データから Wayland アルゴリズムを用いて並進誤差を求めることで、生成した時系列データは決定論的過程によるものか、確率論的過程によるものかを確認した。さらに、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を 0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、1.0 に設定することにより、客観的に評価した。結果、考察は講演にて述べる。

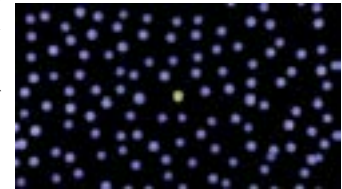


Fig.1 映像視認時に用いた映像

参考文献

[1]池口徹, 非線形時系列解析とサロゲートデータ法, 物性研究, 91(2), p.144-147

A-a10

敵対的生成ネットワークを用いた金融時系列のシミュレーションに関する研究

福井大工 中嶋 大祐, 福井大院工 中根 滉稀, 平田 隆幸, 高田 宗樹

A Study on Simulation of Financial Time Series Using Generative Adversarial Networks

Fac. of Eng., Univ. of Fukui N. Nakajima, N. Koki, T. Hirata, H. Takada

2020 年 3 月 19 日、東京株式市場で日経平均株価は続落し、1 万 6552 円 83 銭で終えた^[1]。新型コロナウイルス問題の収束が見込めないのか株価は下落した。この下落の要因として、新型コロナウイルスの影響による企業業績の悪化だけでなく、人工知能(AI)もしくは、自動売買アルゴリズムにおける自動的なロスカットの連鎖による連続的な売りが発生したことが挙げられる^[2]。このことは、金融市場に AI や自動売買アルゴリズムの導入が進んでいることを示唆しているのかもしれない。本研究では金融時系列モデルの構築を目的として、その一例として、日本国内の上場企業のうち数社を抜粋し、日足で 25 年分のデータから株価を予測するシミュレーションに関する研究を行う。一般に、時系列生成モデルを構築するには、対象となる時系列データの特徴やシステムの背景が既知であることが前提となる。しかし、金融時系列に関して全て解明されているとは言えない。そこで、金融時系列のシミュレーションを行うために、敵対的生成ネットワーク(以降、GAN)を用いた。GAN は配列の生成モデルであり、データの特徴を抽出して生成し、擬似的な時系列を模倣することができる。また、GAN は正解データを与えることなく特徴を学習し、教師なし学習を基本とする。これらの GAN の特性を利用することで、金融時系列に関する特徴を抽出して、シミュレーションを行った。結果及び考察は講演での報告とする。

参考文献

[1] 日本経済新聞社, "日経平均、終値 173 円安の 1 万 6552 円," 日本経済新聞社, 03 19 2020.

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO56990520Z10C20A3000000> (2021 年 11 月 1 日参照)

[2] S. Ponzek, E. Popina and L. Wang, "Dow Average, who dropped-machine criminal theory emerging," Bloomberg, 06 02 2018. <https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2018-02-06/P3PJGE6JIJVN01> (2021 年 11 月 1 日参照)

A-p1

²⁴¹Am 線源を用いた Li 含有液体シンチレータにおける α 線の消光に関する研究

***福井大工 **若狭湾エネルギー研究センター
大橋 竜也*, 川端孝弥*, 中島恭平*, 玉川洋一*, 鈴木耕拓****

Study of alpha-ray quenching in Li loaded liquid scintillator using ²⁴¹Am source

***Univ. of Fukui, **The Wakasa Wan Energy Research Center**

T. Ohashi*, A. Kawabata*, K. Nakajima*, Y. Tamagawa*, K. Suzuki**

原子炉運転時の核分裂生成物の β 崩壊の際に発生する反電子型ニュートリノ(原子炉ニュートリノ)を観測することにより原子炉内部の稼働状況や燃料組成比をモニタリングする原子炉ニュートリノモニターの開発に取り組んでいる。

我々の研究グループでは原子炉ニュートリノ用検出器として波形弁別能を有する Li 含有液体シンチレータの開発を行っている。逆 β 崩壊反応によって生じる陽電子と中性子を検出することで原子炉ニュートリノを観測する。Li は中性子を捕獲した際に α 線とトリチウムを放出する。この中性子捕獲信号を用いることにより、バックグラウンドを大幅に低減することが可能になり原子炉ニュートリノイベントを効率よく取得することが可能になる。しかし、Li の中性子捕獲反応により発生する α 線・トリチウムは消光効果によって観測エネルギーが小さくなる。

そこで本研究では、開発した Li 含有液体シンチレータの電離消光に関する研究を行った。今回は ²⁴¹Am 線源を用いて、電離消光の影響が無い SSD(表面障壁型半導体検出器)で液体シンチレータへの入射エネルギーを測定し、Li 含有液体シンチレータで観測エネルギーを測定した。²⁴¹Am 線源は約 5MeV の α 線を発生し、空気中での飛程が約 4 cm である。これを利用し検出器と線源の距離を調整することで、 α 線の入射エネルギーを ~5MeV のエネルギー範囲で任意のエネルギーに定め、測定を行った。

本講演では、今回の測定結果より入射エネルギーに対する観測エネルギーの比である消光係数のエネルギー依存性について報告する。

A-p2

原子炉ニュートリノモニター用 Li 含有液体シンチレータの性能評価

**福井大・工, 若狭湾エネルギー研究センター^A
川端 孝弥, 中島 恭平, 玉川 洋一, 鈴木耕拓^A**

Performance evaluation of Li loaded liquid scintillator for reactor neutrino monitor

Univ. of Fukui, The Wakasa Wan Energy Research Center^A

A. Kawabata, K. Nakajima, Y. Tamagawa, K. Suzuki^A

原子炉由来の反電子型ニュートリノ(原子炉ニュートリノ)を観測することにより原子炉内部の稼働状況や燃料組成比をモニタリングする原子炉ニュートリノモニターの開発に取り組んでいる。

我々の研究グループでは原子炉ニュートリノモニターのための原子炉ニュートリノ検出器として波形弁別能を有する Li 含有液体シンチレータの開発を行っている。原子炉ニュートリノ観測には逆 β 崩壊反応により発生する陽電子と中性子を利用する。⁶Li は中性子を捕獲した際に α 線とトリチウムを放出するが、この信号を用いることによって原子炉ニュートリノを効率よく検出できる。

そこで様々な Li 濃度の波形弁別能を有した Li 含有液体シンチレータを作製した。作製した液体シンチレータに、¹³⁷Cs、²⁵²Cf を照射することで発光量、波形弁別能、中性子捕獲事象数といった原子炉ニュートリノ観測において重要な検出器の性能評価を行った。

本講演では、得られた測定結果より Li 含有液体シンチレータの Li 濃度に対する性能評価の結果について報告を行う。

A-p3

放射線照射による木製楽器の音の変質に関する研究

福井大工 村上悠介, 中島恭平, 玉川洋一

Study of the effects of radiation on the sound of wooden musical instruments.

Univ of Fukui Yusuke Murakami, Kyohei Nakajima, Yoichi Tamagawa

一般的に知られているストラディバリウスのように、ヴァイオリン属の楽器は古いものほど音が良いとされる傾向がある。音の質が良くなる要因として職人の技や木材の経年変化が考えられ、木材の経年変化には木材の水分量の減少や強度変化がある。そこで我々は木材の経年変化による硬質化に着目した。過去の研究によると、木材の強度変化は放射線を照射することでも引き起こすことができると分かっている。よって、木材に放射線を照射することによって音の変質を引き起こすことができるのではないかと考えた。

本実験では木製楽器に対して、放射線を照射することにより引き起こされる音の変質の調査を行なっている。

本講演では、照射対象に木琴を採用し照射をおこなった結果を報告する。音量、音高、減衰時間をそれぞれ、打音の波形や、波形をフーリエ変換して得られる周波数スペクトルをもちいて解析し評価を行った。また、その結果より今後の研究の計画を報告する。

A-p4

アクション探索実験に向けての共振器校正システムの開発

福井大工 東北大ニュートリノセ^A 渡辺昇希 村松佳樹 小川泉 岸本 康宏^A

Development of the cavity calibration system to search for the dark matter axion

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNS, Tohoku Univ. ^A,

S. Watanabe, Y. Muramatsu, I. Ogawa, Y. Kishimoto^A

宇宙の組成は通常物質が5%、暗黒物質が27%、ダークエネルギーが68%となっており、暗黒物質の正体は未だに解明されていない。暗黒物質の正体の候補として素粒子物理学で存在が予言されているアクシオンという仮想粒子が提唱されている。アクション探索実験では強磁場中でアクシオンが逆ブリマコフ効果により光子に変換されることを利用し、強磁場中に設置した共振空洞の共振周波数を変化させてその周波数がアクシオン質量に一致した時に変換される光子を検出する。

アクション探索実験においては、共振空洞の共振周波数とQ値が測定に応じて変化する重要なパラメータである。我々の研究室では未知のアクシオン質量に対応する、共振空洞の共振周波数を変化させて、その時のQ値の測定を行うプログラムの開発を行っている。現在周波数可変機構をもつ共振空洞の模擬試験として可変抵抗におけるバンドパスフィルタの通過周波数を変化させるプログラムを開発・テストを行っている。



図：実際のQ値測定と模擬試験でのQ値測定で取り扱う装置

A-p5

Axion 探索実験に向けた低雑音マイクロ波増幅器の性能評価

福井大工 東北大ニュートリノセ^A 村松佳樹 小川泉 岸本康宏^A 渡辺昇希

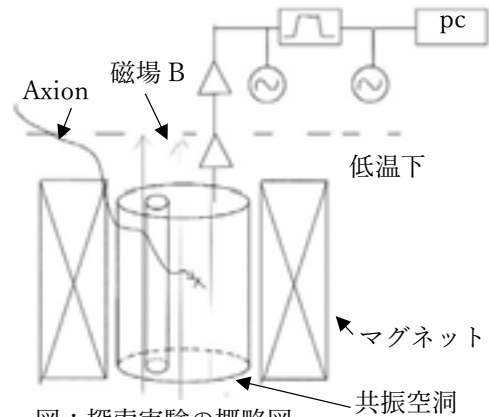
Performance Evaluation of a Low Noise Amplifier for the Axion Search Experiment

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNS, Tohoku Univ.^A

Y. Muramatsu, I. Ogawa, Y. Kishimoto^A, S. Watanabe

暗黒物質は、宇宙の大部分の質量を占めると考えられており未発見である。暗黒物質の正体の有力な候補のうちの1つとして Axion がある。Axion は逆プリマコフ効果により、強磁場中で光子へと転換される。我々の研究グループでは、強磁場中の共振空洞を用い、共振周波数を変化させながら転換光子を検出することにより Axion の発見を目指している。共振空洞やマグネットの工夫により、先行研究である ADMX 実験とは異なる質量領域の Axion 探索を目指している。

右に探索実験の概略図を示す。Axion 由来の転換光子信号に対して主たるバックグラウンドとなるのは、共振空洞中の黒体輻射光子と回路系の熱雑音である。前者は共振空洞を冷却することにより提言することが出来る。後者の低減にあたって、まずは各回路の雑音の程度に相当する雑音指数を正確に測定する必要がある。本講演では、低雑音増幅器の雑音指数測定方法及び測定系の検討状況について述べる。



図：探索実験の概略図

A-p6

タンデム加速器を用いた Li 含有液体シンチレータにおける α 線及び陽子線の消光に関する研究

福井大・工 若狭湾エネルギー研究センター

小栗 廉太郎, 川端 孝弥, 中島 恭平, 玉川 洋一, 鈴木 耕拓

Study of alpha-ray and proton quenching in Li loaded liquid scintillator using tandem accelerator

Univ. of Fukui, The Wakasa wan Energy Research Center

R. Oguri, A. Kawabata, K. Nakajima, Y. Tamagawa, K. Suzuki

原子炉において核種が β 崩壊する際に反電子ニュートリノが放出される。我々はこの反電子ニュートリノを観測することで、原子炉内部の状況を監視する技術である原子炉ニュートリノモニターの開発を行っている。検出器としては比較的安価かつ拡張性がある液体シンチレータを想定している。

ニュートリノ事象は逆 β 崩壊を利用して観測される。逆 β 崩壊では陽電子及び中性子が発生し、それぞれがシンチレータ内でエネルギーを落とす。陽電子は最終的に電子と電子対消滅を起こし、それによって 0.511MeV の γ 線が 2 本放出される。中性子は Gd や Li によって捕獲され、 γ 壊変・ α 壊変を起こす。陽電子が落としたエネルギーと電子対消滅による γ 線を先発信号、中性子捕獲による信号を後発信号とする。これらの信号の時間差を利用して背景事象を低減する手法を遅延同時計測と呼ぶ。中性子捕獲に Li を用いると合計 4.78MeV の運動エネルギーを持つ α 線とトリチウムを放出するため、先発信号である γ 線との区別が明確になる。しかし α 線などの重い粒子は dE/dx が大きく発生エネルギーに対して観測エネルギーが小さくなる消光効果が働く。そのためシンチレータを取り扱う上で、発生エネルギーと観測エネルギーの関係を調査しておく必要がある。

本研究では上記の消光効果について調査したため報告する。若狭湾エネルギー研究センターのタンデム加速器を用いて、5MeV 以下の α 線と陽子線を、容器表面に穴をあけた液体シンチレータに照射した。これによってニュートリノ事象を観測した際の後発信号の観測エネルギーの推定を行うことができる。

A-p7

ニュートリノ崩壊光子検出器校正用光学系の設計と評価Ⅱ

福井大工, 中部大工^A, 福井大遠赤セ^B, 筑波大数理^C

若林凜, 吉田拓生, 中山和也^A, 古屋 岳^B,

金信弘^C, 武内勇司^C, 飯田崇史^C, 他 COBAND 実験メンバー

Design and evaluation of an optical system for calibrating neutrino-decay-photon detector II

Univ. of Fukui, Chubu Univ.^A, FIR Univ. of Fukui^B, Univ. of Tsukuba^C

R. Wakabayashi, T. Yoshida, K. Nakayama^A, T. Furuya^B,

S.H. Kim^C, Y. Takeuchi^C, T. Iida^C, for COBAND collaboration

スーパーカミオカンデ等の実験により、ニュートリノは質量を持つことが判明したが、その質量は正確には測定されていない。質量の大きいニュートリノは、 $50\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ の遠赤外領域の波長を持つ光子を放出して質量の小さいニュートリノに崩壊することが予測されていて、この光子（ニュートリノ崩壊光子）のエネルギーを測定することでニュートリノの質量を決定することができる。しかし、ニュートリノの崩壊確率は極めて低いため、ニュートリノ崩壊光子を検出するには大量のニュートリノが必要となる。そこで我々は、宇宙に大量に存在すると考えられている宇宙背景ニュートリノを利用する実験、COBAND(Cosmic Background Neutrino Decay)実験を計画している。そしてニュートリノ崩壊光子のエネルギーを正確に測定するために、STJ(Superconducting Tunnel Junction)検出器の開発を行っている。その開発研究の中で我々は、福井大学遠赤外領域開発研究センターの遠赤外分子レーザーを用いて STJ 検出器の性能評価を行うことにした。しかし、このレーザーはニュートリノ崩壊光子と同じ遠赤外領域の光を連続波として発振するため、STJ 検出器のパルス応答を評価するには、その連続波を、検出器の応答速度（数 μ 秒程度）よりも時間幅の短いパルスに変換する必要がある。そこで、本研究では、その変換を図のような回転ミラーを用いて行うことにし、そのための光学系を設計した。今回は、その設計方法と結果について講演する。



図：回転ミラー

A-p8

稀現象探索実験における機械学習でのバックグラウンド低減の研究

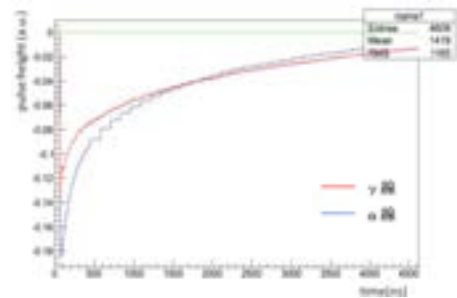
福井大工 丹羽雄大, 小川泉, 戸澤理詞

A Background Reduction Method using Machine Learning for the Rare Event Search Experiments

Faculty. of Eng., Univ. of Fukui, Y. Niwa, I. Ogawa, M. Tozawa

宇宙・素粒子物理学上の問題を解明する研究として二重 β 崩壊($0\nu\beta\beta$ 崩壊)探索実験及びダークマター探索が挙げられる。我々のグループで検出器として利用している CaF_2 シンチレータはダークマターの候補の一つである WIMPs とのスピンの依存する反応断面積が大きい原子核である ^{19}F を含んでいる。ダークマター探索では WIMPs と原子核反跳した ^{19}F を検出する。 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験(CANDLES 実験)では、 ^{48}Ca によるニュートリノを放出しない探索を目的とした研究で CaF_2 シンチレータが用いられている。一方で、近年ではさまざまな分野に AI の機械学習が取り入れはじめており、宇宙・素粒子物理学の分野でも適用が始まっている。

稀現象探索実験では、低バックグラウンド(BG)環境での観測が必要となる。その一環として、関心イベントと BG となる信号との間で弁別を行うことで、低 BG 環境の実現を目指している。先行研究により、 CaF_2 シンチレータでは入射粒子により波形が異なることがわかっている(右図)。これを利用して Shape Indicator 法(2つの波形の差に重みをつけてイベントを弁別する手法)などを用いて波形弁別能の評価を行なった。本研究では信号弁別に機械学習を用いる試みを行なっている。 α 線、 β 線、 γ 線、原子核反跳の信号をそれぞれ別々に測定して、データを機械学習として学習、テストさせる。 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験では β 線と α 線の間で、ダークマター探索では原子核反跳と β/γ 線との間で信号波形の弁別を行う。先行研究での手法との比較・評価も行う。その研究状況について報告する。



図： α 線、 γ 線の平均波形

A-p9

レーザー同位体分離における原子ビームのプロファイルモニタの開発

福井大工 阪大核セ^A, 祐伯蓮 小川泉 仁木秀明^A 平岩侑 中島諄也

Development of the Atomic Beam Profile Monitor for Laser Isotope Separation

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A R. Yuhaku, I. Ogawa, H. Niki^A, T. Hiraiwa, J. Nakajima

現在、⁴⁸Ca を崩壊核としたニュートリノの放出を伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$ 崩壊)の観測実験が、ニュートリノのマヨラナ性検証のため行われている。⁴⁸Ca を標的核として用いる利点は、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊核種の中で最大の Q 値を持ち、低バックグラウンドでの測定が期待されるという点にあるが、その反面、天然存在比が非常に小さいため、濃縮する必要がある。福井大学ではレーザー同位体分離法による濃縮を研究している。レーザー同位体分離法とは、複数の同位体を含む原子のビームに特定波長のレーザーを照射し、目的の同位体のみ運動量を与え、偏向させて分離する方法である。この手法による分離はすでに実証されており、現在は ⁴⁸Ca の大量生産に向けた研究を進めている。大量生産に当たっては、レーザー、原子ビーム等のパラメータを最適化しなければならず、後者のためには原子ビームの位置・運動量分布といった情報(プロファイル)が必要となる。我々のグループでは膜厚計等による原子ビームの位置分布測定をすでに行ってきた。本研究では、位置分布に加え運動量分布の測定を可能にするため、レーザー照射時の Ca の蛍光を直接撮影・解析するプロファイルモニタの開発を行った。

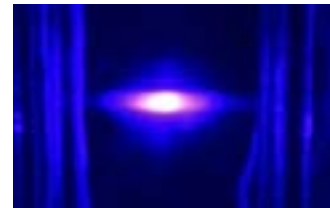


図: ⁴⁰Ca 蛍光の撮影画像

A-p10

Geant4 をベースにしたレーザー同位体濃縮のシミュレーション開発

福井大工, 阪大核セ^A 中島 諄也, 小川 泉, 仁木 秀明^A, 平岩 侑, 祐伯 蓮

Development of the Simulator for Laser Isotope Separation based on Geant4

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A J. Nakajima, I. Ogawa, H. Niki^A, T. Hiraiwa, R. Yuhaku

ニュートリノのマヨラナ性の検証実験として、ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$ 崩壊) の観測が有望であるが、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊は極めて稀に起こる現象であるため、低バックグラウンドでの測定かつ大量の崩壊核の用意が必要である。⁴⁸Caは二重ベータ崩壊核の中で最大の Q 値を持つ一方、その自然存在比が小さい (0.187%) ため濃縮する必要があり、現在我々は、偏向法により年間1kmol程度の⁴⁸Ca製造を目指している。偏向法は、蒸発させた原子にレーザーを照射し、目的の同位体のみ運動量を与えて分離する方法である。⁴⁸Caの大量生産には長時間安定的かつ効率的に稼働可能な装置が必要であるが、複数のパラメータの最適化を実験的に行うのは困難なので、シミュレーションが有用である。本研究では、先行研究で開発した偏向法シミュレーションプログラムを、放射線シミュレーション用の Geant4 をベースとしたものに移植し、さらにより現実的な装置での詳細なシミュレーションを行うべく開発を進めている。本発表では、開発状況について報告する。

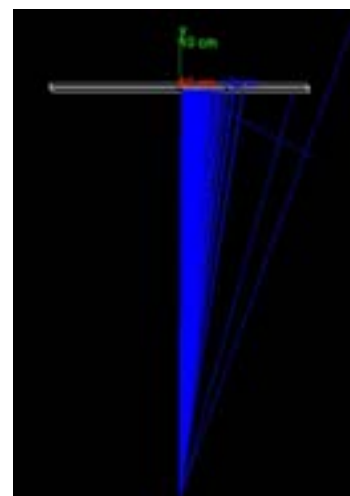


図 1 開発途中のシミュレーションプログラムの出力例 (図下部で偏光用レーザーを照射した場合)

A-p11

偏向法を用いた ^{48}Ca の大量生産に向けた原子ビーム系の開発・研究

福井大工, 阪大核セ^A 平岩侑, 小川泉, 仁木秀明^A, 祐伯蓮, 中島諄也

Development of Atomic Beam System for Mass Production of ^{48}Ca using Deflection Method

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A T. Hiraiwa, I. Ogawa, H. Niki^A, R. Yuhaku, J. Nakajima

ニュートリノのマヨラナ性の検証を目的として、 ^{48}Ca のニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)の探索を行っている。 ^{48}Ca は高い Q 値(4.27MeV)を持っているためバックグラウンドに強いが、天然存在比が非常に小さい(0.187%)。後者の理由のために、濃縮して標的核を増やす必要があるため、我々はレーザーによる偏向法を用いて Ca 同位体濃縮を行っている。偏向法とは、蒸気にした Ca をコリメータし、原子ビーム状にし、そこにレーザーを照射することで、目的の同位体のみ運動量を与え、同位体分離を行う手法である。我々は実証段階を経て ^{48}Ca の大量生産に向けた研究を進めている。現在は原子ビーム系について、より効率的で安定した生産に最適なビームプロファイルを得るべく、研究・開発を行っている。本発表では飛行時間測定及び、膜厚計を用いた原子ビームの空間分布測定の結果について報告する。



図: 偏向による濃縮法の概略