

平成 28 年度近畿大学工学部理学科物理学コース 卒業研究発表会

平成 29 年 2 月 8 日 (水) 09:00 ~ 17:50

プログラム

08:55 31 号館 601 教室 全員集合
09:00 ~ 09:05 開会の辞：太田先生

31 号館 601 教室 [物性]

- 9:05 ~ 10:25 午前の部 1 (座長：笠松先生)
 - 01 量子制御研究室 (近藤：6 名)
- 10:25 ~ 10:35 休憩
- 10:35 ~ 12:00 午前の部 2 (座長：近藤先生)
 - 02 凝縮系物理学研究室 (松居：6 名)
- 12:00 ~ 13:00 休憩
- 13:00 ~ 15:15 午後の部 1 (座長：堂寺先生)
 - 03 理論物理学研究室 (中原：5 名)
 - 04 固体電子物理学研究室 (増井：5 名)
- 15:15 ~ 15:25 休憩
- 15:25 ~ 17:40 午後の部 2 (座長：笠松先生)
 - 05 生物物理学研究室 (矢野：5 名)
 - 06 ソフトマター物理学研究室 (堂寺：5 名)

31 号館 602 教室 [素粒子・宇宙]

- 09:05 ~ 10:25 午前の部 1 (座長：井上先生)
 - 01 一般相対論・宇宙論研究室 (石橋：6 名)
- 10:25 ~ 10:35 休憩
- 10:35 ~ 12:00 午前の部 2 (座長：石橋先生)
 - 02 理論物理学研究室 (中原：1 名)
 - 03 宇宙論研究室 (井上：5 名)
- 12:00 ~ 13:00 休憩
- 13:00 ~ 15:00 午後の部 1 (座長：千川先生)
 - 04 素粒子論・重力理論研究室 (太田：5 名)
 - 05 原子分子物理学研究室 (日下部：4 名)
- 15:00 ~ 15:10 休憩
- 15:10 ~ 17:10 午後の部 2 (座長：日下部先生)
 - 06 素粒子・宇宙物理学研究室 (千川：7 名)
 - 07 素粒子実験研究室 (加藤：2 名)

-
- 17:40 ~ 17:49 総評：増井先生，石橋先生 (31 号館 601 教室)
 - 17:49 ~ 17:50 閉会の辞：中原
 - 発表時間 10 分，質疑応答 3 分。交代 30 秒。
 - ベルは発表経過時間 8 分，10 分，13 分。ベル係は発表研究室の次の研究室が担当。発表最後の研究室のベルは発表最初の研究室が担当。
 - 全 3，4 年生及び教員は 8 時 55 分までに 601 教室に集合。3，4 年は終日参加すること。
 - 17:50 卒業研究判定会議

卒業研究発表祝賀会 18:30 ~ 20:30 カフェテリア・ノベンバー (11 月ホール地下)

- 18:30 開会の辞
乾杯：太田先生
歓談
- 19:10 卒研発表賞 (3 名) 表彰式
- 19:30 卒研を振り返って (研究室毎に代表学生および教員の言葉)
(増井 石橋 矢野 太田 中原 井上 松居 加藤 近藤 日下部 堂寺 千川，1 研究室 5 分程度)
- 20:20 記念撮影
- 20:30 閉会の辞

量子制御研究室

0350 木村駿斗 ペルチェ素子を用いた霧箱の製作

霧箱を使うと私たちの周りにある見えない放射線を視覚化することができる。霧箱の一種である拡散霧箱では、温度勾配を作るために冷却する必要がある。通常は液体窒素やドライアイスなどを使用するが、それらは入手が難しく扱いづらいという欠点がある。そこで対象物を冷やすことができるペルチェ素子を使用する。ペルチェ素子を使用する際の注意点として、ペルチェ素子と冷却する対象物がしっかりと密着している必要があるために、固定するか接着させる。力をかけ過ぎるとペルチェ素子自体が破損してしまう恐れがあるので私は接着することにした。本研究では耐熱性や耐寒性があり、熱伝導の良い接着剤を用いることで霧箱に必要な温度まで冷却しようと試みたが、飛跡を観測することができていない。発表ではその原因を議論する。

0331 西島淳司 市販の高温超伝導線を使った超伝導学生実験

現在、JRのリニアモーターカーなど、超伝導は様々な分野で研究が進められており、注目を浴びている。私の研究では、住友電気工業株式会社のType-HIと呼ばれる高温超伝導線を使って、中学校や高校にある実験器具で超伝導現象が分かるような試料を作成する。この高温超伝導線は超伝導物質が銅合金の中に埋め込まれており、超伝導物質だけの抵抗の測定は難しい。そこで、この銅合金を取り除くことにした。ただし、単に銅合金を取り除くと、埋め込まれている超伝導物質が機械的に弱く使い物にならない。樹脂の中に埋め込むという対策を行って、機械的な強度を高めた試料を作った。以上により、簡易な実験装置で超伝導物質の電気抵抗が0になることを確認する装置を作ることができた。

0313 大竹渉太 音を使ったヤングの干渉実験

私は初めて指向性スピーカーに触れた時「感動」を覚えた。私は来年から教壇に立ち、理科を教える。その際に理科を通して生徒に「感動」を伝えることが目標の一つだ。高校物理で学ぶ「ヤング」の干渉実験は、指向性スピーカーの原理でもある波の干渉が確認できる実験である。通常は光で行うが私は音で行うことにした。生徒に教科書で学ぶ科学的原理（波の干渉）が実際に活用されていること（指向性スピーカー）に気づかせ、「感動」を伝えたい。その為に本研究では音を使った学生用「ヤング」の干渉実験を行うための装置を作成した。測定する際にオシロスコープを用いることは公立高校では難しい。そのため受信機に増幅回路と検波回路を用いることによって、音の強さを電圧に変換して測定できる装置を作成した。

0377 後田真一 小中学生のための「クリップモーターの製作」実験の改善

「理科離れ」の風潮の中で、生徒の興味関心をひき、理科好きにするためには、実験を行い成功体験を積み重ねることが有用である。そこで私はその中でもよく実施される「クリップモーターの制作」実験に着目した。この実験はシンプルではあるが生徒たちの成功率は低い。特にコイルを巻く、被覆を剥がすと言った工程での失敗が多いので、それらの工程を簡単にかつ失敗を少なくできるような治具の制作を3Dプリンターを用いて行った。治具の試験運用での成功率は8から9割程度であったが10例程度とあまりにも少ない。そこで現場の先生の協力を得て、実際の授業での成功率を2月末に評価する。本研究では、生徒全員が「クリップモーターの制作」実験を成功させ、理科に対して興味関心をもたせることを目的に治具および実験手引書の制作を行った。

0309 飯田裕貴 理科実験について

理科離れの風潮の中で、生徒の理科に対して興味関心を持たせるためには、実際に目で見て、疑問をもち、理解することが大切であると考えます。その上で理科実験は授業にとっても有用であると考えます。私は中学校時代の理科の先生が実験をあまりしないタイプで中学校理科に興味関心が少なかったのですが、大学で中学校に行って出張実験をする機会があり、実験の面白さを生徒と一緒に感じました。ここで私は中学校3年間理科を習う中で、どれだけ目で見て学習を補助できる実験があるのか、また苦手な分野には理解を深める上でどんな実験が理解を補助できるのかを考えます。また実験については危険を少なく、簡単なものができるだけ考え、注意点をまとめます。今研究は生徒が理科に興味をもち、理解を補助できるような実験を紹介していきたいと思えます。

0358 河瀬明浩 磁気センサーを用いたコンパクトな超低磁場 NMR 装置の製作

巨大磁気抵抗による磁気センサーを用いた超低磁場 NMR 測定装置の開発が目標である。従来の NMR では誘導起電力を測定しており、磁気センサーによる直接的な測定はあまり行われていない。低磁場 NMR ではゼーマンエネルギーが小さいため、通常の摂動論は破綻する。 μ SR による実験があるが、核スピンでの低磁場実験はほとんどない。このような低磁場領域で、理論に偏りがちな統計力学の研究を実験的に行いたい。製作した装置は磁場を発生させるソレノイドコイル、電流を制御する装置、また磁気センサーを高感度状態で動作させるための装置である。40mT の励磁と 1 万倍の増幅器、さらに多数の測定を行って平均を取ることによって、信号を検出できる見込みである。私は信号の検出には至らなかったが、今後は高感度状態にする装置を動作させるための信号を送るプログラムを組み、測定の際の不要磁場を相殺すれば NMR 測定を行うことができると考えている。

凝縮系物理学研究室

0336 西田智紀 ニューロンの発火機構とホジキン・ハクスレーモデル

人の脳は 1000 億近くの神経細胞（ニューロン）同士が、シナプス結合と呼ばれる結合を通して電気信号をやり取りしている。これらのニューロンが作るネットワークはニューラルネットと呼ばれ、意識・記憶・学習などの機能を理解するための出発点である。信号のやり取りの結果、各ニューロンは時々刻々、電圧パルスの発生・送信（発火）と非送信（非発火）を繰り返すことが実験的に知られている。本研究では、一つのニューロンの外部からの信号に対する振る舞い（時間変化）を記述するモデルを使ってニューロンの発火の機構を理解する。具体的には、軸索の単位構成要素の電気的活動を電気回路（等価回路）に置き換えて記述するモデルの決定版であるホジキン・ハクスレーモデルを使って、膜電位の時間変化のシミュレーションを行う。一組の微分方程式を差分法とオイラー法で近似し、結果を比較することで両近似の適用限界等についてもコメントする。

0335 鶴重 翔平 意識の統合情報理論と統計力学 I

意識の統合情報理論は 2004 年、精神科医のジュリオ・トノーニ（Giulio Tononi）が提唱したもので、意識はいつ生まれるか、その条件を数学（情報理論）の枠組みで客観的に提案している。人間に限らず、無生物の人工知能など、ある系に意識が生じる条件は、“統合”された“情報”（統合情報量と呼ばれる）が十分大きくなったとき、と主張される。“情報”とは外部観測者に無関係な系固有の情報（事象の実現確率）であり、“統合”とは系の構成要素間に十分な情報交換の相関があることを意味する。統合情報量は相関のある系とない系での情報エントロピーの差で定義されるが、統計力学の熱力学的エントロピーとも深く関わりがある。その意味で意識の発現を物理学（統計力学）の枠組みで理解する可能性が浮かび上がる。この研究は荒木宏明君との共同研究であり、2 人の発表で完結する。本発表では統合情報理論の紹介を中心にを行う。

0326 荒木 宏明 意識の統合情報理論と統計力学 II

トノーニの意識の統合情報理論では系に内在する様々な情報（事象の実現確率）が中心的な役割を果たしている。このような実現確率は熱力学的エントロピーと強い類似がある。本発表では、鶴重翔平君との共同研究の後半として、まず、情報科学のエントロピーと熱力学のエントロピーが本質的に同じものであることを示す。つぎに意識の発現の統計力学的理解に向けて、統合情報量と熱力学のエントロピーや相転移との関連を指摘する。これにより、意識の発現の場所は相転移点近傍の秩序相側である可能性が浮かび上がる。さらに、研究室で調べられているいくつかのゲージニューラルネットモデル（以下の檜森さん、榊井さん、佐藤さんの発表参照）に対して、平均場理論によりエントロピーを計算し、意識の発現と熱力学の関係を示す。意識の座は秩序相であるヒッグス相、クーロン相と無秩序相である閉じ込め相の相転移点近傍の秩序相側であると推論される。

0364 檜森 真由美 $Z(2)$ ゲージニューラルネットの相構造と学習・想起能力

人間の脳の機能のうち、連想記憶・想起の機構は、 i 番目のニューロンの発火・非発火状態を $Z(2)$ 変数 $S_i = \pm 1$ で表すホップフィールドモデルでよく説明できる。しかし、学習した S_i のパターンを貯蔵すべき j から i へのシナプス結合強度 J_{ij} を定数としているので、新しいパターンは学習できない。当研究室では、 J_{ij} も力学変数とする学習・想起のモデルとして、エネルギー SJS に $SJJS$ や JJJ 項を追加した $Z(2)$ ゲージニューラルネットを導入し、その性質を調べて来た。モンテカルロシミュレーションによる相図や学習・想起能力の計算が主な結果である。本発表では、(1) J_{ij} の値が ± 1 or 実数、(2) i, j について対称 or 非対称、(3) ネットワークが全結合 or 疎結合、などの様々なバージョンについて相構造や学習・想起能力を比較・検討し、このモデルの理解を深める。

0387 梶井 映里 ゲージニューラルネットモデルによる右脳・左脳の意識の統合

右脳と左脳を結ぶ脳梁が大幅に切断されると 2 重の人格、意識体験を持つと考えられている（分離脳）。脳梁の結合強度を強めていったとき、いつ意識は統合され、一つになるのか？本研究ではこの問題を物理学的なアプローチ、すなわち数理モデルから出発してエントロピーや比熱などの物理量の振る舞いから理解できないか、その可能性を探る。脳のモデルとしては、学習・想起のモデルである $Z(2)$ 整数対称結合ゲージニューラルネットを右脳と左脳のために 2 つ用意し、それらをシナプス結合（脳梁）で繋いだものを考える。その比熱を数値シミュレーションで調べてみると、脳梁の結合強度や結合密度が小さいときは比熱に 2 つのピーク（相転移）が現れるが、結合強度や密度を増やしていくとピークは一つになる。トノーニが提案した意識の統合情報理論を参考にすると、これは右脳左脳の 2 つの意識が一つに統合される様子を表しているという解釈が成り立つ。

0344 佐藤 愛美薫 $CP^1+U(1)$ ゲージニューラルネットと量子効果

ほとんどの脳のニューラルネットモデルは、ニューロン変数とシナプス結合変数を使って古典的に記述される。しかし、ミクロレベルで見ると、梅沢、高橋らが量子場脳理論として提案したように、脳は電気双極子を持つ水分子とその間を飛び交う光子からなる量子力学的対象と見なすことができる。この理論の具体的なモデルとして 4 次元格子上に $CP^1+U(1)$ 格子ゲージモデルが導入された。ここで、 CP^1 変数は各格子点の上の双極子を表し、 $U(1)$ ゲージ変数はリンク上の光子を表す。先行研究では、このモデルの相構造がモンテカルロシミュレーション (MC) で解析され、閉じ込め相、クーロン相、ヒッグス相の存在が示された。本発表では、この格子モデルをランダムネットワークまで粗視化して得られる $CP^1+U(1)$ ゲージニューラルネットを導入し、MC により相構造を決定する。また、古典モデルとの比較から量子効果を議論する。

理論物理学研究室

0062 上本 浩彰 トムソン問題について

トムソン問題の目的は、単位球の表面上に N 個の電子を静電ポテンシャルエネルギーが極小値になるように配置させたときに、その位置がどのような特徴を持った図形になるか調べることである。静電ポテンシャルエネルギーの極小値を求めるときに、計算を簡単にするために、距離だけに依存する関数にする。電子が増えるほど変数が多くなり、ニュートン法を用いて近似法で計算していくのだが、計算量がとても多く、自力で解くのは困難なので Mathematica を使って計算をしていく。電子の配置を決めたり、データを可視化したりするのも Mathematica を使い、さらに電子を頂点にして線で結ぶとどのような図形になるか、どのぐらいの長さになるのかを電子が 2 個から 8 個の場合まで求めていく。

0303 倉橋 光 メゾスコピック系の現象について

半導体量子ドットのように半導体に微細加工し作成される微小な系をメゾスコピック系と呼ばれる。メゾスコピック系はミクロとマクロな系の間である。半導体量子ドットを作成するときの基盤となる半導体は z 軸方向を閉じ込め、 z 軸と垂直となる 2 次元系では電子は気体のように自由に運動できるので、これを 2 次

元電子ガスと呼ぶ。この基盤となる半導体に異なる格子定数の半導体を結晶成長させると、ひずみが発生し3次元上島状構造をつくることで、量子ドットが得られる。この結晶成長をSK(Stranski-Krastanov)成長モードと呼ばれる。3次元方向から電子を閉じ込めることで量子ドットと0次元系について中間発表したが、卒業発表では、2次元系、1次元系での電気伝導や量子化された現象についても触れる。

0354 田中萌 Si量子ドットを用いた2量子ビット論理ゲートの実現

量子計算には、量子ビットと論理ゲートが必要である。量子ビットとは、古典ビットの0、1の2状態に加えて、0と1の重ね合わせ状態も取り得るビットであり、量子2準位系を用いて実現することができる。論理ゲートとは、任意のベクトルに作用し変換する演算のことである。電子や正孔などのキャリアを、3次元方向から閉じ込める構造を量子ドットという。量子ドット中に閉じ込めた電子のスピンは、スピン上向き、下向き状態をビットの0、1に対応させることで、量子ビットとして扱うことができる。量子ドットを2つ用いることで、2量子ビット系を扱うことができる。2量子ビット論理ゲートに、CNOTゲートがある。CNOTゲートは、片方のビットの状態に応じて、もう片方のビットの状態を変換するゲートである。本研究では、Si半導体量子ドットを用いて、CNOTゲートを実現することを目的とする。

0304 金子 征司 超伝導の渦糸状態

現在の物性研究の中で今後の応用に期待されている物の中に超伝導体がある。この超伝導体の特性には、よく知られている特性として完全導電性というものがあるが、本研究ではもう一方の特性である Meissner 効果について考えた。Meissner 効果とは超伝導体に外部磁場をかけたときに、その試料内部に磁場が侵入しないという特性である。また Meissner 効果は超伝導体の種類により現れ方が異なる。本研究では超伝導体の中でも第2種超伝導体に着目し、第2種超伝導体の Meissner 効果の現れ方を見ていくが、第2種超伝導体に加える外部磁場が下部臨界磁場 H_{c1} を超えると、外部磁場の一部が磁束渦糸という形で試料内部に侵入してしまう。この磁束渦糸の配列が超伝導体の特性に大きく関わってくるが、これは Abrikosov により四角格子になると提唱されている。発表では磁束渦糸の配列がどのようになるかを説明する。

0354 内藤 僚 IBMクラウド量子コンピュータを用いた量子アルゴリズムの検証と周波数もつれ光子の研究

量子コンピュータには、我々の常識では考えられないようなことが実行できる。例えば、4枚のトランプの中に1枚当たりがあるとしたら貴方はどのトランプを選ぶだろうか。ここで、量子コンピュータ独自のアルゴリズムを実行することで理論上100%の確立で当たりを選ぶことができる。このような非常に興味深いアルゴリズムが量子コンピュータには数多く存在し、それらをIBMのクラウド量子コンピュータを用いて実行し検証した。また量子コンピュータや量子情報通信には、もつれた状態という古典的には説明できない状態が重要である。通常もつれた状態は、偏光やスピンなどの2準位系で扱うが、本論文では新しい種類のもつれた状態、周波数もつれ光子について研究した成果を述べた。卒業研究発表では、IBMクラウド量子コンピュータで実行した量子情報のエラー訂正の結果と周波数もつれ光子の生成方法について絵やグラフを用いて分かりやすく説明する。

固体電子物理研究室

0355 赤松 佑馬 「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の Ni-Zn 同時置換効果 (微少濃度)」

本研究では、銅酸化物高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) の CuO_2 面における Cu を Zn と Ni に置換することを目指す。今回は時間の都合上、低濃度、中濃度、高濃度を3人で分担し、私は低濃度について担当した。 CuO_2 面の Cu を他原子に置換すると転移温度 (T_c) の温度を下げる事が確認されている。そこでまず、YBCO の CuO_2 面における Cu を Zn と Ni にそれぞれ低濃度で置換を行い、不純物として転移温度 (T_c) の温度を下げることを確認する。また Cu を Zn と Ni を低濃度で同時置換を行い、転移温度の温度をどうなるのかを確認した。低濃度の同時置換に関しては、Zn と Ni が影響せずに、不純物として転移温度の温度を下げ、濃度を少しずつ上げるとそれと比例して、転移温度も下がっていった。

0384 山田 諒 「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の Ni-Zn 同時置換効果 (中低濃度)」

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (以下 Y123) の結晶は CuO_2 面とブロック層と呼ばれる層が交互に積層した層状構造を取っている。この CuO_2 面内の Cu に Ni や Zn を置換すると、転移温度 (T_c) が下がる。しかし、Ni と Zn を同時に置換すると CuO_2 面内で見ると、2 個の Cu と電子的に等価な Ni-Zn のペアを作り、 T_c の低下が抑圧されるのではないかと考えられる。そこで、本研究では Zn の置換濃度を 0.2%, 0.4%, 0.6% に固定し Ni の置換濃度を Zn の濃度よりも濃い濃度で変化させた試料を作成し、粉末 X 線回折によって試料の分析を行った。その後、 T_c を測定した結果それぞれの Zn 濃度において Ni 濃度がある区間の時に T_c の低下が抑圧されていると考えられる結果を得ることができた。

0378 佐々井 紘弥 「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ の Ni-Zn 同時置換効果 (高濃度)」

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) は転移温度 (T_c) が 90K 級の超伝導体である。Y123 には CuO_2 面と CuO 鎖がある。他原子が Cu と置換することにより、 T_c が下がることが確認されている。本研究では、Zn1.0% と Ni0.0 1.0% を置換させた。Zn は CuO_2 面の Cu に置換するので、 T_c が大きく下がる。それぞれ、1% を置換すると T_c が約 13K、4K ずつ下がるので、同時置換で最大約 17K 下がる。しかし、Zn と Ni が影響を及ぼし合える近さにあり、NiZn のペアが Cu と似た振る舞いをすると、 T_c は 17K も下がらず、Y123 と同程度になると推測した。NiZn のペアが出来たためか Ni 置換濃度 0.0% 1.0% までほとんど T_c が変わらなかった。Ni0.7%Zn1.0% で 1 番 T_c が高いという結果が得られた。

0374 田嶋 省吾 「ハロゲン化物フラックスによる Bi 2 2 1 2 単結晶育成の試み」

フラックス法とは分解融解する固相の結晶成長として広く用いられている方法で、物質の融点よりもはるかに低い温度で高品質な単結晶を育成するための技術の一つである。本研究ではそれを取り扱いが安全であるハロゲン化物フラックスを用いて、銅酸化物超伝導体のひとつである Bi 系の中でも最も組成の許容範囲の広い $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) のより大きな単結晶を安価に育成することを目指した。主として混ぜ方、最高温度、比率などの様々な条件を変えながらフラックスを数回行った。最適な単結晶を析出させるための条件についての考察、実験を進めた結果、大別して 3 種類の単結晶と思われるものが析出された。3 種類の結晶はそれぞれピスマス、カルシウム、ストロンチウム酸化物、酸化銅と思われるものと、ピスマス、ストロンチウム、カルシウム銅酸化物であることがわかった。

0339 池田 亘 「ハロゲン化物フラックスによる Bi 2 2 2 3 単結晶育成の試み」

本研究では、銅酸化物高温超伝導体の中で Bi 系について注目した。Bi 系には、Bi2201、Bi2212、Bi2223 の 3 種類が存在している。その中でも、 T_c がきわめて高く、現在、高温超伝導ケーブルなどに実用化されている Bi2223 に注目した。しかし Bi2223 は、物質の安定領域が非常に狭く、単結晶の育成が非常に難しい物質である。そのため、Bi2201、Bi2212 に比べて単結晶の育成方法が確立されていない。本研究では、先行論文である KCl フラックスでの Bi2223 の単結晶の育成方法を参考に、ハロゲン化物フラックス (NaCl) での単結晶の育成を目指した。またその中で、多結晶状態の Bi2223 に対してアニールすることによる影響なども調べた。結果、アニールによって少し影響が出るのが分かったが、最大の目的である Bi2223 の単結晶を育成することはできず、Bi2201 らしき物質を得ることができた。

生物物理学研究室

0349 井上雄介 界面活性剤液滴の形状と大きさから探るマランゴニ対流の測定条件

水表面の界面活性剤の濃度が場所によって不均一になることで、マランゴニ対流という対流現象が発生する。そのとき、水の表面張力は自発的に振動することが知られており、その振動の振幅や周期などの特性は

様々な条件によって決まることがわかっている。水中に界面活性剤の液滴を作ると、液滴の体積を最も小さくするように表面張力が働き、さらに水と界面活性剤との密度差によって押しつぶされ、楕円体となる。その楕円体から徐々に界面活性剤が水表面へと移動していくことから、界面活性剤液滴の形状と大きさを決定することは、界面活性剤がどのように水に拡散するかを決定することになるので、これらはマランゴニ対流に大きく関係している条件である。本研究では界面活性剤としてヘプタノールを用い、水中のヘプタノール液滴の形状と大きさが、マランゴニ対流の発生および表面張力の自発振動の特性にどのような影響を与える条件であるかを調べる研究を行った。

0353 新田優斗 アルコールの炭素数の違いにおけるマランゴニ対流の比較

本研究では、マランゴニ対流というテーマで研究を行ってきた。マランゴニ対流とは場所により表面張力に差が生まれることで発生する対流である。味噌汁が対流を起こしているように普段の生活でも観測できる現象である。私はそのテーマの中でも、界面活性剤の鎖長の長さが違う、ヘプタノール（炭素数7）、ヘキサノール（炭素数6）、ペンタノール（炭素数5）の3種類用いてマランゴニ対流観測実験を行った。この界面活性剤のアルコールの種類によって、表面張力の自発振動による周期や振幅に違いがあるのかを比較するために実験を行った。その結果、アルコールの炭素数が多くなると周期と振幅が大きくなる傾向であった。表面張力が自発振動を起こすのは、定常流から振動流に変わった時であるので、アルコールの鎖長が長くなると、定常流から振動流に変わる時間は長い、振幅を大きくするという結果になった。

0308 久野花織 界面活性剤の界面吸着量の制御とマランゴニ対流の観測

異なる液体の表面張力の違いによって引き起こされる対流のことをマランゴニ対流という。マランゴニ対流が発生すると、液体の表面張力の違いから、表面張力の自発振動が見られることが知られている。表面張力の低い液体には界面活性剤が用いられる。イオン性界面活性剤は pH や塩濃度によって解離度が変化する。解離度が大きければ、水に対する溶解度が上がり界面への吸着量は減少する。界面吸着量が界面活性作用の強さに関係しているため、界面吸着量はマランゴニ対流に影響を及ぼすと考えられる。本研究では界面活性剤にイオン性界面活性剤であるオクタン酸を使用し、表面張力の高い液体の pH を変化させたり塩を加えたりすることによる表面張力の変化から、界面吸着量を算出した。界面吸着量が最も大きくなる条件で、実際にマランゴニ対流が発生するかどうか観測を行った。

0302 大谷 優里香 マランゴニ対流発生条件の探索と表面張力の自発振動周期の制御

マランゴニ対流とは、表面張力が場所によって異なるために起こる対流のことである。対流が発生しているとき、表面張力が自発的に振動する。先行研究では、表面張力の自発振動周期は容器の大きさに依存することが知られている。本研究では、まず、界面活性剤にオクタノールを用い、実験条件（容器の大きさ、キャピラリーの深さなど）を変化させて実験を行うことで、マランゴニ対流の発生条件を模索した。さらに、本研究では、容器の大きさ以外に周期を変化させる要因を見つけることを目的として実験を行った。DMPC（リン脂質）を界面に展開し、超純水の蒸発を防止しようと考えた。界面活性剤にヘプタノールを用い、界面に展開する DMPC の量を変化させて、DMPC が表面張力の自発振動周期にどのような影響を与えるのかを調べた。さらに、この方法により、界面活性剤がオクタノールの場合についても検討した。

0360 亀山愛樹 X線反射率法を用いた水面上リン脂質単分子膜の構造解析

細胞膜は、親水基と疎水基を持つリン脂質の自己組織化によって二重膜構造をとることが知られている。しかしながら、この二重膜の形成過程は未だに解明されていない。私の卒業研究では、まず細胞膜の二重膜構造を水面上のリン脂質単分子膜形成でモデル化する。そして、リン脂質の増加による電子密度分布の変化という観点から細胞膜の形成過程を調べた。観測手法として X 線反射率法を用いる。これは、X 線を試料界面に微小角入射させ、入射と反射の波数ベクトルの差で定義される散乱ベクトルを変化させながら反射強度を測定する方法である。実験によって得られる反射率曲線（反射強度を入射強度で割ったもの）から試料界面に垂直方向の電子密度分布を求めた。

ソフトマター物理学研究室

0345 稲田 つばさ 一次元青銅比準周期構造の電子スペクトル

準周期構造の電子状態がどのような特徴を持つかは興味深い。近年の研究では、青銅比の自己相似性を持つタイリングがあることが発見されており、青銅比についても関心が高まっている。そこで、本研究では1次元の黄金比格子、白銀比格子、青銅比格子がどのような電子のスペクトルを持っているかを Tight-binding モデルを用いて計算し、結果を比較した。周期構造の上では電子状態密度は絶対連続となり、ランダム系では離散的になることがわかっている。計算の結果、青銅比準周期構造の上での電子状態密度は一見連続に見えるが、いたるところに無限小までの様々な大きさのギャップが開いており、特異連続性があることがわかった。また、全体と断片の形状が相似となる自己相似性を持っていることもわかった。

0351 胡内 翔太 近似結晶を用いたペンローズ格子剛体菱形のシミュレーション

ペンローズタイリングは2種類の菱形から成る2次元準周期構造である。これらの菱形をかき混ぜたときどのようなことが起こるのだろうか。剛体球のようにエントロピーによる結晶相転移を起こすのだろうか。本研究ではまず、グリッド法を用いてペンローズタイリングの近似結晶を作成した。次に作成した結晶を初期配置とし、密度を変化させつつペンローズタイリングの菱形をかき混ぜるシミュレーションを行った。ここで菱形は剛体とし、モンテカルロ法を用いた。堤一真の卒業研究(2016)では正方形の境界条件を設けたために、欠陥なしにタイルが敷き詰められないという問題点が存在した。そこで近似結晶を応用した周期境界条件を課した。発表では、ペンローズタイリングとその近似結晶を紹介し、改良した周期境界条件の下で得られた測定結果を紹介する。

0321 安田 有佑 正12角形準結晶近似結晶・Frank-Kasper σ 構造の生成

2011年疎水性高分子のコアと親水性高分子のシェルを持つブロック共重合体ミセル系で12回対称準結晶及び18回対称準結晶が発見された。2014年本研究室でハードコア・ソフトシェル型粒子の2次元のモンテカルロシミュレーションによって10回、12回、18回、24回対称準結晶が発見された。本研究では3次元粒子系で12回、18回対称準結晶、新たな構造を発見することを最終目的として、第1段階として12回対称準結晶を生成するために、近似結晶の1つである Frank-Kasper σ 構造を生成することを目標とした。 σ 構造の単位胞を生成するためにシミュレーションボックスを最適化し、さらに鍋野昂祐(2013年卒業論文)の結果を元にコアシェル比と密度のパラメータを絞り3次元シミュレーションを行った。

0370 荒牧 慧 ハードコア・ソフトシェル粒子系ダイヤモンド構造-シミュレーション条件の探索-

多知裕平の卒業論文「Frenkel-Ladd 法による結晶固体の自由エネルギー比較」(2014)によって、ハードコア・ソフトシェル粒子系において六方晶ダイヤモンド構造に比べ立方晶ダイヤモンド構造の方が自由エネルギーが小さくなり、熱力学的に安定であることが確かめられた。しかし、この卒業論文では1つのパラメータの組み合わせでのみ熱力学的積分法(Frenkel-Ladd 法)の測定及び有限サイズ補正が行われたので、そのパラメータがダイヤモンド構造に対して最適解であったかは不明である。よって、本研究では密度及び逆温度を変化させてダイヤモンド構造が最も秩序だってできるシミュレーション条件の探索を行うとともに、ダイヤモンド結晶表面からの成長シミュレーションのアニメーションを製作した。

0314 野中 健史 Event-chain モンテカルロ法による剛体球シミュレーション

2次元剛体球系における hexatic 相の存在、相転移の次数の問題はこの50年間議論されてきた。2011年、Krauth らが従来のモンテカルロ法とは異なり、詳細釣り合いを破る新しいアルゴリズムでこの問題を解決した。その結果は流動相と固相間に hexatic 相を介し流動相-hexatic 相間は1次転移、hexatic 相-固相間は連

続転移を示す結果となった。この新しい Event-chain モンテカルロ法はメトロポリス法よりも計算スピードが 100 倍程度速くなる。卒発表では Event-chain モンテカルロ法について説明し、位置相関関数や配向相関関数を計算し振る舞いを比較することによって流動相と hexatic 相、固相の違いを明らかにする。2 次元剛体球系における融解現象を粒子数が小さな系から大きな系までの粒子系で再現実験を行った結果、小さな系では相の判別はできなかったが大きな系では相の判別ができた。

一般相対論・宇宙論研究室

0338 奥村貴司 ブラックホール連星からの重力波とチャープ質量

重力波とは、時空の歪みが波のように光速で伝わる現象であり、アインシュタインの一般相対性理論から自然に予言される。1974 年にハルスとテイラーは、中性子星の連星系の観測により、重力波の存在を間接的に検証した。2015 年 9 月 14 日、アメリカの LIGO(レーザー干渉計重力波天文台)グループが重力波の直接検出に初めて成功した。しかも、その重力波源はブラックホール連星であることが判明した。一般に、重力波はそのデータをマッチドフィルタリングにより、理論的に予測された様々なデータと比較することで、重力波源に関する様々な情報を取り出すことができる。特にその波形は「チャープ質量」と呼ばれる量によって特徴づけられる。本発表では重力波の観測原理とチャープ質量からどのように重力波源の情報を取り出すかを紹介する。

0366 栗村大輔 星の重力崩壊

恒星は末期になると白色矮星になったり、超新星爆発を起こして中性子星やブラックホールになる。こうした終末状態の違いは、恒星の質量によって決まる。軽い星は白色矮星になるが、その質量には電子の縮退圧で決まる限界値が存在する。この限界値はチャンドラセカール限界質量と呼ばれる。より重い星は中性子星になるが、その質量にも上限があり、さらに重い場合には重力崩壊が進んでブラックホールとなる。こうした重い天体やそれらの連星系は、重力波の源となり得る。重力波は電磁波とは違って、波源天体の情報を直接的に運んでくれるため、例えば高密度の中性子星の中心部分の状態方程式についても、重力波観測により知見を得ることが期待される。本発表では、重力波の源となる天体の重力崩壊の過程や、その結果できる中性子星およびブラックホールについての球対称モデルを紹介する。

0369 三ノ輪健一 シュワルツシルト時空の拡張と球対称重力崩壊

天体物理学で扱う多くの天体がほぼ球対称であることから、その外部真空領域をシュワルツシルト・メトリックにより記述するのが良い近似となる。このメトリックには、ホライズンと呼ばれる特異性が存在する。この特異性は、クルスカール-スゼッケル座標へ変換することにより排除することができる。しかし、これだけでは物質が内部に崩壊する過程を十分に考慮できていない。崩壊する物体の内部が変化する過程をより詳しく理解するには、物質媒体中のアインシュタイン方程式を解く必要があるからだ。そこで、圧力がゼロである塵状物質の球対称解について考える。現実において圧力を無視することは到底できないが、この条件下で求まる解は方法論的に大変興味深い。本発表では、外部領域をシュワルツシルト時空と接続することで、球対称塵状物質の重力崩壊によるブラックホール形成とその大域構造を紹介する。

0318 上田航大 重力波の発生機構及び曲がった時空上の重力波

2015 年 9 月 14 日、LIGO が初めてブラックホール連星系からの重力波を直接検出したことにより、重力波研究が今後の物理学において益々重要な地位を占める事が予想される。重力波天文学の幕開けである。重力波とは、背景となる時空からの計量の微小な摂動に相当するものであり、アインシュタイン方程式から求められる。一般に、高密度天体の連星系またはそれらの衝突、超新星爆発等から重力波が発生すると考えられており、地球上で検出される場合、重力波は平坦な時空上の計量の線形摂動で近似される。一方、高密度天体など、重力波を放出する天体の近傍では、重力波が曲がった時空上を伝播することを考慮しなければならない。本発表では、曲がった時空上での重力波の振る舞いについてシュワルツシルト時空を背景に用いた場合を紹介する。

0347 南川朋輝 カー・ブラックホール時空の幾何学

宇宙に存在するほとんどの星は自転していると考えられる。自転する天体外部の重力場を理解するためには、真空のアインシュタイン方程式を定常かつ軸対称という仮定のもとで解くことが有用である。その様な解の内、最も重要なものがカー解であり、その計量で記述されるカー・ブラックホールは質量と角運動量の2つのパラメータによって特徴づけられる。カー・ブラックホールの周りにはエルゴ領域が存在し、全ての粒子と観測者がブラックホールとともに回転してしまう「慣性系の引きずり」という現象が顕著に現れる。本発表ではエルゴ領域からエネルギーを取り出すペンローズ過程や Super radiance 等、カー・ブラックホール時空に特有の現象について考察し、Super radiance が起こるための条件を紹介する。

0328 藏貫諒 カーブラックホールを用いたエネルギー抽出機構

多くの銀河の中心には超巨大ブラックホールが存在すると考えられている。またそのブラックホールからは、プラズマから成るジェットが発生していることがわかっている。実は超巨大ブラックホールの質量と銀河の質量には相関があり、ブラックホールの質量は銀河の質量の約 0.15 % になっている。これは超巨大ブラックホールと銀河の共進化問題と呼ばれる未解決の問題である。銀河の進化に影響を与える可能性があると考えられているジェットの生成メカニズムにも様々なモデルがあるが、未だ明らかになっていない。そのモデルの内1つに Blandford-Znajek 機構 (B-Z 機構) がある。これは回転ブラックホール近傍で起こり得るペンローズ過程の一種で、磁場の力を借りたエネルギー抽出機構である。本発表では、どのようなメカニズムで B-Z 機構がブラックホールからエネルギーを抜きとるかを紹介する。

理論物理学研究室

0358 野原佑以 MG0414+0534 の重力レンズモデル

一般相対性理論によると、銀河やブラックホールなどの大きな質量を持つ天体があるとその影響で空間が歪み、背景にある天体の光がその空間に沿って進むため、光の経路が変化する。これこそが重力レンズ効果である。この重力レンズ効果による天体の像を解析することで、ダークマターによる重力効果を観測することが可能である。本研究では、MG0414+0534 について既存の解析ソフト glafic を用いて、レンズ効果によってできる像の位置について解析を行った。計算によって得られるレンズ像の位置が測定値と大きく異なるとき、レンズ天体による重力効果によって像の位置が変化している可能性が考えられる。本発表では、レンズ像の位置の解析結果とその解釈について報告する。

宇宙論研究室

0380 中山 晴喬 CMB の温度ゆらぎと大規模構造

宇宙の大規模構造は宇宙初期における暗黒物質 (ダークマター) の密度揺らぎと深い関係があると考えられている。138 億年前に起きたビッグバンの直後に放射された宇宙最古の光である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度にはゆらぎが存在している。光が重力ポテンシャルを通過するときに光のエネルギーが変化することで CMB の温度が変化している。今回は時間変化による重力変化に注目し、宇宙加速膨張の原因とされる積分 ISW (積分ザックス ウォルフ) 効果を考える。本発表では、一次と二次の積分ザックス ウォルフ効果に対し、CMB の温度ゆらぎがどのくらい温度が変化するのかを調べ、温度ゆらぎと大規模構造の相関について考察する。

0385 竹内 将人 4重像クエーサーの重力レンズモデル

光源と観測者の間に大きな質量の天体があると光源の光路が天体の重力によって変化する。天体がレンズのような働きをしている現象を重力レンズ現象という。重力レンズ現象による多重像を観測することにより天体の実際の位置や、ダークマターによる重力的效果がわかる。本研究では重力レンズの計算用ソフトウェア glafic を用いて解析を行った。観測値から理論値を引いた二乗値を観測誤差の二乗値で割ったものを観測の数だけ足し合わせた統計量を χ^2 (カイスクエア) という。モデルを特徴づけるパラメーターを変えることによ

て χ^2 の最小値を求め、レンズ像とソースの位置を決める。本発表ではレンズ像とソースの位置の結果とその解釈について報告する。

0343 南野 恵祐 特異等温球 (SIS) とコア有り SIS の重力レンズ効果

重力レンズとは天体からの光の経路が、その手前のレンズ天体の重力により曲げられる現象であり、その曲がり方はレンズ天体の質量により決定される。銀河などの広がった天体による重力レンズのモデルとして特異等温球 (SIS) モデルや特異等温球モデルにコアを加えたコア有り SIS モデルがよく使われている。光源とレンズ天体の位置関係が変わると像の個数や形状も変化する。この変化は重力レンズ方程式を解くことで求めることができるが、光源から直接レンズ方程式を用いて像を求めることはパラメータが多く非常に時間がかかり困難である。そこでレンズ方程式を用いて像から光源の位置関係を求め、その関係を利用し光源から像の座標を求める方法を用いる。本発表では、まず使用したプログラムについて説明し、次に特異等温球モデルでの像の変化、最後にコア有り SIS モデルでの像の変化について考察した結果を報告する。

0348 成岡 練 重力レンズクエーサー MG0414+0534 の連続波解析

フラックス比異常は、重力レンズ天体に対してレンズモデルを当てはめた際に導かれる理論上の位置と明るさのうち、明るさが観測と一致しない事を指す。4重像レンズクエーサー天体 MG0414+0534 は、このフラックス比異常を起こす天体として知られている。その解決策として、レンズ銀河中のサブハローが副レンズとして働く効果が考えられている。このサブハローの中には、可視光で観測されにくい暗黒矮小銀河があると言われている。他の解決策として、視線方向のハローによる弱い重力レンズ効果も考えられている。本発表では、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) 電波干渉計で観測された MG0414+0534 の連続波に対するビジビリティデータを用いて、CLEAN 解析による画像を作製し、新たに検出された天体の性質について報告する。

0342 村上 将大 四重極公式を用いた重力波計算

一般相対性理論によって時空の歪みが伝播するという現象である重力波の存在が予言されていたが、最近まで実際に検出されることもなく理論上のものとされていた。しかし、2015年にアメリカにある LIGO というレーザー干渉計によって重力波が検出された。重力波の発生源としてはシュバルツシルト解で表されるブラックホール同士の衝突や中性子星の合体、超新星爆発などが考えられているが、LIGOによって実際に検出されたものはブラックホール同士の合体によって生じたものとされている。本発表では、まずアインシュタイン方程式の自由度を調べることで重力波とはどのようなものかを述べ、次に重力波に関する理解を深めるため四重極公式を用いて重力波のエネルギーや角運動量について考察した結果を報告する。

素粒子論・重力理論研究室

0350 吉田大樹 T デュアリティ

卒業研究では弦理論の基本的なことを中心に学んできた。弦理論とは粒子を点ではなく、一本の弦として理論を構築していくものである。中間発表までは、ラグランジアン of 弦の運動を求めて、開弦や閉弦の場合を考察してきた。中間発表以降では、新たに相対論的な光錐弦や相対論的な量子開弦、量子閉弦について勉強してきた。また、自身の研究テーマである T デュアリティについても学んできた。T は輪環型 (toroidal) の意味であり、コンパクト化した空間がトーラス状になっている場合である。デュアリティとは、双対性のことで、互いに異なった記述を持つが、同じ法則を持つような二つの間の関係を表したものである。例えば閉弦理論の場合、どのような半径 R の値を持つ世界であろうと半径 R の世界と半径 α'/R の世界は区別できない。これらの世界を互いに関係づける双対対称性が存在するからである。今回の発表では閉弦の T デュアリティについて詳しく説明する。

0373 小野祐輔 弦の熱力学とブラックホール

弦理論とは世の中の基本構成要素を点粒子ではなく、空間に広がった弦と置き換えて考える理論である。弦理論では開弦と閉弦を考えることができる。閉弦では重力が発生する。ブラックホールは熱力学の法則に従うことが知られている。一般相対論ではこれを統計力学的に、あるいは量子力学的に説明できない。重力の量子論である弦理論でこのことを説明することを試みる。弦の熱力学は、弦の取り得る量子状態の数がエネルギーに対して指数関数的に増大するという性質がある。そしてボソンの開弦について有限温度における単一弦の分配関数を計算する。そこからどのようにしてブラックホールのエントロピーの統計力学的な導出に利用できるかを説明する。

0345 生田 啓之助 素粒子論と弦モデル

現在素粒子物理学には、標準模型と呼ばれる理論がある。それは、弱い相互作用と電磁相互作用、そして強い相互作用を含んでいる。しかし、重大な欠陥がある。それは重力を記述する一般相対性理論が整合的な量子論を与えないことである。そして標準模型の枠内からは計算することの出来ない基礎パラメーターが 20 個ほどあることである。それに対し自然界全ての力を統一する候補の弦理論がある。全ての力、粒子も統一される。弦理論では各々の粒子が、基本となる 1 つの微視的な弦の特定の振動モードによって現れるので、重力子を含めたすべての粒子を自然に組み込めるのである。私は素粒子物理に対する具体的な弦モデルについて研究した。本発表では標準模型と多くの特徴を共有する完全な弦モデルを構築する。このモデルは、対称性を破る前の標準模型に現れるすべての粒子を質量のない形で含んでいる。弦理論から素粒子の標準模型を再現することができる事が分かる。

0306 石本裕一郎 開弦の光錐量子化と D-ブレイン崩壊

卒業研究で、弦理論の基礎的な勉強を行ってきた。弦理論とは、粒子を点として捉えるのではなく、弦として捉える理論である。2種類の弦を考える。1つ目は、開いた弦であり、弦の端点が繋がっておらず、自由に振動することが出来る。2つ目は、閉じた弦であり、弦の端点が滑らかに繋がって自由に振動している。また、重力は閉弦の振動モードによって記述される。卒業研究では、開弦を扱い、光錐量子化を実行して量子化を行った。この結果を用いて以下の事について述べる。第一に、ここで扱うのはボソン弦であるが、ローレンツ不変性が成立しているためには、時空次元が 26 次元でなければならない。第二に、質量の 2 乗が負の値をもつタキオン粒子が現れて、D-ブレインが崩壊する可能性がある。

0311 山口大輝 ボソン弦の共变的量子化

卒業研究ではボソン弦の光錐量子化について学んできた。卒業論文ではボソン弦の共变的量子化について研究を行った。この卒業論文発表では弦理論とはどのような理論か、粒子と弦の関係を説明した後に、基本事項として、弦の満たす方程式とはどんなものか、境界条件は何かなどを明らかにして、古典的運動を説明する。そして、弦理論のハミルトニアンは量子力学の調和振動子と密接な関係があることを述べて、共变的量子化とは何かを説明して量子化を行い、その結果としてタキオン(虚数質量粒子)が現れることを説明する。それが満たす方程式について述べる。これは光錐量子化のタキオンの方程式と全く同じ形式をとっている。今後の展望として、現在の弦の共变的量子化の研究について述べる。

原子分子物理学研究室

0358 長谷川 瑛亮 テルル化カドミウム (CdTe) 検出器のガンマ線検出特性に関する研究

X 線や γ 線検出のための半導体検出器として、これまで Si や Ge の半導体が使用されてきた。しかし、Si は原子番号 Z が小さいので 0.1MeV 以上の光子に対し検出効率が低く、一方 Ge は高い検出効率と優れたエネルギー分解能を持っているが、バンドギャップが小さいため低温でしか動作しない。そこで本研究では、近年応用研究が進みつつあり、バンドギャップが大きく常温でも測定可能で高 Z 物質からなる化合物半導体検出器 CdTe の γ 線に対する検出特性を調べた。標準線源として ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{241}Am を用いて、

それぞれの γ 線スペクトルを測定し、種々の全エネルギー吸収ピークのピーク位置や半値幅を求めて、エネルギー較正や分解能を評価した。さらに、方トリウム鉱などの岩石やマントルなどの天然のトリウムやウランの入った試料の測定も行った。

0367 手操 一成 Si PIN フォトダイオードのガンマ線に対する検出効率改善のための基礎研究

^{137}Cs からの 0.662MeV の γ 線を Si PIN フォトダイオードでコンプトン効果によって検出が可能であることが先行研究で明確になった。しかし、空乏層が薄く原子番号の小さい Si ダイオードでは検出効率は低い。そこで本研究では、安価な Si PIN フォトダイオード (S6775) を複数個用いてスタック様 Si 検出器を構成し、散乱 γ 線を捕まえることによって検出効率の向上を目指した。そのために必要な信号読み出し系の基本回路の検討を行った。高性能のデュアル OP アンプ LMC662 を用いてチャージアンプと反転増幅回路からなる一般的な回路を試作し、赤外線に対しての動作を確認したが、 γ 線に対してはノイズを超える信号を得ることが出来なかった。浜松ホトニクスハイブリッド IC (H4083) も同様な結果であった。そこで、クリアパルスのハイブリッド IC (CS507) を 4 個用いた回路を構成し、その動作試験を行った。

0315 浅井 俊輝 フロン系分子との衝突における低速軽元素イオンの電荷移行断面積に関する研究

フロン系ガスは、大気圏のオゾンを減少させオゾンホール形成に関わり、また高い温室効果による地球温暖化への悪影響が取り沙汰されている。一方、太陽から太陽風というプラズマ粒子が放出され、地球磁気圏でオーロラを発生させている。オーロラの発生は主として電子衝突による大気分子の励起によるが、部分的に陽子線も関わっていると言われている。そこで本研究では、昨年度に引き続き、四フッ化炭素や六フッ化硫黄との衝突における低速の陽子線やヘリウムイオン線に対する電荷移行衝突の研究を行った。まず、2009 年から 2016 年までの本研究に関する文献調査を行ったが、断面積データに関する新たな文献は見当たらなかった。また、成長率法に基づき 0.20 ~ 4.0keV のエネルギー領域で測定されたデータの解析を行い、電荷移行断面積を求めてそれらの評価を行った。

0317 岡 俊樹 PIG イオン源による SF₆ プラズマから引き出されたイオンの質量スペクトルの観察

木星の衛星イオは火山活動があり、硫化物の火山性ガスが宇宙空間に放たれ、イオの木星周回軌道に沿って硫黄イオンを含むプラズマがトーラス状に形成されている。さらに木星の強い磁気圏がこれらのイオンを加速し、木星のオーロラや X 線の発生に電子と共に関わり、またこれらのイオンから電荷移行反応によって高速の中性粒子線が生成しているとも考えられている。そこで当研究室では、六フッ化硫黄 (SF₆) ガスや高温下での硫黄粉末蒸気を電子衝撃型イオン源でイオン化する方法が検討されたが、十分な強度の硫黄イオンを明確に得るまでには至らなかった。そこで本研究では、先行研究で試作された PIG 型イオン源を用いて、SF₆ をより高エネルギーの電子でイオン化し、引き出されたイオンのスペクトルを観察した。そのために USB 規格の任意波形発生器と AD コンバータを用いて、ノート PC で制御する可搬型の質量分析計測システムも構築した。

素粒子・宇宙物理学研究室

0327 山口 優作 CTA LST R&D AMC システム用アンテナシミュレーション

CTA 計画の大口径望遠鏡 LST には構造支持体に AMC システムの為にアンテナと分割鏡が取り付けられている。分割鏡には向きの制御が行えるアクチュエータが二つ取り付けられており、このアクチュエータで設計時の位置に分割鏡を保つ位置補正を行う。PC に取り付けられているアンテナとアクチュエータの通信の電波強度は距離や角度によって変化する。そのため通信が上手くいかずアクチュエータが分割鏡を制御できない

い可能性がある。どのアクチュエータにも安定して通信を行うために、現在実験で使用しているアンテナの電波の指向性や電波強度についてアンテナシミュレーションソフトを用いて検証と確認するとともに、より良い通信ができるアンテナをシミュレートする。このシミュレーション結果と実際のデータを考慮して LST に設置する向きや位置の決定に役立てる。本発表ではその結果について報告する。

0352 李 健 CTA LST R&D AMC システム用通信モジュールを用いた電波強度実験

LST には 198 枚の分割鏡が取り付けられ、能動的ミラー制御 AMC システムが実装されている。そのシステムは、LST 用 PC から駆動装置アクチュエータに信号を送り、現在位置の確認ならびに制御を行う。気候、風圧により分割鏡の歪みが生じる可能性がある。また観測天体が出現した際に LST は出来るだけ早く天体に向けるため、安定な通信が必要である。LST に使用される通信モジュールは XBee である。PC とアクチュエータに XBee を実装し、無線で接続する。その時、通信距離や LST に使用されるフレーム構造による信号の干渉や遮蔽があって通信が途切れる可能性もある。そのため、安定した接続を維持する必要があり、安定にする条件を確認する。実験は PC 側にアンテナを実装し、反射の影響が少ない室外で行う。本発表は PC 側のアンテナの位置関係と角度による、通信中の電波強度の変化を確認する。また XBee は様々なタイプがあり、電波強度の一番良い組み合わせを検証した結果を報告する。

0301 古市 雄太 CTA LST R&D AMC システム用アンテナ固定ジグ製作

CTA 計画における大口径望遠鏡 LST は、総数 198 枚の分割鏡を 1 グループ 11~13 枚とし、分割鏡に取り付けられているアクチュエータにアンテナから電波を送ることで制御を行う。そのために、LST の背面に設置されているカーボン製のチューブ (CFRP) にジグを設置してアンテナを固定する。しかし、CFRP には電波遮蔽性があり、アクチュエータと通信モジュール間の通信における電波強度に影響があることが懸念されることから、アンテナを固定する位置に配慮して設置する必要がある。これらの問題点を踏まえて、アンテナ固定ジグを制作する際のコンセプトは、ジグの耐天候や加工性、CFRP を傷つけないこと、10 年を超える耐久性などに配慮した。このコンセプトに則ってアンテナ固定ジグを考察し、その中でより良いものを一つ設計して製作を行った。本発表では製作したアンテナ固定ジグにおける評価及び今後の展望を報告する。

0346 中島 侑哉 CTA LST R&D AMC システム用アクチュエータ XBee 受信強度の検討

AMC (能動的分割鏡制御) システムは、アンテナからアクチュエータに内蔵される XBee に電波を送り、分割鏡に取り付けられているアクチュエータを動かすことにより、望遠鏡の自重や風圧、温度変化により分割鏡一枚一枚に生じる歪みを補正することを目的としたシステムである。大口径望遠鏡 LST は、16 のクラスターに分かれており、クラスター一つ当たりの 11~13 枚の分割鏡を一つのアンテナから XBee に電波を送る方法でそれぞれのアクチュエータを動かし、分割鏡の補正を行う。XBee の受信強度は、アンテナとの角度に大きく依存している。アンテナの位置から分割鏡に対して垂直に下ろした点からアクチュエータまでの距離を求めることにより、角度を算出することが可能となる。その角度から、アンテナからの距離が一番遠い XBee と一番近い XBee の受信強度を求め、全ての XBee に電波が安定して届くことを調べた。本発表では、その結果について報告する。

0383 松本 知佳 UHE γ 線の電磁カスケードシミュレーションによるチェレンコフ光の研究

TeV のエネルギーを持つ超高エネルギーガンマ線 (UHE γ) は、大気に入射すると大気中の原子核と電磁相互作用をして、電子・陽電子対を生成する。これらの生成した高エネルギー電子は、原子核の電場によって加速度を受けて制動放射を起こし、新たにガンマ線を放出する。この過程を繰り返すことで粒子数が増加する現象を電磁カスケードという。また、電磁カスケードによって生成された荷電粒子の飛跡に沿って、粒子の通過物質からチェレンコフ光が放出される。CTA 計画はこのチェレンコフ光を観測することで、従来

の装置の 10 倍以上の感度を達成し、20GeV ~ 100TeV までのエネルギー領域を観測する UHE 線天文台の建設を目指す国際共同プロジェクトである。本研究では 250GeV ~ 100PeV のエネルギーを持つ UHE 線に対して電磁カスケードの本質を抜き出し、複雑な過程を簡素化したトイモデルでシミュレーションを行い、地上でのチェレンコフ光の広がりを調べた結果について報告する。

033 仙頭 明奈 連星パルサーによる一般相対論の検証

重力波 GW150914 の直接的観測に世界で初めて成功したと 2016 年 2 月にアメリカの LIGO 研究グループが発表した。重力波は一般相対論が予言する物理現象の一つであり、コンパクト連星（中性子星やブラックホール）の公転とその合体、超新星爆発、中性子星の自転などから発生すると予想される。重力波の存在は、1974 年に R.Hulse と J.Taylor により間接的に証明されている。彼らは PSR 1913+16 の公転周期を測定し、その変化が重力波放出による連星系のエネルギー減少のため公転周期は短くなるという一般相対論の予言と精度良く一致することを示した。本発表では、重力波とはどのようなものかについて述べ、連星パルサー PSR 1913+16 の観測結果が一般相対論の予言に一致しているかを、1975 年から 2013 年までのデータを基に行った研究の検証を報告する。また、PSR 1913+16 以外の一般相対論を検証しうる連星パルサーのいくつかの例を紹介する。

0361 松本 紗英 コンパクト連星合体による重力波 観測波形・理論波形の考察

アメリカの重力波研究グループ LIGO は 2016 年 2 月、世界で初めて重力波の直接観測に成功したことを発表した。重力波とは、波として光速で伝播する時空の歪みのことを言い、1916 年にアインシュタインが一般相対論から予言した。LIGO が行った解析方法は、観測波形と数値計算による理論波形を比較し、互いが精度よく一致する理論波形から重力波の特徴を調べるマッチド・フィルタリングというものである。本研究では観測波形とともに理論波形を再現することで重力波の特徴を深く理解できると考え、重力波源の一つであるコンパクト連星合体に着目した。コンパクト連星合体直前の Inspiral 段階は、重力波を放出しながら軌道半径を減少させ、振幅が徐々に大きくなるチャープ波形で描かれる。実際に観測器が得る信号は、重力波の四重極変化を表す二つの偏波及びアンテナパターンの線形結合で表される。本発表では、重力波観測の概要、理論波形の再現・考察を報告する。

素粒子実験研究室

0371 奥川 幹也 シミュレーションによる GEM を用いたガス検出器での電子増幅率の評価

GEM(Gas Electron Multiplier) を用いた荷電粒子の飛跡を検出するガス検出器の研究を行っている。GEM における電子の増幅率を正しく理解するためには、シミュレーションによる増幅率の評価が重要である。そのために GEM のモデルを用いた検出器モデルを作成し、電離電子の振る舞いをシミュレートするソフトを用いて評価する。今回の実験では近畿大学の GEM モデルをソフトウェアを使って、シミュレーションでの再現を目標としている。先行研究では実際の GEM をもとにシミュレーションで電子の増幅率の再現を試みたが実際の増幅率 2000 に対し、シミュレーション結果 30 と再現は失敗に終わった。今回なぜ再現できなかったのか、また増幅率の再現を試みたシミュレーションについて説明する。

0332 岩崎 聡 LabVIEW を用いたガス検出器のモニタリングシステムの構築

荷電粒子の飛跡を検出するガス検出器の研究を行っている。ガス検出器の測定原理は検出器内のガス分子を電離して電子を生成し、これを増幅させることで電気信号として読み出すものである。そこで電子の増幅率が非常に重要となる。しかし検出器内の環境（温度、圧力、酸素濃度など）が変化することで増幅率に影響を与えてしまう。なぜなら、増幅させる過程において一定方向に電子をみつめなければならない。温度が高いと熱エネルギーによる運動で時間とともに広がってしまうからである。この環境の変化を同時にモニタ

リングすることで増幅率の変動を理解することができる。そこで本研究はこれらのデータを一括管理してモニタリングするために、計測制御解析用ソフトウェア LabVIEW を用いて、同時に複数データを取得できるモニターを構築する。今回は実際に作製したモニターについて紹介する。