

平成26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27年2月7日(土) 09:00 ~ 17:00
31号館401教室, 402教室

プログラム

31号館401教室

●09:00 ~ 09:02 開会の辞：太田先生

31号館401教室 (2 ~ 6 ページ)

- 09:05 ~ 10:25 午前の部 1 (座長：加藤先生)
01 素粒子・宇宙物理学研究室 (千川：5名)
- 10:25 ~ 10:35 休憩
- 10:35 ~ 12:10 午前の部 2 (座長：井上先生)
02 素粒子実験研究室 (加藤 2名)
03 原子分子物理学研究室 (日下部：4名)
- 12:10 ~ 13:10 休憩
- 13:10 ~ 14:30 午後の部 1 (座長：石橋先生)
04 素粒子論・重力理論研究室 (太田：5名)
- 14:30 ~ 14:40 休憩
- 14:40 ~ 16:30 午後の部 2 (座長：太田先生)
05 一般相対論・宇宙論研究室 (石橋：5名)
06 宇宙論研究室 (井上 2名)

31号館402教室 (6 ~ 10 ページ)

- 09:10 ~ 10:30 午前の部 1 (座長：近藤先生)
07 低温物理学研究室 (増井：5名)
- 10:30 ~ 10:40 休憩
- 10:40 ~ 12:00 午前の部 2 (座長：増井先生)
08 表面科学研究室 (近藤：5名)
- 12:00 ~ 13:10 休憩
- 13:10 ~ 14:30 午後の部 1 (座長：笠松先生)
09 生物物理学研究室 (矢野：2名)
10 ソフトマター物理学研究室 (堂寺：1名)
11 理論物理研究室 (中原：2名)
- 14:30 ~ 14:40 休憩
- 14:40 ~ 16:30 午後の部 2 (座長：堂寺先生)
12 物性理論研究室 (笠松：3名)
13 凝縮系物理学研究室 (松居：4名)

・発表時間 10分、質疑応答 5分。交代すみやか。

・ベルは発表経過時間 7分、10分、12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31-401に集合。3、4年生は最後まで参加すること。

31号館401教室

- 16:45 ~ 16:59 総評：矢野先生 (402教室) & 石橋先生 (401教室)
 - 16:59 ~ 17:00 閉会の辞：松居
-

●17:30 ~ 卒業研究判定会議

●18:00 ~ 19:30 卒業研究発表祝賀会 カフェテリア・ノベンバー (11月ホール地下) (4年生&教員で楽しむ)

■ 01 素粒子・宇宙物理学研究室 (千川)5 名

0352：清水 翔太「CTA 全体の概要」

ガンマ線観測の現状は、HESS や MAGIC などの望遠鏡が、稼働しており、100 近くの超高エネルギー (VHE) ガンマ線の発見がされている。CTA 計画は、大規模な TeV ガンマ線望遠鏡群により、現在の望遠鏡より一桁以上高い感度と、より広い光子エネルギー領域を観測しようとしている。実現すれば、1000 以上の TeV ガンマ線天体の発見が期待され、単にガンマ線の観測のみならず、宇宙の様々な場所で起きている様々な高エネルギー現象のすべてが CTA の研究対象とされている。場所は、莫大な土地が必要なので候補地が絞られている。その中で調査、交渉が行われている。この計画では 3 種類の望遠鏡が用いられ、大口径望遠鏡、中口径望遠鏡、小口径望遠鏡という。それぞれに観測目的のエネルギー範囲が決められており観測されるガンマ線が異なる。現在の日本では、大口径望遠鏡についての研究を進めている。近畿大学では、Active Mirror Control(AMC) システムと鏡とアクチュエータを繋ぐ接着剤について研究している。

0349：岩本 浩平「CTA 大口径望遠鏡 AMC システム R&D アクチュエーター制御プログラム開発」

鏡を支持する構造体に生じる歪みで観測データの質を落とさないように、歪みに応じて鏡の角度を調整するシステムを AMC システムという。歪みの原因としては装置の自重や風圧、気温などがあげられる。AMC システムとは、Active Mirror Control(AMC) システムのことで、LST の分割鏡 198 枚それぞれに取り付けられた 2 つのアクチュエータ、計 396 個を制御するシステムである。このシステムにより全ての分割鏡の向きを独立に補正し、制御することができる。これより観測データの質を向上させるためには、AMC システムの研究及び開発が必要不可欠と言える。本発表では LinuxPC を用いた位置の読み込み及び動作をさせるプログラムの研究及び開発超小型コンピュータ RPi(Raspberry Pi) を用いたアクチュエータの制御 AMC システムの達成目標及び今後の展望について報告する。

0322：恩智 克弘「CTA 大口径望遠鏡開発 R&D 「Raspberry Pi を用いたレーザー位置検出システム」

LST は、自重・風圧・気温によって構造体に歪みが生じ、光軸の向きが変化する。この変化は AMC システムを用いて補正を行うが、レーザーとカメラを用いて、どの程度光軸の向きが変化したのかを検出する必要がある。検出する方法は、LST の中心に取り付けられたレーザー (基準点) と各分割鏡に取り付けられたレーザー (調節点) をカメラで撮影し、その画像を画像処理し、解析を行うことで可能となる。本研究では、LST があると想定し、用意したレーザーとカメラを用いて実験を行った。光軸の向きの変化が検出でき、AMC システムを用いて補正を行う際、1 つの PC で 198 枚の分割鏡を 1 枚 1 枚動かすには時間がかかるので、クラスター化を行う必要がある。そこで、超小型コンピュータ RPi を用いて、それぞれのアクチュエータを制御することで、短時間で光軸の向きを補正することが可能となる。本発表では、RPi を用いて、光軸の向きの変化を検出する画像処理プログラムについて述べる。

0326：岡本 健太「CTA 大口径望遠鏡開発 R&D 接着剤の引張り強度試験 接着面積及び硬化時間依存性」

CTA 計画で日本が担当している大口径望遠鏡において、分割鏡と支持体を固定する際に使用される接着剤の強度実験を行った。実験目的は、接着面積による剪断強度の変化と最大硬化するまでに要する時間を最適化することである。これは、1 枚約 50kg の重さがある分割鏡 198 枚を砂漠という特殊な環境で 10 年以上支え続ける必要があるため、より強力で接着できる条件が求められるためである。中間発表で報告したものよりも精度を高め、より多くのデータを得た。また、今回は接着剤を塗布した厚みについての考察も行った。実験方法は JIS 規格の接着剤の強度試験を参考にした引張り剪断試験である。本実験ではエポキシ系接着剤「E-60HP」を使用し、接着剤の塗布面積依存性と硬化時間依存性を確かめた。試験の結果「E-60HP」は CTA 計画で求められる強度を十分に満たしていることが得られ、CTA-japan に報告も行った。それらを踏まえ結果と考察、そして今後の展望を発表する。

0359：本田 真也「CTA 大口径望遠鏡開発 R&D 接着剤の引張り強度試験 温度依存性」

CTA プロジェクトに用いられる LST の分割鏡の製作、分割鏡とアクチュエータを固定する際に、エポキシ系接着剤「E-60HP」が使用されている。エポキシ系接着剤は加熱することによって、接着強度が強くなる特長がある。前述の室温硬化実験よりも強い接着力を得るために、接着剤の温度依存性実験を行った。試料(アルミ片、アルミ片)を電気炉で加熱する時間と温度を変化させた際に、最も強い接着力が得られる硬化条件を調べるものである。☑接着後すぐに加熱硬化させた後、電気炉内で 24 時間放置☑室温で 24 時間硬化後、加熱させた場合の実験を行った。二種類の実験より、接着後すぐに 93℃で 2 時間加熱硬化させた後、電気炉内で 24 時間放置させた時の硬化条件が

LSTの製作においては最適であることが分かった。発表では温度依存性実験の詳細と結果、今後の目標について報告する。

■ 02 素粒子実験研究室 (加藤)2名

0380：中野 忠明「MPPCを用いたシンチレーションカウンターのノイズ低減」

荷電粒子が粒子飛跡検出器内を通過したことを測定するトリガーカウンターとして、MPPC (Multi Pixel Photon Counter) とシンチレータを組み合わせた検出器を当研究室で用いている。過去にこのカウンターを GEM (Gas Electron Multiplier) を用いた粒子飛跡検出器のトリガーカウンターとして使用した際、GEMでの放電の発生と同じタイミングで何らかのパルス的なノイズが発生し、トリガー信号と混同してしまった。このノイズの原因は特定できていないが、本研究ではこの信号の発生原因を、ケーブル等からではなく MPPC 動作回路部から侵入した空気放電によるノイズと予想した。本研究ではそのノイズを低減する対策として MPPC 動作回路部への新たな遮蔽シールドの設置を考案した。そして実際に回路部に遮蔽シールドを設置し、設置後のノイズレベルを設置前と同様に測定し比較することによって遮蔽シールドの性能を評価した。最後にシールド設置後も混ざるノイズについて考察した。

0334：柳井 優花「トリガーカウンターによる計数率の距離依存性」

トリガーカウンターとは検出器の周囲に配置され、検出した信号を観測することで荷電粒子が通過したか否かを判断し検出器内を通過した粒子の測定を行うのに用いられる。研究室ではシンチレータと MPPC (半導体光検出器) を用いたトリガーカウンターを使用している。理想的なシンチレーションカウンターは、どの位置に荷電粒子が通過しても同じ大きさの信号を発生する。しかし荷電粒子の通過が MPPC から遠いと、シンチレータやファイバー内で光が減衰し MPPC が受け取る光量が減り出力信号が小さいことがある。出力信号がしきい値以下だと荷電粒子が通過しても検出されずトリガーカウンターの計数率は入射位置に依存してしまう。そこで、トリガーカウンターの計数率の距離依存性を β 線源を用いて測定し評価したところ、ファイバー方向では MPPC から離れた位置での計数率は近い位置に比べ約 20% の減少があり、垂直方向にはほとんど減衰がなかった。

■ 03 原子分子物理学研究室 (日下部)4名

0335：李 東明「Si PIN フォトダイオードのベータ線に対する検出特性について」

これまでに当研究室では、浜松ホトニクス社の Si PIN フォトダイオードの γ 線に対する検出特性について調べてきた。フォトダイオードは可視光の検出を目的として製作されており、通常は Si 層本体を保護するプラスチック等で覆われている。ところが、S3590-09 などでは検出面が露出しており、これらは α 線の検出にも利用されている。しかし、これらのダイオードの 0.3mm という空乏層厚は、 β 線にとっては必ずしも厚いとはいえない。そこで本研究では、有効面積 100mm² の S3590-09 と 324mm² の S3204-09 について、種々の β 線源を用いて β 線のスペクトルを測定し、 β 線の最大エネルギーに対する検出限界を検討した。¹³⁷Cs からの内部転換電子線や、²⁴¹Am や ¹³³Ba からの低エネルギー γ 線による全エネルギー吸収ピークの測定データも、波高分析器のチャンネル数と入射放射線のエネルギーとの関係を作成するのに補足的に用いた。空乏層厚が 0.5mm 厚のキャンベラ社の PIPS 検出器の同様な測定結果とも比較検討された。

0339：木本 圭祐「永久磁石を使用した小型多価イオン源の開発 V」

－ Dresden EBIS/T の電磁場および電子ビーム軌道解析 －

1997年に当研究室では、強力なリング状永久磁石1個を用いた小型の多価イオン源 (micro-EBIS) を開発し、7価の Ne や 11 価の Ar イオンなどが引き出されて、keV 領域で多価イオン衝突の研究が行われた。この micro-EBIS をさらに発展させるべく、ミュンヘン大学の電磁場解析ソフト (μ -Excel) を用いて、EBIS 型イオン源内の電子ビームの軌道解析が行えるようにされた。一方、ドレスデン工科大学では、リング状永久磁石2個からなるミラー磁場を用いて小型多価イオン源を開発し製品化 (Dresden EBIS/T) している。当研究室ではこれまでに、多価 Li イオン源の開発を視野にこの Dresden タイプの小型 EBIS を設計し、電極等のパーツを製作している。本研究では、これらを組立、イオン源の中心軸方向の磁束密度の測定を行った。また、最新の μ -Excel 内でモデル化し、磁場の解析を行い測定結果と比較検討した。さらに、今後の改良に役立てることを目指して、 μ -Excel 内で電極の電位を設定し、電子銃から出射した電子ビームの軌道解析も行った。

0343：中川 恵介「低速イオン衝突実験装置の改良 I」

－ 高電圧増幅器を利用したステアリング用可変直流電源の試作 －

イオンビームの軌道調整には一般に平行板電極が用いられる。正負絶対値の等しい可変直流電源を用いると、直進

するイオンビームは常に電位ゼロの地点を通り電場の乱れの影響を軽減できる。イオン源からの引出電圧によって上下左右のどちら側に偏るかは不明なので、正負の逆転も連続して行えば便利である。これまでに、約30年前に花木氏によって開発された電源回路等が作成された。しかし、この回路は多数のトランジスタ等が使用され複雑で、また代替品の確保も困難になってきた。そこで本研究では、マックエイト社の高電圧増幅IC (MN1-V11) またはAPEX社の高電圧OPアンプ (PA340CC) を用いて、簡単な回路でコンパクトに製作できるかを検討した。その結果、MN1-V11は、制御部と出力部を絶縁する必要のあることがわかり、今回の目的には適さないと判断された。一方、PA340CCでは通常のOPアンプと同様な動作を確認し、目的とするステアリング用可変直流電源を構築することができ、問題点も整理した。

0376：土井 景市「低速イオン衝突実験装置の改良 II

－ 超低周波リニヤースウィープを利用した質量スペクトル計測システムの整備 －

アナログ電気信号の測定において、近年ではデジタル化が進みパソコン (PC) に取り込めるようになってきている。しかし当研究室では、イオン源から引き出されたイオンビームの質量分析を行う場合、電磁石の励磁電流電源に制御電圧を与え、それをX-Yレコーダーの横軸に、また、検出器からのパルス信号の計数率計によるアナログ出力電圧を縦軸に送って、質量スペクトルを方眼紙に描かせてきた。この方法は極めて時代遅れである。ところで、電磁石の制御電圧は長周期三角波発生器を用いて自動掃引が可能となっているが、掃引スピードがまだ速く、質量スペクトルの細かいピークを十分精確に描けない状態でもある。そこで本研究では、最新の超長周期発信器を用いて励磁電流電源の制御電圧を自動掃引し、計数率計からの出力信号と共に、これら二種のアナログ信号をアナログ-デジタル変換 (ADC) ボードを介してPCにデジタルデータとして取り込む計測システムの整備を行った。

■ 04 素粒子論・重力理論研究室 (太田)5名

0343：浦 佳樹「南部・ゴールドストーンの定理とヒッグス機構について」

現在確認されている力は重力、電磁力、弱い力、強い力の4種類ある。強い力は量子色力学で記述され、SU(3)の理論になっている。この理論では3色あるクォークの色を区別することはできず、それはクォークが単体では観測できず常に無色になるように束縛されているということの理由になっている。弱い力と電磁力をまとめた電弱統一理論はSU(2) × U(1)の理論になっていて、これは電子と電子ニュートリノなどのペアが区別できないという理論になっている。このままではこれらの粒子は質量をもたない。しかし現実には電子と電子ニュートリノは電荷も質量も違って明確に区別することができる。これを解決するのがヒッグス機構である。本論文では対称性が破れることによって必然的に0質量の粒子が生成されるという南部・ゴールドストーンの定理と、ヒッグス機構によってゲージ粒子が質量を得る仕組みについて説明する。

0329：鍋島 良太「電弱統一理論」

素粒子には強い相互作用:SU(3)、弱い相互作用SU(2)、電磁相互作用U(1)、重力相互作用の4種類の相互作用が存在する。標準理論はSU(3) × SU(2) × U(1)による三つの相互作用を統合したものになっている。本論文ではゲージ原理によりラグランジアンが不変であることを示し、SU(2) × U(1)を統合した電弱統一理論について説明していく。弱い相互作用ではWボソンが電荷に依存しているので電磁相互作用と統一して理論を考え、W,Zボソンには質量が存在するのでこのことを説明するにはヒッグス粒子を導入する必要がある。その結果、電弱統一理論ではヒッグス機構が働き、WやZは質量をもつと考えられている。その統一によって弱い相互作用に関する散乱断面積を含む物理量の計算が量子論的に可能になる。

0345：外谷 陽佑「GIM機構について」

この卒業論文では、卒業研究で学んでいったことを中心にまとめる。卒業研究では、素粒子論について学んできた。その中でも、素粒子物理学の重要な機構であるGIM機構について記述する。GIM機構は1970年に提案された。当時、クォークは、u、d、sまでしか発見されてなかった。弱い相互作用と、電磁相互作用を統一した電弱統一理論 (ワインバーグサラム理論) をクォークまでに拡張するが、単純に拡張すると実験的には生じないフレーバーを変える中性カレント相互作用が発生してしまう。これを妨げるようにするのがGIM機構である。そのためには、cクォークを導入する必要がある、実験との対比をすることでcクォークの質量が予言された。中性カレントの崩壊現象を、理論的に発展させていくことで、式の形を見るだけでGIM機構が、どのようなものか理解出来るようになる。

0335：藤原 正成「WIMPSとその制限」

現在の宇宙に存在する物質の約8割は、電磁相互作用をしない暗黒物質で占められていると考えられている。暗黒物質の存在を示す間接的証拠はいくつもあるが、その正体はまだ明らかになっていない。現在、世界中で暗黒物質

を直接検出しようとする実験が行われている。その候補のWIMPs(Weakly Interacting Massive Particles) WINPsとはなにかを説明し、その直接検出実験の概要を説明する。そのうちの1つにXMASS実験があり、液体キセノンを用いてWIMPsの直接検出を行う。このような直接探索実験では、バックグラウンドを少なくして、ごくまれに起きる暗黒物質と通常の原子核との反応からの信号を検出する。その結果を参考にする。実験から得られた結果をもとにWIMPsの質量を含むパラメータに対する制限をまとめる。

0350：鈴衛 健登「ニュートリノ振動」

ニュートリノには電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノの3種が存在し、これを3種のフレーバー（香り）という。ニュートリノの質量は（存在するとしても）極めて小さく、直接その質量を測定することができずにいたため、かつての標準理論ではニュートリノの質量は0であるとされてきた。しかし近年の研究でニュートリノには質量があるという間接的な証拠が確認された。それが「ニュートリノ振動」である。核反応で発生したある種のニュートリノが長い距離を移動する間に、別種のニュートリノに変化、回帰を繰り返すのである。これはニュートリノの種類によってごくわずかな質量差があるために、質量の混合状態に波の位相のずれが生じて干渉を起こし、別の香り成分が現れるという現象である。本卒業研究ではニュートリノ振動を主な研究テーマとし、ニュートリノ質量についての議論を深める。

■ 05 一般相対論・宇宙論研究室 (石橋)5名

0360：寺島 勇輝「シュバルツシルト時空とパーコフの定理」

アインシュタインの一般相対性理論は重力場の相対性理論です。その基礎方程式であるアインシュタイン方程式は、時空がどのような計量テンソルをもつかを決める方程式であり、万有引力の法則を拡張することによって導かれました。この方程式の解として最初に発見されたのが、真空中で球対称かつ時間的変化のない時空の重力場を表すシュバルツシルト解です。この解は最も単純なブラックホール時空を記述しており、アインシュタイン方程式の様々な厳密解の中でも特別重要な地位を占めています。今回の発表ではシュバルツシルト解と、真空・球対称では局所的にはシュバルツシルト解になるというパーコフの定理を高次元の場合に拡張した結果と、球面以外の形状のブラックホールへの一般化について説明します。

0318：上田 萌「粒子の軌道によるブラックホール時空探査」

一般相対論によると、宇宙には光すらのみこむほど大きく時空を曲げ、遠方の観測者からみるとその周辺では時間が止まって見えるほど強い重力場を作り出す天体が存在する。ブラックホールと呼ばれるその様な天体の最も簡単で重要な例は、シュバルツシルト時空である。時空の基本性質はその時空上での粒子の運動を調べる事で理解できるが、特にシュバルツシルト時空の場合には、ニュートン力学において惑星の軌道を力学的エネルギー保存則を用いて調べるのと同様の方法で理解できる。シュバルツシルト時空上での粒子の運動を、ニュートン力学における惑星の運動と比較することで、非常にわかりやすく相対論的效果を観ることが出来る。今回はこの手法を高次元ブラックホール上での粒子の運動の場合に拡張し、高次元時空での不安定性について考察する。

0311：音田 悠貴「ブラックホールの熱力学」

ブラックホールは、光さえも脱出できずに全てがその中に落ちていくほど重力の強い天体です。その特徴からブラックホールは周囲の物体を呑み込んで成長し大きくなることはあっても小さくなることはありません。この特徴は熱力学第二法則（エントロピー増大則）の概念に通ずるものがあります。するとブラックホールの性質にはその他の熱力学第零、第一法則に対応するものもあると予想されます。前回の発表ではブラックホールの中でも最も単純なシュバルツシルト・ブラックホールに対する熱力学の第零、第一、第二法則について考察しました。今回はより一般的なブラックホールであるカー・ブラックホールに対する熱力学について考察します。特に、カー・ブラックホールを特徴づける角運動量がブラックホール熱力学の第一法則において果たす役割について議論します。

0358：中村 勇作「重力と電磁気学」

自然界の力の内、マクロなスケールで働く力には電磁気力と重力があります。例えばクーロン力、万有引力ともに距離の2乗に反比例するというように、この2つの力には非常によく似た性質があります。しかしマクスウェル方程式から導かれる電磁波に対応するものがニュートン力学における重力には存在しません。これはニュートンの万有引力の法則が相対論的ではないからです。そこで一般相対論まで考えを拡張すると、アインシュタイン方程式から電磁波に対応する重力波というものを導くことができます。電磁気学での電磁波の放射現象については電気双極子放射を用いることによって説明できます。それと同様に重力側でも重力波の発生メカニズムについて多重極展開を用いて説明できます。今回の発表では、電磁気と重力を比較しながら電磁気学と一般相対論、それぞれにおける波動現象について考察します。

0365：西本 英里菜「宇宙の等方性とビッグバン特異点」

高温・高圧の状態から膨張したとする現代の宇宙像は、空間が一様等方だとする仮定のもと、一般相対論を用いて記述されます。このような一様等方宇宙モデルは過去に遡れば必ずビッグバン特異点をもつことが分かります。しかし現在の宇宙は銀河や銀河団などの構造をもち、完全に一様等方ではありません。非一様性、非等方性を考慮した際、初期宇宙で何が起るのか、ビッグバン特異点は存在するのかといった疑問が生まれます。このような動機から、卒業研究として等方性の仮定を外した一様非等方宇宙モデルを調べています。今回の発表では、一次元の方向のみ等方性をはずし、真空の場合と宇宙項 Λ のみを含む、2つの独立なスケール因子をもつ宇宙モデルについて考察します。

■ 06 宇宙論研究室 (井上)2名

0313 小西 翔太「宇宙マイクロ波背景放射を用いた宇宙のトポロジーの制限」

現代宇宙論では、一様等方宇宙を記述する FLRW モデルが採用されており、宇宙の平均エネルギー密度とハッブル定数の値により宇宙の曲率が決まる。観測値から宇宙はゼロ曲率に近いと考えられている。しかし、誤差を考えると正曲率や負曲率である可能性も否定できない。正曲率の空間は閉じているが、ゼロ曲率や負曲率の空間は開いている。しかし、もし宇宙が「形」を持つならば、ゼロ曲率や負曲率でも閉じさせることができる。この「形」をもつ空間を多重連結空間という。もし宇宙の空間成分が多重連結であれば、全天における宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度揺らぎの相関をとることで宇宙の「形」や有限性について制限をつけられる。本発表では、はじめに FLRW モデルと宇宙の多重連結性やトポロジーの関係について説明し、次に WMAP 衛星で観測された CMB 温度揺らぎを用いた解析結果について発表する。

0344 杉江 剛典「電波干渉計による観測データを用いた画像作製のシミュレーション」

天体は可視光だけでなく赤外線や X 線など様々な電磁波を出している。その内電波を観測する電波望遠鏡の一つとして電波干渉計がある。電波干渉計は複数の小型の単一鏡型電波望遠鏡を連動させ電波を観測する装置である。それぞれの電波望遠鏡で観測されたデータを合成しフーリエ変換して画像を得る。電波干渉計では大きな構造を持つ天体の観測が困難なことや、単一鏡型電波望遠鏡に比べて相関器が複雑で改良しづらいこと等の難点があるが、高い角分解能を得ることができるため天体の構造や星の形成などの研究にとって欠かせない情報を我々にもたらす。今回の発表では、はじめに電波干渉計による解析画像を作製するための理論的背景について説明する。次に ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) 電波干渉計で観測されたサブミリ波銀河 SPT0538-50 のデータを、ソフトウェアを使ってフーリエ変換し、画像を作製した結果について発表する。

- 31 号館 402 教室 -

■ 07 固体電子物理研究室 (増井)5名

0334：小林 優介「YBCO における高濃度 Mg 置換効果」

本研究では代表的な銅酸化物高温超伝導体、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) において Mg で Cu の高濃度置換した試料の作成を行った。高濃度 Mg 置換効果は超伝導破壊効果を調べる上で有効な手法であるが、過去の報告では濃度の低いものばかりで、Mg 置換で研究としては不十分である。一方、類似した効果を持つ Zn 置換は 10% 程度の置換量の報告があり、Mg 置換についても焼成条件等の工夫でより高濃度置換が実現できるのではと考えられた。そこで本研究では焼成を通常の YBCO 作成時の方法に比べ低温で行い、高い Mg 濃度の試料作成を目指した。YBCO の Mg 仕込み置換濃度は 1% から 8% まで変化させ、試料中に Mg が取り込まれていることを X 線構造解析によって確認できた。発表では作成した試料の X 線解析データを紹介とともに、評価や解説を行う。

0339：堂村 哲平「高温超伝導体 YBCO の Na 置換効果」

銅酸化物高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) は酸素欠損量 δ を熱処理によって変化できる。 δ によって超伝導

を示す CuO₂ 面のキャリア量を制御できるが、酸素量だけでは電子相図の過剰ドープ域を完全にカバーすることはできない。本研究では YBCO に Na をドープすることで過剰ドープ側にシフトした YBCO の試料作製を目指した。過去の報告例では Na20%以下の量を Y と置換しても超伝導転移温度 T_c が変化しない。しかし、Na20%置換 YBCO を作製したところ、T_c が低下した結果が得られた。発表では Na 置換 YBCO 試料の焼成手順、X 線回折および磁化率測定データを紹介し、それらのデータに対する考察や先行論文との違いを述べる。

0364：和気 将隆「YBa₂Cu₃O_y の同位体置換効果」

銅酸化物超伝導体におけるフォノンの超伝導への寄与を調べることは、銅酸化物に見られる擬ギャップ現象やストライプ秩序の理解につながると考えられる。別の銅酸化物超伝導体 LSCO で見られたホール濃度 $p=1/8$ 付近の同位体指数 α には異常な増大が報告されているが、YBCO の同位体指数にはこの異常の有無がはっきりしていない。よって本研究では YBCO のホール濃度 $p=1/8$ 付近を中心に、試料中の 16O,18O 酸素量を制御し酸素含有量の同じペアを作成し、超伝導転移温度の比較を行うことを目的とした。過去の研究での $p=1/8$ 付近の YBCO の超伝導転移温度を参考にしながらアニール温度を決め、試料を作成し転移温度の評価をした。

0331：古川 彰梧「超伝導体 YBCO への Sr 置換効果の検証」

本研究では、高温超伝導体 YBCO にストロンチウム (Sr) を導入した試料の作成を行った。これまで、Sr がイットリウム (Y) サイトに入るという報告とバリウム (Ba) サイトに入るという報告があるため、置換サイトをはっきりさせることを目指して、Sr 量を変化させて作成した複数の試料を評価した。また、1 気圧で Sr をどのくらいの割合まで導入できるのかの検証も目指した。結果として Ba サイトへの Sr 置換は 80%までは粉末 X 線データのピークは不純物もなく、求めている Sr 置換 YBCO の作成ができた。85%以上の Sr 置換は不純物が多くなり、常圧状態での作成が困難であった。Y サイトへの Sr 置換は作成した範囲の粉末 X 線データのピークは不純物もなかった。このように Sr は YBCO の Y サイトにも Ba サイトにも置換される可能性があることがわかった。

0340：山本 恭輔「YCCO の作成」

銅酸化物超伝導体 YBCO の Y を希土類元素で置換した報告が多いが、Ba 置換については比較的少ない。本研究では銅酸化物超伝導体 YBCO の Ba 置換の中で、Ca で全置換した YCa₂Cu₃O₇ (YCCO) の作製を目指している。先行論文を参考に原料を調合・焼成し、粉末 X 線回折や SQUID から得られたデータを評価した。すると、YCCO ではない別の物質が出来ている可能性が高く、また超伝導（完全反磁性）で見られる磁化率の変化が見られなかった。そこで、データから得られた内容を吟味して考えられる物質 Ca_{2+x}Y_{2-x}Cu₅O₁₀ (CYCO) の作製し、磁化率等の測定をして超伝導体なのかを検証した。発表では、YCCO と CYCO について報告する。

■ 08 表面科学研究室 (近藤) 5 名

0336：村上 修平「3D プリンターによる結晶模型の作成」

結晶構造を理解することはキッテルの教科書からもわかるように固体物理学の基礎である。しかしながら、その構造を理解することは、図や写真だけでは困難であり、結晶模型があると大きな助けになる。そこで、そのような結晶模型を作成するために、分子模型作作用のキットを用いるのではなく、今注目されている 3D プリンターを用いた。本研究ではさまざまな結晶構造のなかでも特に特徴的な構造を持つダイヤモンド結晶、フラーレン (C₆₀ と C₇₀) を作成した。本発表ではこれらの結晶についての性質や特徴を述べるとともに、3D プリンターを用いて結晶模型を作成する過程、作成するうえで起きたトラブル、解決方法などについて述べる。

0307：赤窄 啓太「超指向性スピーカのシミュレーション」

音は粗密波であり、スピーカは発生する音の波長に対し振動面が大きいほど鋭い指向性が得られる。従って、通常の音波より波長の短い音、つまり超音波を利用することによって小さなスピーカを用いても鋭い指向性を得ることができる。本発表では、西川が行った「自作の超音波発信器と受信機を用いて実効的な振動面の大きさと指向性の鋭さの対応関係について定量的に調べた実験」をシミュレーションすることを試みる。シミュレーションには Mathematica を用いる。また、超音波の伝搬の際の非線形性によって、可聴域の音が現れる現象についてもシミュレーションを行い、理解を深めたいと考えている。

0303：西川 貴雅「超指向性スピーカの指向性の理解」

音は粗密波であり、スピーカは発生する音の波長に対し振動面が大きいほど鋭い指向性が得られる。従って、通常の音波より波長の短い音、つまり超音波を利用することによって小さなスピーカを用いても鋭い指向性を得ることができる。中間発表で示したように、秋月電子で販売されている超指向性スピーカのキットを作成し、その鋭い指向性を確認することができた。本発表では、自作の超音波発信器と受信機を用いて実効的な振動面の大きさと指向性の鋭さの対応関係について定量的に調べた結果を示す。実効的な振動面の大きさは複数のスピーカを用いて、そ

の個数や間隔を変えることによって変化させた。また、二つのスピーカを用いて「音によるヤングの干渉実験」を試みた結果も発表する。

0366：藤田 達「高温超伝導線を用いた永久電流磁石製作にむけて」

超伝導線を用いて、ループ状の回路を作れば一旦電流を流した後は電源のいらぬ（磁場の減衰が非常にゆっくりな）電磁磁石を作ることが出来る。このような電磁磁石を「永久電流モード」超伝導磁石と呼び、MRIなどで使用されている。ただし、高温超伝導線の場合にはループ状の回路を作る（超伝導線を接続する）確立された方法は知られていない。本研究では住友電気工業株式会社が開発したピスマス系超伝導線を用いて、コイル（そのインダクタンスは0.2 mH）を作った。半田によって、両端の超伝導線が接続したループ状の回路を持つ超伝導磁石の発生する磁場の減衰を調べた。この磁場の減衰の時定数は1時間以上であり、このことから擬似的な「永久電流モード」超伝導磁石を作ることが可能であることがわかった。発表ではより良い「永久電流モード」超伝導磁石に改良する方法について議論する。

0342：浅井 翔平「テーブルトップ NMR 量子コンピューターの実現を目指して」

本研究室では NMR 量子コンピューターの開発を行っている。NMR 量子コンピューターでは高周波によるスピン操作とスピン間の相互作用に基づく 2 量子ビット演算が必要である。この相互作用の強さは周波数に換算すると 100Hz 程度と小さいのでその効果を検出するためには均一度の高い磁場が必要になる。そこで超低磁場で NMR を行うことにより実効的に磁場の均一度の要請を緩和し、超低磁場故の信号強度の低下は積算することにより補うことにした。具体的には、測定機器をコンピューター制御することにより時間が許す限り無限に積算できるようなシステムを作り上げた。このシステムで今まで見ることでできなかったフルオロマロン酸ジエチル中の水素とフッ素の信号の検出を目指している。この分子を用いれば量子アルゴリズムを実装することが出来る。

■ 09 生物物理学研究室 (矢野)2 名

0309：西川 寿規「波長分散型 X 線反射率測定装置の開発 II」

X 線反射率法は、入射 X 線の強度と反射 X 線の強度の比（反射率）を測定することで、様々な試料の表面や界面構造を非破壊的に分析する手法として非常に有効である。この方法には、単色 X 線を入射させ、入射角を走査しながら反射率を測定する角度走査型と、入射角を固定して幅広いエネルギースペクトルを持った X 線を入射させ、反射率を測定するエネルギー分散型があり、前者は 1 測定あたり数時間を要するが、後者は 1 測定あたり数分で測定できるため、時間とともに構造が変化する試料の測定が可能である。そこで、タンパク質の構造変化を観察するために、平成 24 年度卒業研究で、エネルギー分散型 X 線反射率測定装置を設計、製作した。今回の卒業研究では、この装置の性能評価をするために固体や液体の表面および気液界面に吸着したタンパク質の X 線反射率の測定を行った。

0348：鈴木 大輝「フーリエ変換赤外吸収分光法を用いたタンパク質溶液の塩による変性」

タンパク質の変性は様々な病気の要因といわれている。変性の原因究明により病気の治療につながる。本研究では塩がタンパク質にどのような変性をもたらすのかを調べた。タンパク質はらせん状の構造やシート状の構造をしていて、それぞれの構造が固有の振動数を持っている。赤外線を試料に照射するとある振動数の光が試料に吸収され分子振動が励起される。この原理を用いて解析することによりタンパク質の代表的な形、 α ヘリックスと β シートの構成比率をそれぞれの試料に対して決定する。その測定の方法をフーリエ変換赤外吸収分光法（FT-IR 法）と呼ぶ。今回この FT-IR 法を用いて各々塩（NaF, NaCl, NaBr, NaI）を入れた pH 7 の buffer 溶液にリゾチームを注入し構造解析を行なった。また、pH7 の buffer に塩を入れることによってタンパク質は変性し、 α ヘリックスと β シートの構成比率が変化する。それが、各々の塩によってどのような特徴があるのかを調べた。

■ 10 ソフトマター物理学研究室 (堂寺)1 名

0361：坂田 航「コア-シェル型の粒子を用いた構造体のフォトニックバンドギャップの有無」

自然界では 4 本の共有結合のある炭素などが三次元構造を形成するとき、ダイヤモンド構造をとることは稀なことではないが、ただの剛体球でダイヤモンド構造を形成することは難しい。本研究では、ダイヤモンド構造の第 1 近接と第 2 近接の長さスケールを有する剛体球と矩形斥力からなるコア-シェル型のポテンシャルをもつ粒子を用いて、3次元モンテカルロシミュレーションを行った。216 粒子からなる系で、ダイヤモンド構造の形成を目標にシミュレーションを行ったが、ダイヤモンド構造に近い「類似ダイヤモンド構造」が形成された。論文では、シミュレーションで得られたエネルギー、比熱、球面調和関数によるオーダーパラメータの値を示し、構造形成を議論す

る。最後に、この構造もダイヤモンド構造と同じようにフォトリックバンドギャップを持っているか、異なる誘電率を与えてバンドギャップの有無を検証し、その結果をまとめた。

■ 11 理論物理研究室 (中原)2 名

0309：西川 斉志「周期ポテンシャルによるバンド構造の出現について」

結晶が作る周期ポテンシャルの下では電子のエネルギー固有値はバンド構造を形成する。この事実を理解するために、ポテンシャル構造の繰り返し数を変化させながら、転送行列を用いて電子の透過率をエネルギーの関数として求めた。その結果、バンド構造に対応して、透過率が1に近い領域とほとんどゼロの領域が交互に現れることを確認した。次に結晶に不純物がある場合の透過率の変化を調べた。不純物としては、ポテンシャルの深さが異なるものが1個ある場合と、ポテンシャルの深さは同じで、位置が少しずれるポテンシャルが1個ある場合を調べた。計算には Mathematica を用いて、ポテンシャルの繰り返し数が1回、10回、100回の場合に透過率を求め、それらを図示した。発表では、転送行列の方法を紹介したのち、これらの場合の透過率を示す。

0306：藤原 和也「光子を用いた量子情報処理」

量子情報では、古典ビットの0と1に対し、0と1の重ね合わせの状態をとる量子ビットを情報の単位とする。古典ビットの操作が論理ゲートで行われるように、量子ビットの操作は量子ゲートを用いて行われる。光子を用いた量子情報では、直交する2つの偏光方向を量子ビットと置いている。この方法では、1量子ビットに作用する量子ゲートは簡単に実装することができるが、光子同士はほとんど相互作用しないために2量子ビットにまたがる量子ゲートを作ることは難しい。そこで2量子ビットゲートの実装には、光子のモード(進行方向)を量子ビットに対応させた量子ゲートを使う必要がある。この量子ゲートのアイディアは、2001年に Knill, Laflamme, Milburn らが提案した。本研究では、彼らのアイディアに則った制御Zゲート(CZゲート)を、行列表示して計算した。

■ 12 物性理論研究室 (笠松)3 名

0363：鳳山 智仁「ピア・インストラクションとコンセプテストを用いた物理教育の実践」

理科や数学離れといった教育問題が問題視されている最中、本研究では物理学をどのように学生に教えればよいのかを教育科学的に研究する。そのモデルとしてアメリカのメリーランド大学のエドワード・F・レディッシュ教授の著書“Teaching Physics with the Physics Suite”に書かれている教育方法を基にして行う。この著書では脳科学や認知科学に基づいた様々な授業方法をメリーランド大学の講義で実践し、実践結果を客観的に評価することでより効果的な講義の改善に向かっている事が報告されている。今回の研究ではその中の一つである、「ピア・インストラクションとコンセプテスト」の授業方法を笠松先生が開講している「物理学概論および演習Ⅱ」で実践した。普段の講義と「ピア・インストラクションとコンセプテスト」を起用した講義とを小テストの結果とアンケートで比較し、まとめたものを本研究の結果として発表する。

0325：村島 越「超伝導におけるBCS理論の適応条件の理解」

金属を低温に冷やすことにより、マイスナー効果等を引き起こす超伝導現象が起きる。超伝導の標準理論であるバーディーン・クーパー・シュリファー理論(BCS理論)に着目し、何故超伝導を起こすために温度を低くする必要があるのか?何故本来斥力が働くはずの電子間に、引力が働くのか?を誰にでもわかるように詳しく、解説を行う。また、電子間の相互作用として単純な引力ポテンシャルを仮定していることや、元々存在するクーロンポテンシャルが無視されている等の、BCS理論の中で計算を簡単にするために行われている近似や定義をまとめる。特に、ギャップ関数の温度依存性に関する普遍定数が、物質によって理論値とズレが生じることが知られており、そういった理論の問題点を紹介していく。

0346：菊田 憲「量子統計におけるTsallis統計の適用」

カオス、フラクタルや情報科学などに見られるべき乗則を伴うような物理現象を従来の Boltzmann-Gibbs(BG)統計力学では説明することが出来ない。そこで、1988年に Constantino Tsallis がマルチフラクタル性を持つ系のような確率分布関数がべき乗振る舞いをする場合の統計力学を記述するために、BG統計力学を拡張させた理論が Tsallis 統計力学である。Tsallis 統計力学は非常に注目を集め、現在でも議論や批判が続いており、決して理論として完成されたものとはまだ言えないようではあるが、いくつかの研究で前向きな結果が得られている。本研究では、Tsallis エントロピーと呼ばれるものがエントロピーとして足りうることを証明し、実際に Tsallis 統計力学を用いた応用として、量子統計に適用できるかを議論した結果、拡張できることが分かった。

■ 13 凝縮系物理学研究室 (松居)4名

0337 谷 祐輝「疎結合ネットワーク上での Z(2) ゲージニューラルネット：実数対称シナプス結合」

学習・想起などの脳の高次機能を物理学的に理解する試みの一つとしてニューラルネットワークによる研究が行われてきた。 i 番目のニューロンの発火・安定状態を表すニューロン変数を $S_i = \pm 1$, j 番目から i 番目のニューロンへの信号伝達 (シナプス結合) の状態を表すシナプス変数を J_{ij} とし, エネルギー (S, J) を規定して相構造や学習想起能率を計算するものである。先行研究では電磁気学の U(1) 局所ゲージ対称性を反映した Z(2) ゲージ不変なエネルギーを用いた Z(2) ゲージニューラルネットの研究が行われてきた。今回の研究では, 疎結合ネットワーク上で J_{ij} が実数で $J_{ij} = J_{ji}$ を満たす実数対称結合の場合についてその相構造を調べた。先行研究で調べられた実数全結合の場合や J_{ij} が ± 1 の値を取る整数対称疎結合での相構造と比較し, 相違について考察する。

0328 浦本翔「疎結合ネットワーク上での Z(2) ゲージニューラルネット：実数非対称シナプス結合モデル」

脳の高次機能を記述するモデルとしての Z(2) ゲージニューラルネットは以下の点で様々なヴァリエーションが考えられる。(1) ネットワークの構造 (格子, 全結合, 一様疎結合, スモールワールド, 等), (2) シナプス結合変数 J_{ij} の変域 ($J_{ij} = \pm 1$ の整数, $J_{ij} = (-\infty, \infty)$ の実数), (3) シナプス結合の対称性 ($J_{ij} = J_{ji}$ の対称結合, J_{ij} と J_{ji} が独立な非対称結合) などである。本研究ではまず内部エネルギーや比熱による相構造の決定法や学習・記憶能力の測定方法について簡単に説明する。その後, 一様疎結合ネットワーク上での実数非対称型のシナプス結合のモデルを考え, その相構造を調べる。さらに先行研究や疎結合実数対称結合の結果と比較・検討を行う。

0348 村井 厚友「疎結合ネットワーク上での Z(2) ゲージニューラルネット：整数非対称シナプス結合モデル」

脳を構成する神経細胞 (ニューロン) がつながった神経ネットワークのモデルとして連想記憶の機構を説明するホップフィールドモデルがよく知られている。また, それをもとにシナプス結合強度 J_{ij} を時間変化するゲージ変数に格上げして学習を可能にした Z(2) ゲージモデルも研究されている。本研究ではその具体例として, ネットワークが一様疎結合, シナプス結合強度がとりうる値が ± 1 の整数, J_{ij} と J_{ji} が互いに独立な非対称結合, の場合, すなわち整数非対称疎結合型モデルを調べる。このモデルのエネルギーは $-c_1 S_i J_{ij} S_j$ のホップフィールド項と $-c_3 J_{ij} J_{jk} J_{ki}$ の反響項からなり Z(2) ゲージ対称性を持つ。 $c_3 - c_1$ 平面での相構造, 相転移を解析し, 先行研究の整数対称疎結合モデル等と比較することで非対称結合の効果を調べる。

0301 田中 健勝「疎結合スモールワールドネットワーク上での Z(2) ゲージニューラルネット： 整数非対称シナプス結合モデル」

連想記憶・学習のモデルである Z(2) ゲージニューラルネットワークは, ネットワークの結合構造, シナプス変数 J_{ij} のとり得る値, 更には対称結合 ($J_{ij} = J_{ji}$) か非対称結合 (J_{ij} と J_{ji} が独立) かによって様々なバージョンが考えられる。本研究ではスモールワールド構造をもつ有向リンクからなるネットワークを用意し, シナプス結合変数が整数型 ($J_{ij} = \pm 1$) で非対称結合の場合を対象とした。スモールワールド構造は実際の脳内でも実現しているという指摘がある。発表ではスモールワールドネットワークの性質と (有向グラフと無向グラフの両者についての) 構成方法, 内部エネルギーと比熱の測定による相構造を求め, 先行研究との比較・検討を行う。非対称結合では対称結合に比べて変数の揺らぎが大きく, 秩序をもつヒッグス相の領域が減少するという結果が得られた。