

平成 27 年度近畿大学理工学部理学科物理学コース

卒業研究発表会

平成 28 年 2 月 8 日(月) 09:00 ~ 17:40

プログラム

- ・08:55 31 号館 401 教室 全員集合
- ・09:00 ~ 09:05 開会の辞：太田先生

31 号館 401 教室 [物性]

- ・09:05 ~ 10:30 午前の部 1 (座長：近藤先生)
 - 01- 固体電子物理研究室(増井：6 名)
- ・10:30 ~ 10:40 休憩
- ・10:40 ~ 12:05 午前の部 2 (座長：松居先生)
 - 02- 生物物理学研究室(矢野：6 名)
- ・12:15 ~ 13:15 休憩
- ・13:15 ~ 15:15 午後の部 1 (座長：堂寺先生)
 - 03- 理論物理研究室(中原：3 名)
 - 04- 凝縮系物理学研究室(松居：6 名)
- ・15:15 ~ 15:25 休憩
- ・15:25 ~ 17:25 午後の部 2 (座長：増井先生)
 - 05- 量子制御研究室(近藤：4 名)
 - 06- ソフトマター物理学研究室(堂寺：5 名)

31 号館 402 教室 [素粒子・宇宙]

- ・09:05 ~ 10:45 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：7 名)
- ・10:45 ~ 10:55 休憩
- ・10:55 ~ 12:05 午前の部 2 (座長：中原先生)
 - 02- 素粒子論・重力理論研究室(太田：5 名)
- ・12:15 ~ 13:15 休憩
- ・13:15 ~ 15:30 午後の部 1 (座長：千川先生)
 - 03- 宇宙論研究室(井上：4 名)
 - 04- 素粒子実験研究室(加藤：3 名)
 - 05- 原子分子物理学研究室(日下部：3 名)
- ・15:30 ~ 15:40 休憩
- ・15:40 ~ 17:25 午後の部 2 (座長：石橋先生)
 - 06- 素粒子・宇宙物理学研究室(千川：5 名)
 - 07- 理論物理研究室(中原：3 名)

-
- ・17:30 ~ 17:39 総評：近藤先生，日下部先生 (31 号館 401 教室)
 - ・17:39 ~ 17:40 閉会の辞：矢野

- ・ 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 401 教室に集合。3，4 年は全ての研究室の発表をきくこと。

・17:40 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

[物性]

-01- 固体電子物理研究室(増井 : 6 名)

331 木村 咲紀 「超伝導体 YBCO への Sr 置換効果」

銅酸化物高温超伝導体では CuO_2 面が超伝導を示すが、その面外の乱れも超伝導転移温度 (T_c) に影響を与える。YBCO 超伝導体には面外乱れを導入可能な原子位置が Y サイトと Ba サイトの 2 箇所あり、それぞれ異なる置換効果を示す可能性が高い。本研究ではまず超伝導体 YBCO の Y サイトへの Sr 置換を試みたが粉末 X 線回折では不純物のピークが検出された。X 線回折から導いた格子定数、交流磁化率で求めた T_c ともに変化がなく置換しないと思われる。また、Ba サイトへ Sr 置換すると格子定数が下がるため、Y サイトに Sr が置換可能ではないかと考え、Y サイト Ba サイト両方への Sr 置換も行った。その際 Ba サイトへの Sr 置換量は固定とし、Y サイトへの Sr 置換量のみを変化させ試料の作製を行った。それらの試料について粉末 X 線回折と交流磁化率で評価し Sr が置換可能かを検証した。

363 大迫 彩花 「YBCO の K 置換効果」

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) は 93 K の超伝導転移温度 (T_c) をもつ高温超伝導体である。YBCO の Ba サイトへの K 置換効果に関する報告は少なく、ある報告例では K_2CO_3 を用いた K 置換では T_c が変化しない。しかし、K 置換が行われていれば Ba^{2+} が K^+ に置換されているため、伝導面である CuO_2 面にホールドープが起こり、 T_c の変化が見られるはずである。本研究では、 K_2CO_3 を用いての試料作成により YBCO の Ba サイトへの K 置換を試みた。K が Ba サイトへ置換していればイオン半径の関係で格子定数は縮むはずであり、粉末 X 線回折測定データより求めた格子定数も置換量の増加に伴い縮んでいた。また、磁化率測定による T_c も置換量に伴い変化していた。以上より、K は Ba サイトへ置換可能で、ホールドープによる T_c の変化が起こることが確認された。

355 市山 由樹子 「ラマン分光法による元素置換高温超伝導体の評価」

ラマン分光法とは、散乱光のラマン効果によるエネルギー変化や強度を測定して、物質の結晶構造を解析し、物質の同定を行う測定法である。本研究ではラマン分光法を用いて、元素置換した高温超伝導体試料の評価を行った。Y サイト、Ba サイトへの Sr 置換 YBCO では、Y サイトのみへの置換と、両方への置換の 2 通りを試みた試料を測定した。Y サイトへの置換を試みた試料は、不純物のピークが見られたことから、Sr 置換が出来ていないと考えられる。一方、両方のサイトへの置換を試みた試料では不純物のピークは弱く、YBCO に似たスペクトルになった。Y サイトへの K 置換を試みた試料では、超伝導転移したものと転移しなかったものでスペクトルに明らかな違いが現れた。超伝導性を示したものは YBCO 構造のスペクトルになったが、超伝導にならなかったものは不純物のスペクトルが中心となった。

380 乾 京介 「銅酸化物超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ 単結晶の育成」

$\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ (以下 Y124) は、約 80 K で超伝導転移を示す銅酸化物である。銅酸化物超伝導体の不足ドープ電子状態におけるストライプ秩序などのさまざまな異常を議論する際に、結晶の乱れの影響が常に問題となる。Y124 は不足ドープの理想的な電子状態を持ち、酸素欠損などの結晶の乱れが非常に少ないとされる唯一の銅酸化物超伝導体である。不足ドープ領域の物性解明に対する貢献の為に、この物質の単結晶が必要である。これまでは Y124 単結晶を得るには高温高圧環境が必要とされており、その作製は非常に困難である。しかし、最近になりアルカリフラックス法を使うことで常圧下でも比較的簡単に Y124 単結晶を作製したという報告がなされた。本研究では、その報告を参考に実験を行い最大幅 300 μm の大きさの単結晶を作製することに成功し、その転移温度 82 K を観測することが出来た。

338 若宮 恵里 「 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 銅酸化物超伝導体の酸素同位体置換効果」

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) 銅酸化物超伝導体は反強磁性絶縁体で、ホール濃度に依存して超伝導が出現する。またホール濃度が $x=1/8$ 近傍で超伝導が著しく抑制される現象がある。これは動的なストライプ秩序が、 $x=1/8$ で LTT 構造によって、ピン止めされ静的な平行ストライプ秩序が形成されたことが原因と考えられている。先行研究では 5 気圧の下、ペレット状試料を用いて酸素同位体置換が行われたが、結晶内部への置換は不可能だった。本研究では、先行研究で調査されていない過剰ドープ領域であるホール濃度 $x=0.17$ の LSCO 超伝導体を作製し、粉末状試料を用いて、1 気圧下で先行研究の酸素置換時に採用されていた同温度であるが熱処理の時間を長くして ^{16}O から ^{18}O への置換量を調べ、ストライプ秩序と超伝導状態の関係性から超伝導転移温度の振る舞いを磁化率測定により評価した。

304 長曽我部 崇伸 「YBCO の酸素同位体置換による超伝導への影響の検証」

フォノンを介した超伝導機構において、構成元素の同位体置換は T_c を変化させる。銅酸化物超伝導体である Y123 でも同様な報告はあるが、BCS 理論とは異なる結果が報告されている。またキャリア供給量が 1/8 程度の時、 T_c が同位体置換で急激に抑制される異常も観測されている。この 2 つの超伝導状態の特異な現象について、密度波の一種とみなせるストライプ秩序が関与しているのではとの見解もあるが、詳しくはわかっていない。本研究は酸素を用いての Y123 における同位体置換を行い、キャリア供給量 1/8 付近を中心とした不足ドープ域での厳密な測定を行い、フォノンの超伝導機構への関与を調べることを目的とする。Y123 の単結晶で特殊な置換炉を用いて三点のアニール温度で試料処理を行い SQUID により磁化率を測定・比較した。発表では測定結果及び考察を述べていく。

365 小川 裕彌 「X線回折/赤外吸収分光 同時測定によるチョコレート融解・凝固過程の研究」

チョコレートは3つの結晶構造を持ち、その3つの結晶構造の中でもそれぞれ2つずつ融点の違いによって結晶の型を持つ。今回の実験では「meiji チョコレート効果 CACAO95%」を室温から加熱し融解させ冷却し凝固するまでの過程を測定し、結晶の型がどのように変化するかを追った。測定には結晶構造や格子間隔を測定、知ることのできる X線回折法と分子構造を知ることのできる赤外吸収分光法を用いた。従来であればそれぞれ別に測定しなければならず、必ずしも同じ変化が見られるわけではなかった。しかし、今回 X線回折と赤外吸収分光を組み合わせ、同時に測定できる装置を製作した。このことによって一度の実験で X線回折と赤外吸収分光の両データが得られ、同じ変化を測定できることとなった。今回、融解させるまでと凝固させた後の結晶構造が違うものとなった。

318 大隅 将悟 「フーリエ変換赤外吸収分光法 (FT-IR 法) を用いたタンパク質の変性過程の観測」

タンパク質の変性はさまざまな病気の原因といわれている。変性の原因を明らかにするために変性剤を添加しどのような構造変化が起こるかを調べた。タンパク質はアミノ酸がつながった鎖状のつくりである。それは水素結合をして二次構造を形成する。 α -ヘリックスと呼ばれる螺旋状構造や β シートと呼ばれるシート状構造がその代表例である。赤外分光法は物質に赤外光を照射し透過または反射した光を測定することで試料の構造解析を行う方法である。分子の振動や回転の状態を変化させるのに必要な赤外光の波長は物質によって異なる。吸収された赤外光を測定すれば化学構造に関する情報を得られる。今回 FT-IR 法を用いたタンパク質にグアニジン塩酸塩と尿素という変性剤を加え測定した。変性剤は二次構造の水素結合を破壊する効果がある。その他性質は似ているがグアニジン塩酸塩の方が強い変性作用がある。添加からの時間変化を見ることで構造変化を調べた。

340 大谷 圭佑 「時分割 X線反射率法による気液界面に吸着したタンパク質の構造研究」

タンパク質は様々な相互作用のバランスで最も安定な構造をとる為、外部環境の変化により容易に構造が変化する。これを変性という。先行研究では pH7 の緩衝溶液(水)にリゾチームというタンパク質を混ぜるとリゾチームが気液界面に吸着し変性することがわかっている。これはリゾチームが疎水基と親水基をもつ両親媒性分子で、水中では疎水基の周りに親水基が、気液界面では気相側に疎水基、液相側に親水基が集まったため変性したと考えられている。今回新たに水に変性剤を加えた場合の構造変化を時分割 X線反射率法から追究する。変性剤とはタンパク質の分子結合をきることで構造を変化させる物質のことであり、変性剤とその濃度によって引き起こされるリゾチームの構造変化の関係性を、気液界面に吸着したリゾチームの反射率から電子密度分布を求めることで解析をした。

327 友永 雄祐 「タンパク質の電子数密度分布を計算するプログラムの作成」

タンパク質の構造を調べる方法の中に X線反射率法という方法がある。この方法では界面に吸着したタンパク質を界面に対して垂直な電子数密度分布を知ることができる。この時にタンパク質がどのような角度で存在しているのか知ることが重要である。既知のタンパク質は、PDB (Protein Data Bank) というデータベースで原子座標のデータを確認することができる。そこで、今回はタンパク質の原子座標のデータを使い電子数密度分布を計算するプログラムの作成を行った。このプログラムを使うことでさまざまな角度からタンパク質の電子数密度分布を確認することができる。これにより界面のタンパク質が界面に対してどのように配向しているか確認することができるようになった。今後は電子数密度分布を入力しそれに対応した配向角を計算するプログラムに改良していけたらと思っている。

360 小林 勇輝 「タンパク質の界面吸着速度に及ぼす pH と塩添加の影響」

表面張力は界面で働く力であり分子同士に働く分子間力によって引き起こされる。溶液中にタンパク質を加えると液面に吸着する。これにより表面張力が小さくなる。本研究ではタンパク質としてリゾチームを用いた。リゾチームの等電点は pH11.0 であり、この pH より値が小さいと+の電荷を帯び、大きい値では-の電荷を帯びる。電荷を持っていることにより塩の陰イオンとの間でクーロン力を生じる。クーロン相互作用の影響を調べるために今回は同じ族であるハロゲン元素を用いた。4種類のナトリウム塩 (NaF、NaCl、NaBr、NaI) を添加することによってリゾチームの吸着速度が上記の相互作用によってどのように変化するかを観測した。さらに各塩における濃度[M]を変化させ pH も 4、7、12 と変化させた時の吸着速度の違いを観測しどのような依存性があるか考察した。

316 森 拓志 「マランゴニ対流の観測条件の詮索」

本研究で取り扱うマランゴニ対流とは表面張力の差によりその表面に接戦方向の力が生じ、その力によって起こる対流のことである。身近なことでも体験でき、味噌汁などの濃度の差によって起こる対流や、ワインの涙などがそうである。またマランゴニ対流の理解をすることで携帯電話やパソコン等の電子機器を冷却するヒートパイプの効率化などに繋がる。本研究の目的はそのマランゴニ対流を観測するための条件の詮索である。実際に資料を参考に実験を行ってみると対流が観測できるかは実験条件(容器の大きさ、試料の滴下量、キャピラリーの深さ等)によって左右され、対流が観測された場合は表面張力の値が振動し、周期性があることも観測できた。またその振動周期、振幅等も実験条件により変化することが観測できた。

-03- 理論物理研究室(中原 : 3 名)

310 柳谷諒 「量子系の Z_2 トポロジカルナンバーの計算」

近年、量子物質の研究として「トポロジカル絶縁体」と呼ばれる従来の物質とは全く異なる新しい物質が存在することが発見され、注目を浴びている。このトポロジカル絶縁体は、内部は電流を流さない絶縁体状態であるのに対して、その表面には自由電子が存在し金属状態が現れるという奇妙な物質である。トポロジカル絶縁体を特徴づけるのが、 Z_2 トポロジカルナンバー ν である。2次元系は Z_2 トポロジカルナンバーを1個持ち、 $\nu=0$ と $\nu=1$ の2つの値をとり、 $\nu=0$ が通常为非磁性絶縁体、 $\nu=1$ がトポロジカル絶縁体に対応する。本研究はこの Z_2 トポロジカルナンバー ν を計算し、通常の絶縁体かまたはトポロジカル絶縁体かを判別することが目的である。今回の研究では既存する3つのモデル(Haldane モデル、Kane-Mele モデル、BHZ モデル)の Z_2 トポロジカルナンバー ν を計算した。

382 東出 世羽 「量子情報における訂正可能なエラーの判別法の証明」

量子情報においてデータを送信すると、デコヒーレンスにより意図しないデータのエラーが起こることがある。そのような場合、エラーの訂正方法として量子誤り訂正符号がある。では、量子誤り訂正符号を用いるとどのようなエラーでも訂正することができるのだろうか。実のところは訂正ができないエラーも存在する。では、その区別をどのようにして行うのだろうか。誤り訂正が成功する条件が Knill-Laflamme の定理である。この定理を満たすエラーが訂正可能なエラーとなる。本研究の目的はこの定理の証明である。この発表では、量子誤り訂正符号の理解に役立つ知識として量子回路や量子ゲートの紹介を行い、量子誤り訂正符号の簡単な例の説明と、Knill-Laflamme の定理の概要の説明とその証明について発表する。

328 川口 紀俊 「量子鍵配送の安全性について」

現在の情報通信で用いられる暗号は、RSA 暗号と呼ばれる公開鍵暗号が主流である。それは大きな数の素因数分解は現実的な時間では不可能であることを利用しており、盗聴者が公開鍵から秘密鍵を作ることとは不可能である。それにより私たちは安全性の高い暗号通信を行うことができる。しかし、1994年に発表された Shor の量子アルゴリズムにより、実用的な量子コンピュータができると RSA 暗号は破られることがわかった。そこで、量子鍵配送(Quantum Key Distribution)が安全性の高い鍵配送方式として注目されている。本研究ではその中でも代表的な BB84 と B92 について C 言語を用いて盗聴者がいる場合とそうでない場合と、bit flip が生じた場合におけるシミュレーションを行った。また、BB84 では古典誤り訂正をすることで bit flip によるエラーを抑えることができたことを述べる。

-04- 凝縮系物理学研究室(松居 : 6 名)

385 石馬場翔典 「脳神経の発火機構のモデル化」

ヒトの脳は 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。これらニューロンのネットワークはニューラルネットワークと呼ばれ、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。各ニューロンは時事刻々、発火(電圧パルスの送信)と安定(非送信)を繰り返すことが実験的に知られているが、本研究では個別ニューロンについて確立したモデルのシミュレーションを通して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氣的・化学的応答を電気回路に置き換えて得られる等価回路モデルの決定版であるホジキン・ハックスレーモデルを考え、膜電位等の時間変化をシミュレーションし、先行研究と比較することで外部電流に対する力学的応答の理解を深める。

370 若部佑亮 「非対称実数結合を持つ $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークによる長期記憶の研究」

人間の脳内では 1000 億近くのニューロンの各々が、時々刻々、発火(ニューロン変数 $=+1$)と安定(ニューロン変数 $=-1$)を繰り返すことで、2 の 1000 乗億の異なる意識のパターンを生み出している。学習したパターンの連想記憶・想起過程の構造を説明する標準的モデルとしてホップフィールドモデルが知られている。また新たなパターンを学習するモデルとしてシナプス結合強度を時間変化させるゲージ変数とみなした $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークが提案されている。先行研究ではシナプス変数が非対称実数のモデルを用いて想起可能なパターン数の長期的時間変化が調べられた。本研究ではニューロン数、学習想起のサイクルを増やし、より長期的な学習・想起の過程をシミュレーションし、モデルによる長期想起過程の特徴を調べる。

361 萩原拓也 「ニューラルネットワークの非対称 q-p 結合モデル」

自分の知り合いをたどれば 5 人、6 人で世界中の誰とでもつながることが出来る。これをネットワークに見立ててスモールワールドネットワークと呼ばれている。脳内に約 1000 億個存在するニューロンが作るニューラルネットワークもスモールワールド構造を持っている、という研究がある。一方、もっとも単純なネットワークは構成要素がランダムに疎結合した疎結合ネットワークである。本研究ではこれら2つの異なるネットワークを両極端に持つような一般化したネットワーク(q-p ネットワーク)上にシナプス結合が非対称な $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークを考え、その相構造や1次転移が2次転移に移り変わる様子を調べる。また、シナプス結合が対称的な q-p モデルについて行われた先行研究と比較・検討する。

303 辛島侑樹 「疎結合ネットワーク上の右脳左脳モデル」

今までのニューラルネットワーク研究では右脳と左脳の区別はほとんど行われてこなかった。しかし、記憶形成に重要な海馬におけるシナプスの大きさに右脳と左脳とで違いが見られるという研究結果がある。先行研究ではスモールワールドネットワークにおける対称整数型シナプス結合変数を持つ $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークに対して、右脳効果係数を R とし、 R を 1 から変化させることで右脳左脳の区別をつけ相構造等が解析された。本研究ではスモールワールドネットワークの代わりに疎結合ネットワーク上で対称整数型シナプス結合変数を持つ $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークモデルを考え、同様の解析を行い、ネットワークの違いがどのような変化をもたらすか比較・検討する。また、脳梁の結合度による相構造の変化を調べ、脳梁のもたらす記憶と想起への影響などの右脳左脳効果を調べる。

313 十田宗匡 「 $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークにおけるシナプス 2 重連結項の影響」

脳は 1000 億近くのニューロンがネットワークを組んで機能している。 i 番目のニューロンには電気パルスを出す発火状態(ニューロン変数 $S_i=+1$)と出さない安定状態($S_i=-1$)がある。また、 j 番目から i 番目のニューロンに信号を伝えるシナプス結合強度には興奮性(シナプス変数 $J_{ij}>0$)と抑制性($J_{ij}<0$)がある。 $Z(2)$ ゲージニューラルネットワークでは J_{ij} をゲージ変数と見なし、 $Z(2)$ ゲージ不変なエネルギーを用意して想起・学習の能力を算出する。通常エネルギーは、 $S_i J_{ij} S_j$ のホップフィールド項と $J_{ij} J_{jk} J_{ki}$ の反響項を持つ。本研究では対称整数モデル($J_{ij}=\pm 1$)を考え、シナプスが 2 重連結する $S_i J_{ij} J_{jk} S_k$ という新しい項(c_{10} 項)をエネルギーに加え、この項が相構造、学習・想起能力にもたらす影響を考察する。

337 坂根真矢 「4 次元 $CP^{1+U(1)}$ 格子ゲージモデルによる量子場脳理論」

脳のニューラルネットワークモデルの大部分はニューロン変数とシナプス結合変数でほぼ古典的に記述されてきた。しかし、よりミクロなレベルで見ると、脳は電気的雙極子を持つ水分子とその間を飛び交う光子の集まりと見ることができ、これらは電磁相互作用をする量子力学的対象であり、梅沢、高橋らにより量子場脳理論として提案された。この理論を具体的に解析するために 4 次元格子上の $CP^{1+U(1)}$ 格子ゲージモデルが導入されている。ここで CP^1 変数は各格子点の上の雙極子を表し、 $U(1)$ 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、クローン相、ヒッグス相が存在することが示された。本研究では MC によりこのモデルの電場、磁場、磁気単極子(モノポール)の振る舞いを調べ、それを通して各相での電磁気学的性質と学習・想起能力の関連を議論する。

-05- 量子制御研究室(近藤 : 4 名)

347 大本彩加 「ペルチェ素子を用いた霧箱の製作」

アルコール蒸気が過冷却になっている空間に放射線が入射すると気体分子のイオン化が起これ、そのイオンを凝結核として液滴ができる。その液滴は放射線の進路に沿って連なり、飛跡として観測することができる。このようにして放射線の存在を視覚化する装置のことを霧箱という。通常の拡散霧箱では、液体窒素やドライアイスを使用し過冷却の状態を作る。しかし液体窒素やドライアイスは入手や保存が難しいため、扱いづらいという欠点がある。そこでペルチェ素子を冷却部に用い、簡便に放射線の飛跡を観測できる霧箱を製作する。霧箱の冷却部として -50 度程度が必要となるが、二段のペルチェ素子を用いると最低温度として -46.5 度を達成することができた。また飛跡を観測することができたこともあった。しかしながら、安定して飛跡を観測することができていないので改良が必要である。その改良方法についても議論する。

321 西田雄樹 「3D プリンターによる結晶模型の作成」

今回ダイヤモンド構造の結晶模型を 3D プリンターで作成した。ダイヤモンドは 4 つの価電子全てを用いて他の炭素原子 4 個と共有結合している。この為ダイヤモンド構造は正四面体の形をしていて、腕と腕の間の角度は 109.5 度である。3D プリンターには光造形、粉末焼結積層、熱溶解積層(FDM 方式)、インクジェット的方式がある。この 4 種類の中で光造形と熱溶解積層を用いてダイヤモンド構造の模型を作成し、その作成した模型を比べてどちらの 3D プリンターの方が優れているのか調べようとした。しかし光造形の方の 3D プリンターは模型の作成に失敗したのでその原因を考えて議論する。また熱溶解積層の 3D プリンターでの作成手順も発表する。

334 中山大希 「ダイオードの特性測定装置の作成」

物理学実験では様々な測定器を使うことが多い。実験で使う測定器の数を減らし実験をより簡潔なものに出来ないかと考え、アナログディスカバリーというツールを使用することにした。この装置は小さな筐体の中にオシロスコープ、シグナルジェネレーター、電源などの機能が入っていて USB ケーブルでパソコンにつなぐだけで動作する。今回はアナログディスカバリーを単なる電源と電圧計として用いて手でダイオードの特性を測定した。ダイオードの特性を測定することにしたのは、二年生後期の物理学実験 I で経験しているからである。これによってダイオードの特性が測定出来ることがわかった。物理学実験で行った測定は単調な作業だったので、次の課題としてプログラムを組んで自動的に測定ができるようにするべきだと考えている。

324 渡邊 尚輝 「「クリップモーター製作」実験の手引き書」

昨今、理科離れが進んでいると言われている。小学校理科は体験が主なので、興味・関心が高く維持でき、理科が楽しいと言う児童も多い。しかし、実験・観察が単なる体験で終わり、体験を通して考え方が形成されていないため、中学校段階で概念の一般化・抽象化が主になってきたときに、今までの楽しい理科がいきなり難しくなり、興味・関心が維持できなくなる。理科離れを抑制するためには、実験は考察までが楽しいと思わせる事が重要視されている。そこで、小学生でもできる比較的簡単な実験「クリップモーターの製作」を中学生を対象に行い、実施・観察・理論・考察まで楽しいと思える実験を実施する。そして、生徒の反応から、理科嫌いの生徒でも、理科に興味・関心を持てるような実験の手引き書を作成する。

325 田中秀明 「三重周期極小曲面上の剛体球 - ダイヤモンド曲面」

ブロック共重合体や界面活性剤などのソフトマターでは三重周期極小曲面に関連した構造がみられ、近年多くの研究がある。本研究では、三重周期極小曲面上の規則配置に注目し、曲面上の剛体球の相転移を考察する。アルダーによれば剛体球系は流体相から固体相へ相転移し、平面上では三角格子になるが、負曲率曲面上での相転移と規則配置はあまり研究されていない。先行研究のジャイロイド曲面に引き続いて、本研究ではダイヤモンド (D) 曲面上で剛体球のシミュレーションを行った。結果として D 曲面の単位胞あたりの剛体球数 N が 120, 128 のときアルダー転移が起こり、規則配置が現れた。それぞれ空間群 $R3$, $Fd-3$ と決定でき、これらの対称性は D 曲面の空間群 $Pn-3m$ の部分群になっている。得られた剛体球の規則配置は空間群のワイコフ位置で分類され、それらは曲面上のガウス曲率に対応していることがわかった。

327 高橋佑輔 「プリミティブ曲面上の剛体球の相転移」

平面上に剛体球をランダムに配置し密度を上げると流体相—固相の一次相転移が起きる。これは固相の方がエントロピーが大きいからであり、この相転移をアルダー転移とよぶ。本研究では、シャボン膜に見られるような極小曲面で 3 方向に周期的な三重周期極小曲面の代表的なプリミティブ (P) 曲面、ダイヤモンド (D) 曲面、ジャイロイド (G) 曲面のうち、P 曲面においてアルダー転移が起こるかを計算機実験で確かめた。P, D, G 曲面は自然界や化学の分野でしばしば観察されており数学分野でも興味のある研究対象である。P 曲面一周あたりの剛体球数を N として、 $N=20, 24, 26, 30, 32, 36, 38, 40, 56, 72, 96$ のとき相転移が確認でき結晶構造が形成された。結晶構造の空間群を同定しポアンカレ円盤との対応を議論し、さらに 20 面体ウィルスの研究を参考にして特定の N が生じる理由、 N のマジックナンバーの正体を明らかにした。

332 堤一真 「ペンローズ格子の剛体菱形による無秩序・秩序転移」

近年の研究で、様々な多角形のナノプレートが生成できるようになっており、多角形のプレートでどのような構造ができるのかについて関心が高まっている。オンサーガーによる棒状分子の密度変化にともなう等方相からネマティック相への相転移が知られているが、内角 60 度・120 度の菱形について、密度 70%を超えたところで 6 回長距離秩序が現れることが既に報告されている。本研究では 2 次元準周期格子であるペンローズタイリングの 2 種類の菱形 (鋭角 36 度と鋭角 72 度) を混合したとき、どの程度の密度で流体相から固相への相転移が起きるのか、さらに相転移後の状態がどのような構造になるのかを、モンテカルロシミュレーションによって研究した。発表では、1 種類のタイルで実験した場合と 2 種類のタイルを混合して実験した場合の 2 種類の結果を紹介し、シミュレーションの改善点について議論する。

359 西浦智也 「分子動力学シミュレーションによる正 20 面体準結晶」

固体や液体、さらに複雑液体 (ソフトマター) といった分子集団を微視的な観点から取り扱う方法論として分子シミュレーション法が発展している。本研究では、分子動力学シミュレーションを行うオープンソースアプリケーション「HOOMD-blue」を用いて、先行研究 (Engel et al., Nature Mater., 2015) の自己組織化による一成分系正 20 面体準結晶の再現実験を行った。シミュレーションによって得られたデータを分子モデリングツール「VMD」を用いて、可視化することで 5 回対称性を持った正 20 面体準結晶を見つけることができた。本発表では、準結晶の紹介、分子動力学の理論について説明を行い、実際に行ったシミュレーション方法、条件について示す。最後に今回のシミュレーションによって確認できた 5 回対称性を持った正 20 面体準結晶を示し、今後の展望を議論する。

307 大野優太 「3 次元フーリエ変換ソフトウェアの作成」

球状分子の 3 次元位置データを可視化するとともに、フーリエ変換を行い回折像を表示するプログラムを作成した。可視化された 3 次元モデルはマウスのドラッグや配置されたボタンで自由に回転できるようになっており、その回転に伴い回折像が連動して変化するようになっている。そのため様々な方向の実像と回折像から結晶軸を簡単に同定できる。卒業研究発表ではこのプログラムを作成するにあたり用いた高速フーリエ変換やハミルトンによって考案されたクォータニオン (四元数) について議論する。高速フーリエ変換は離散フーリエ変換を計算機上で高速に計算するアルゴリズムであり、計算回数を大幅に減らすことができる。クォータニオンは数学的には複素数を 3 次元空間に拡張した非可換代数系で幾何学的関係を代数的に記述することができる。とりわけ 3 次元空間の回転を高速計算するのに有用であるため 3D グラフィックスの分野においてよく用いられている。

[素粒子・宇宙]

-01- 一般相対論・宇宙論研究室(石橋：7名)

309 本家 佑樹 「重力波の振る舞いと検出原理」

一般相対論が提案されてから100年ほどが経ち、その提案直後から重力波の存在が予言されていたが未だ直接検出することには成功しておらず、いわばアインシュタインからの現代の私たちへの宿題になっている。検出が困難な理由は、重力波と物質との相互作用が弱いからである。しかしブラックホールどうしの合体やブラックホールと他の天体などの合体により放射される重力波については、日本および世界中で観測計画が進行している。重力波の直接検出が可能になれば、重力波天文学という新しい研究分野が生まれると期待されている。本発表では、ブラックホールはどのようなものなのかについて述べ、ブラックホールの摂動と重力波の偏極の観点からブラックホール時空中の重力波の振る舞いについて述べる。特に、重力波の検出原理とブラックホールの準固有振動について解説する。

377 林 昇由 「ブラックホール時空中の重力波」

重力波は一般相対性理論に特有の現象であり、中性子星など高密度天体の連星系、ブラックホールと天体の合体などの過程で放出されると予想されている。特に合体によりブラックホールが形成される場合には、その最終段階で放出される重力波の減衰振動に形成されたブラックホールの情報が含まれている。つまりブラックホール時空中の線形摂動の準固有振動を観測することにより、ブラックホールの性質を解明することができる。本発表では、真空中で静的球対称なブラックホールを表すシュワルツシルト時空中の試験的スカラー場および重力波摂動について考察する。先ず、スカラー場および重力波摂動に対する波動方程式を一次元シュレーディンガー型方程式に帰着させる。次に、波動解の準固有振動から、ブラックホール時空中の安定性やその質量が決まることを解説する。

319 森井 智也 「臨界ブラックホールからの Anti-de Sitter 時空」

超弦理論の発展により、反ドジッター(AdS)時空の重力理論とその境界上の場の量子論との対応原理の研究が進んでいる。AdS時空は負の宇宙項を持つアインシュタイン方程式の解であるが、真空中のブラックホール時空とも密接な関係がある。例えば電荷をもつライスナーノルドシュトルム解や角運動量を持つカー解でのブラックホールは、質量と合わせて2つのパラメーターを含むため、一般に2つのホライズンを持つ。その2つのホライズンが縮退した臨界ブラックホールのホライズン近傍を拡大する極限をとると、AdS時空が部分空間として現れることが確認できる。高次元のブラックホール解も同様に、縮退したホライズン近傍を拡大するとAdS時空が現れる。本発表では、様々な臨界ブラックホール解からどのようにしてAdS時空が現れるかについて紹介する。

346 齋藤 嘉宏 「AdS ブラックホールのトポロジー」

アインシュタイン方程式において計量に比例する項を宇宙項と呼ぶ。宇宙項が正の場合の極大対称空間をドジッター時空、負の場合を反ドジッター(AdS)時空と呼ぶ。前者はインフレーションなど宇宙論の文脈で、後者は主にブラックホールの理論的研究で重要な時空モデルを提供する。宇宙項のない漸近平坦なブラックホールは、ガウス・ボンネの定理により球面的位相構造しか持ち得ないことが証明されているが、負の宇宙項を含む場合は様々な形状のホライズンを持つことが可能である。具体的に4次元AdSブラックホールの場合、球面、平面、双曲面を取ることがわかる。今回の発表ではガウス・ボンネの定理がどのようにしてブラックホールのトポロジーを決めるのか、またその定理を多次元のブラックホールへどう拡張するかを考察する。

329 清原 翔 「AdS ブラックホール熱力学」

ブラックホール力学と熱力学の法則は類似しており、ホライズン上の重力加速度を温度、質量をエネルギー、面積をエントロピーとして第0、第1および第2法則との対応が成り立つ。さらに量子効果によりホライズンの重力加速度を温度とする黒体放射をすることがホーキングにより示されている。そのため量子重力理論の構築にはブラックホール熱力学を深く理解することが必要である。負の宇宙項を含む漸近的な反ドジッター時空のブラックホールは、その熱力学的振る舞いが漸近平坦な場合とは違い、一種の相転移を起こすことが知られている。ホーキングとページにより発見されたこの相転移はホライズンが球面的なときに調べられている。本発表ではホーキング・ページ相転移が平面や双曲的なホライズンの場合にも起こるかどうかを、自由エネルギーの観点から考察する。

384 武谷 元気 「高次元 AdS ブラックホールとブレーン宇宙」

高次元統一理論では、我々の4次元宇宙が高次元時空の膜状物体(ブレーン)として存在する可能性が示唆されている。しかし観測的宇宙に存在するダークマター、ダークエネルギー、バリオンなどの重力を考慮すると、埋め込まれた高次元時空そのものが曲げられることになる。このようなブレーンの自己重力効果をうまく取り入れる方法として、5次元の負の宇宙項をもつブラックホール時空の境界に我々の4次元宇宙が実現されるとするブレーン宇宙モデルがランドールとスンドラムにより提案された。今回の発表では、4次元宇宙の自己重力を考慮したブレーン宇宙モデルを紹介し、4次元の一様等方モデルやミンコフスキー時空がどのように記述されるかを解説する。また、より一般のブレーンワールドに対して成り立つ、ブレーン上のアインシュタイン方程式について解説する。

323 大橋 輝道 「AdS ブラックホールと超伝導」

反ドジッター(AdS)ブラックホール(BH)時空の境界は一次元低い時空と見なせ、ここでは素粒子や物性など場の量子論が関わる様々な現象が生じます。超弦理論の枠組みかマルダセナによって発見された「AdS/CFT 対応」により、AdS 時空上の重力現象とその無限遠の境界時空上で生起する量子物理現象とが密接な関係を持つことが分かってきました。特に AdS-BH 重力不安定性とその境界時空上での相転移現象が結び付き、その典型例が超伝導現象を AdS-BH によって理解する「ホログラフィック超伝導」という試みです。本発表では AdS/CFT 対応とその対応原理を用いて一般相対論で量子物理現象を解明する処方箋を概説し、電荷を持つ AdS-BH で超伝導現象を特徴づける電気伝導率やマイスナー効果を一般相対論を用いてどこまで理解できるかを紹介します。

-02- 素粒子論・重力理論研究室(太田：5名)

312 藤井 陽子 「重力の量子論に向けて ～場の量子論ではなぜ発散が生じるのか～」

場の量子論は素粒子の相互作用を相対論的に取り扱うための手法である。相対性理論によれば、素粒子が相互作用により、別の粒子を生じることがある。この手法により、高次の量子効果を計算すると、場の理論特有の発散が生じてしまう。その発散をくりこみ項により取り除くプログラムが、本卒業研究の共通テーマである「くりこみ」である。重力の量子論を計算すると、発散が生じてしまうのだが、その発散は場の量子論の発散では取り除けない。しかし、これを理解するためには場の理論の発散とくりこみ可能性について理解する必要がある。本発表では、くりこみ理論が成立している量子電磁気学を例にとり、くりこみをする前の発散に着目し、それがなぜ生じるのかという原因を質量、電荷、磁気モーメントに分けて説明する。

378 奥西 沙織 「重力の量子論に向けて ～質量のくりこみ～」

素粒子の相互作用を記述する場の量子論を用いて計算を行うと、発散、すなわち無限大になることがある。実験では発散という結果が得られることはないため、計算結果が発散となることは問題である。このような問題を解決するための数学的な技法をくりこみという。くりこみは無限を取り除き、計算結果を有限とするものである。重力理論においてくりこみがうまくいくかどうかを調べるために、まず、量子電磁気学において調べる。本論文では、発散の種類についてまとめるとともに、磁気モーメント、電荷などの様々なものの中でも、質量に関係するくりこみを考え、電子の量子場のくりこみと、電子の質量の再定義によって、loop の発散を取り除くことができるということを知りこみの手法を用いて明らかにしていく。

374 山口 泰央 「重力の量子論に向けて ～電荷のくりこみ～」

素粒子を相対論的に記述し、その生成消滅を含む相互作用を記述できるようにしたのが場の量子論である。場の量子論では、量子論的效果を入れることで発散が生じてしまう。この発散は素粒子の弱い相互作用、強い相互作用、電磁相互作用においては、くりこみという手法により、無限大になる項を取り除き、物理的値について有限の値になるように計算することが出来る。一方、重力を記述する一般相対論を場の量子論として取り扱うとくりこみが出来ない。本発表では、量子電磁気学において、ファイマンダイアグラムにより散乱振幅を導出する過程を説明して、次にその式のループの積分を計算する。とくに電荷に生じる発散について、それをどう繰り込んで有限の値を得るのかについて発表する。

319 川崎 涼平 「重力の量子論に向けて ～発散とくりこみ・異常磁気モーメント～」

場の量子論を用いれば素粒子の相互作用を記述することが出来る。しかし量子論的效果を考えると、本来有限であるべき量が発散する結果を得ることがある。これをくりこみによってその発散を回避し意味のある結果を導き出すことができる。現在は重力以外の相互作用でくりこみが可能である。重力の量子論を理解するためには、重力以外の理論で発散とくりこみを理解しておく必要がある。電子の磁気モーメントはディラック方程式により $g=2$ と算出されているが、量子電磁力学では発散するのでくりこみを行う。そうして得られた値はディラック方程式における磁気モーメントの値とは僅かに異なる。その異常磁気モーメントは、実際の測定による電子の磁気モーメントの値に極めて近い。発表では場の量子論での電子の磁気モーメントの発散とそのくりこみ、異常磁気モーメントの算出について論じる。

332 久常 大樹 「重力の量子論に向けて～一般相対論はなぜくりこみ不可能なのか～」

場の量子論では粒子の相互作用を考え散乱振幅を量子論により計算すると無限大になることがある。ラグランジアンよりフェインマングラフを描き、ルールに従いループ部分の運動量積分を行うことで発散が生じるためである。この生じた発散はくりこみという方法により取り除く事ができる。質量・結合定数などを実験値をもとに再定義し、発散をくりこむことで散乱振幅が無限大をなるのを回避することができる。このくりこみはどんな相互作用においても可能というわけではない。電磁相互作用を考える量子電磁気学(QED)では可能であるが、重力の効果を取り入れる一般相対性理論ではくりこみは不可能である。本論文では QED のくりこみについて触れ、くりこみが可能・不可能はどのようにして判断できるのか、また一般相対論ではなぜくりこみが不可能なのかについて説明する。

-03- 宇宙論研究室(井上 : 4 名)

306 赤井優貴 「Planck 衛星の CMB データを用いた宇宙のトポロジーの制限」

現代宇宙論では、一様等方宇宙を表す 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より空間の曲率を決めることができる。宇宙の曲率は密度パラメータによりゼロ曲率空間、負の定曲率空間、正の定曲率空間の3つに分類される。もし宇宙が「形」を持つ即ち大域的な一様等方性が破れているとすればゼロ曲率や負曲率の空間を閉じさせることができる。このような空間を多重連結空間という。もし宇宙が多重連結空間であるとすれば CMB の温度揺らぎの相関をとること宇宙の大きさに制限をつけることができる。本研究では Planck 衛星によって観測された CMB の温度揺らぎのデータを用いて、全天における温度揺らぎマップを作成し、任意の2つの円上でそれぞれの温度揺らぎの相関をとった。本発表では、宇宙の多重連結性とトポロジーの関係性について説明した後、解析によって得られた相関の分布について報告する。

330 茂野智幸 「重力レンズ効果の数値的解法」

一般相対性理論に基づくと、銀河などの大きな質量を持つ天体があるとその影響で時空が歪み、背景にある天体からの光の経路が変化する。このように、あたかも重力源がレンズのような働きをしているように見えるのが、重力レンズ効果である。重力レンズ効果を表す重力レンズ方程式では解との1対1の関係が成り立たないため、方程式を数値的に解く際には解の可能性がある領域をくまなく調べる必要がある。点光源や広がった光源のモデルから多重像を求める際、直接重力レンズ方程式を用いる事はパラメータが多いため非常に時間がかかり困難である。この問題を解決するため、一度像から光源の位置関係を重力レンズ方程式を数値的に解くことで求めた後、その対応関係を利用して光源から像の座標を求める方法をとる。本発表では、作成したプログラムソフトを用いて得られた重力レンズ効果による多重像の振る舞いとその数値精度に関する解析結果について報告する。

368 堀口康男 「キューサーMG0751+2716の重力レンズモデル」

宇宙の構想形成を引き起こす重力の源となっている質量のほとんどは正体不明のダークマターである。ダークマターは宇宙の組成の約26%を占めているが電磁相互作用を示さないため光学的に観測できない。しかし重力レンズ現象による多重像を解析する事により、ダークマターによる重力的効果を直接観測することが可能である。本研究ではキューサーMG0751+2716について既存の重力レンズ解析ソフトを用いて、レンズ像の位置のフィットを試みた。計算によって得られるレンズ像の位置が測定値と著しく異なる時、レンズ銀河内のサブハローや視線方向の天体の重力的効果によってレンズ像の位置が変化している可能性がある。本発表では、レンズ像のフィットの結果とその解釈について報告する。

316 神吉貴文 「サブミリ波銀河SDP.81の重力レンズモデル」

SDP.81は2014年10月に行われた長基線試験観測の一環としてALMA(アタカマミリ波/サブミリ波干渉計)で観測された、天の川銀河の約500倍のペースで星を生み出す爆発的星形成銀河である。視線方向にある別の銀河の重力レンズ効果により到来する光がゆがめられアインシュタインリングが見られる。今回の研究ではSDP.81のダスト連続光を用いて作成された重力レンズモデルを使ってSDP.81の一酸化炭素輝線の輝度分布を推定した。もしレンズモデルが正確で、観測のノイズが無視できるのであれば複数のイメージから得られたソースイメージは観測されたソースイメージと同一のものになるが、実際にはレンズモデルのエラーや観測されたイメージのノイズのため異なってくる。本発表では、推定される一酸化炭素輝線の輝度分布と各イメージから再構築されたソースイメージ間の誤差及びその解釈について報告する。

-04- 素粒子実験研究室(加藤 : 3 名)

314 白井 康人 「MPPCの増倍率と逆バイアス電圧の依存性」

当研究室では半導体光検出器であるMPPC (Multi Pixel Photon Counter) を使ったトリガーカウンターを用いている。トリガーカウンターはシンチレータとMPPCで構成されている。シンチレータは荷電粒子が通過することで光が発生し、その光を光検出器であるMPPCで検出して荷電粒子が通過したことを確認する。MPPCとは複数のガイガーモードAPD(アバランシェ・フォトダイオード)のピクセルから成るフォトンカウンティング・デバイスである。本研究では様々な特性を有するMPPCの特性の一つの逆バイアス電圧と増倍率の依存性について調べた。MPPCの増倍率の変化をLEDとMPPCを用いた装置でデータを測定して解析した。逆バイアス電圧を大きくすると増倍率も大きくなり増倍率は逆バイアス電圧に比例することが分かった。

348 金山和馬 「GEMを用いたガス検出器におけるシミュレーションによる理解」

当研究室は、電子陽電子衝突型加速器ILCに用いる中央飛跡検出器、TPC (Time Projection Chamber) の開発を行っている。TPCとは、荷電粒子の飛跡を3次元で測定する検出器である。このTPCの電子増幅機構にGEM (Gas Electron Multiplier) を用いるが、飛跡の位置を精度よく測定するためには、GEMの増幅率が重要である。よって、GEMの理解のためには、シミュレーションによって理想的な増幅率を評価することが必要である。そこで本研究は有限要素法を用いたGEMモデルで、電場と電子増幅のシミュレーションを行い、増幅率を調べた。しかし、本来の増幅率とは異なった結果を得た。シミュレーションに用いたソフトは、有限要素法を用いてGEMモデルを作るGmsh、電場計算ソフトであるElmer、シミュレーションを行うGarfield++の3つである。この3つを用いて電子一個のシミュレーションを行った。

341 木野秀俊 MPPCの波長依存特性の測定

半導体光検出器 MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)の様々な基本特性のひとつである検出効率が波長に依存することを、異なる波長の LED を用いて確認した。検出効率とは MPPC に入射したフォトンのうち MPPC が検出したフォトン数の割合のことをいう。検出効率を測定するためには、入射フォトン数が必要であり、今回は LED のカタログスペックから立体角当たりのフォトン数を求めて、それを入射フォトン数として用いた。そして、最大感度波長の信号の大きさを基準として、各波長における信号の割合を相対的な検出効率として求めた。その結果、最大感度波長の LED の光を当てたときの MPPC の信号は他の波長の LED の光を当てたときより大きいことが確認された。また、長波長になるにつれて検出効率は減少することがわかった。

-05- 原子分子物理学研究室(日下部 : 3 名)

369 渡辺 颯祐 「希ガス原子との衝突における低速リチウム 1 価イオンの電荷移行断面積に関する研究」

リチウム (Li) 原子をプラズマ中に拡散させ、それらの電荷等の分布を計測するという核融合プラズマの「診断」方法がある。特に、低温の周辺プラズマやダイバータプラズマのモデリングには、低速域で支配的な電荷移行過程の断面積が不可欠である。先行研究で、Li イオンと種々の原子や分子との衝突における電荷移行過程の全断面積の理論的予測値や測定データに関する文献調査 (1960~2009 年代) が行われた。本研究では、まずこの調査結果から、1 価の Li イオンと希ガス原子の衝突系に対するデータベースを作成した。これらの結果から、He、Ne、Ar 衝突系では、10keV 以下の低エネルギー領域の測定値や計算値において、 10^{-18}cm^2 台のと 10^{-16}cm^2 前後のとで意見が分かれている。そこで、Rapp-Francis や Olson の簡便な理論計算を行った。また Ar については予備測定の結果を交えて総合的に議論する。

351 中西 雅志 「フロン系分子との衝突における低速陽子の電荷移行断面積に関する研究」

フロンガス等によって大気中のオゾンが減少してオゾンホールが形成され、紫外線の増大や地球温暖化への悪影響が取り沙汰されている。一方、太陽から太陽風と呼ばれるプラズマ粒子が放出され、地球磁気圏においてオーロラを発生させている。オーロラは加速された電子の気体分子との衝突が主因であるが、陽子も部分的に関与しているとの説もある。そこで本研究では、まず種々のフロン系分子の種類、用途、化学的性質、物理量などについて調べた。また、陽子と種々のフロン系分子との衝突における電荷移行過程の全断面積の理論的予測値や測定データに関する文献調査を行った結果、六フッ化硫黄 (SF_6) に対する測定値に関する文献の 1 本のみであった。そこで、 SF_6 と四フッ化炭素 (CF_4) に対して Rapp-Francis や Olson の簡便な理論計算を行い、また予備測定の結果を交えて総合的に議論する。

345 松原 友広 「永久磁石を使用した小型多価イオン源の開発 VI - Dresden EBIS/T の電磁場および電子ビーム軌道解析 II -」

1997 年に当研究では、リング状永久磁石を 1 個用いた小型多価イオン源 (micro-EBIS) を開発し、Ne の 7 価イオンや Ar の 11 価イオンなどが引き出され、多価イオン衝突の研究が行われた。一方、ドレスデン工科大学では、リング状永久磁石 2 個からなる小型多価イオン源 (Dresden EBIS/T) を開発し製品化している。昨年度の先行研究では、ミュンヘン社の電磁場解析ソフト ($\mu\text{-Excel}$) を用いて Dresden タイプの EBIS がモデル化され、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。しかし、電子銃部の磁束密度分布の実測値との違いなど、問題点が残された。本研究では、これらの問題点を解決するために、昨年度のモデルを見直し、より精度の高い解析を行った。その結果、電子銃部のグリッド電極の電位は想定値よりも高くしなければならぬことがわかった。

-06- 素粒子・宇宙物理学研究室(千川 : 5 名)

344 早雲 秀 「CTA 計画概要及びアクチュエータ補正量計測試験」

CTA 計画は大規模なチェレンコフ望遠鏡群による超高エネルギー 20GeV~200TeV の宇宙ガンマ線の観測を行い、宇宙線の起源等の解明を目的とした 32 カ国が参加する国際共同プロジェクトである。日本は低エネルギー領域 20~1000GeV をカバーするため、大口径望遠鏡 LST の R&D を進めている。望遠鏡には分割鏡が取り付けられ、ガンマ線が引き起こす空気シャワー現象により生成されるチェレンコフ光を集光して観測する。しかし、LST は 1 枚約 50 kg の分割鏡を 198 枚付けるため自重や風の影響を受けやすく、分割鏡の光軸の向きがずれることが予想される。そこで分割鏡に取り付けられたアクチュエータを制御することにより、光軸の向きを補正する。現在、近畿大学ではアクチュエータによる補正精度の確認および向上を目的とした実験を行っている。本発表では、CTA 計画の概要及びアクチュエータ補正量計測試験について報告する。

349 三嶋 穂高 「CTA 計画 LST R&D -AMC システムアクチュエータ精度測定試験-」

宇宙ガンマ線によるカスケードシャワーからのチェレンコフ光量は入射エネルギーに依存し、エネルギー領域 20~1000GeV を観測するための LST の口径は大きくなる。構造体の重量が大きくなり、仰角に依存した自重による静的歪みや回転する際に動的歪みが生じる。高精度 AMC システムは、構造体の歪みによる光軸の向きのずれを能動的に補正するシステムで、補正の精度は観測データの質に大きな影響を与えるため、CTA 計画の要と言える。補正量は各分割鏡に設置されたレーザー装置と CMOS カメラを用いて決定する。本試験ではプログラム中で乱数を用いてアクチュエータを動かし、実際の LST で発生するレーザースポットのずれを擬似的に作る。このずれたレーザースポットを撮影し、オンラインで基準点に繰り返し補正することでアクチュエータの補正精度を調べる。本発表では AMC システムにアクチュエータ精度測定試験の概要について報告する。

342 山形 秀平 「CTA 計画 LST R&D-MPI における 1/8 スケール LST 運用試験-I」

高精度 AMC システムではアクチュエータと制御用 PC との接続は無線により行われる。無線通信はコスト削減とメンテナンスの軽減を図ることができる一方、通信に用いる個々の装置の距離や LST に使用するフレーム構造による信号の遮蔽・干渉などがあるため安定した接続を維持する必要がある。接続が不安定になる条件を確認し対処を施すため、ミュンヘンにある MaxPlanck 高等物理学研究所(MPI)において試験を行ってきた。試験では LST を構成する分割鏡を 4 枚使用し、それぞれに 2 個のアクチュエータを取り付けた 1/8 スケール試験構造体を用いた。2015 年 1 月から 12 月の期間で 15 分毎に 1 回の通信試験を継続的に行い 10 月までにほとんどの不具合は改善され、アクチュエータの安定した稼働が可能になった。本発表では通信の不具合や信号強度の変化を時刻・気象など等の条件と併せて解析した結果について報告する。

315 浦里 拓嗣 「LST のジク接合ボンド強度試験」

LST の分割鏡とアクチュエータを固定する接着剤について、「E-60HP」と「E-20HP」、「AV138/HV998」の三種類を用いて最大硬化に要する加熱温度と時間を最適化する条件を定める強度実験を行った。これは砂漠環境下で 1 枚 50kg、対辺長 1.51m の六角形の分割鏡を 10 年以上支え続けるので、より強力に接着できる条件を求める必要があるためである。実験は、JIS 規格の接着剤の強度試験に基づいた引っ張り剪断試験及び面断裂試験である。24 時間の硬化後更に硬化を増強させるため温度 80 度、1.5 時間加熱とした条件での「E-20HP」がこれまでは最適であったが、「AV138/HV998」が温度 80 度、2 時間加熱で最も大きな強度を示した。異なる二つの試験の結果、固定用接着剤は「AV138/HV998」が最適と判断される。これまでの接着強度の評価実験及び今後の展望について報告する。

364 廣瀬 一樹 「Toy モデルによる電磁カスケードシャワーシミュレーション」

宇宙からは大量の宇宙粒子線が地球に到来し、地上に降り注いでいる。宇宙に起源するものを一次宇宙線、大気と反応して生成する粒子とそれらが作り出す粒子群を二次宇宙線という。一次宇宙線中のガンマ線及び二次宇宙線として発生したガンマ線は大気中で電子と陽電子を対生成する。生成された電子と陽電子は大気中の原子核や電子のクーロン場を通過する時に相互作用をして加速度運動をする。加速度を受けた電子・陽電子は制動輻射によりガンマ線を放出し、臨界エネルギーに達するまで上述の反応を繰り返す。この一連の過程を電磁カスケードシャワーという。CTA 計画では地上に設置しているガンマ線望遠鏡を用いて TeV 領域までの高エネルギーガンマ線を観測する。本実験の発表では電磁カスケードシャワーの複雑な物理的過程を簡素化してシミュレーションし、生成されたシャワー中の電子の空間的広がりなどについて報告する。

-07- 理論物理研究室(中原 : 3 名)

381 小林真優里 「CP 対称性の破れ」

電氣的に中性な K 中間子は、本来ならば $K_S \rightarrow \pi + \pi$ と $K_L \rightarrow \pi + \pi + \pi$ の崩壊のみが起こるとされていた。しかし実際には $K_L \rightarrow \pi + \pi$ の崩壊も実験で観測された。この現象を説明するために導入されたのが CP 対称性の破れである。しかしこの K 中間子での CP 対称性の“わずかな”破れを説明するには、当時考えられていた素粒子模型の 2 世代型では自然な説明ができなかった。よってこの現象を説明づけるために、小林・益川らによって現在の標準模型である 3 世代型への拡張がされた。この功績がたたえられて彼らがノーベル賞を受賞したのは 2008 年のことであった。この卒業研究では、クォークの 2 世代型から 3 世代型への拡張を CP 対称性の破れより説明すると共に CP 対称性を破るために必要な条件を述べていく。

368 三重野嵩信 「ニュートリノ振動」

ニュートリノはレプトンに属する素粒子で、各々が弱アイソスピン対を成す粒子に対して 3 つのフレーバーを持つ。それぞれを電子ニュートリノ・ミューニュートリノ・タウニュートリノと呼び、 $\nu_e \cdot \nu_\mu \cdot \nu_\tau$ と表記する。ニュートリノが質量を持たないと仮定する場合、各フレーバーは生成されたときに決まった状態から変化しない。しかし、質量をもつと仮定した場合、各フレーバーの存在確率は質量の固有状態の時間発展により、周期的な変化を見せる。この現象をニュートリノ振動と言い、1998 年、スーパーカミオカンデにおける大気ニュートリノの観測実験により確認されニュートリノが質量をもつということが証明された。今回、このニュートリノ振動についてフレーバーが 3 種るとき、どのような振動を見せるのかについて研究した。

339 山口悠樹 「土星の環の形成に関するシミュレーション」

土星の環は複数の小さな環とその間の空隙で構成されており、主に内側から順に D,C,B,カッシーニの間隙,A,F,G,E という構造になっている。また、各環は大部分が氷の粒子で構成されていることも知られているが、まだ解明されていない構造も多い。本研究では環を構成する粒子と、それらに干渉する複数の衛星との間の関係を調べ、土星の環がどのように形成されているのかをシミュレーションによって確かめる。現在は土星に近く質量も大きいミマス、エンケラドゥス、テティスの 3 つの衛星によって形成されるカッシーニの間隙のシミュレーションを試みている。カッシーニの間隙付近では粒子の公転周期がミマスの 1/2、エンケラドゥスの 1/3、テティスの 1/4 になっており、このために粒子は 2n 回公転するとミマスに、3n 回公転するとエンケラドゥスに、4n 回公転するとテティスに接近することになる。