



東邦大学

平成27年度 東邦大学理学部物理学科
東邦大学大学院理学研究科物理学専攻
卒業・修士・博士論文予稿集

卒業論文発表会

平成28年2月12日（金）・13日（土）

修士・博士論文発表会

平成28年2月18日（木）

発表会場

理学部 IV 号館大学院セミナー室

目次

卒業論文発表会プログラム.....	- 3 -
卒業論文要旨.....	- 6 -
修士・博士論文発表会プログラム.....	- 22-
博士論文要旨.....	- 23 -
修士論文要旨.....	- 24 -

卒業論文発表会プログラム (講演9分、質疑3分)

※ 状況により時間変更の場合があります。

場所：理学部 IV 号館大学院セミナー室

平成28年2月12日(金)

開会

9:00 ~ 9:05

表面物理.....

- | | |
|---|--------------|
| | 9:05 ~ 10:05 |
| 1. 原子間力顕微鏡(AFM)による Goethite への Cs 吸着形態の観察 | 関口 孝平 |
| 2. XPS による Goethite (α -FeOOH) 表面への Cs 吸着における Fe 2p の挙動 | 向後 悠希 |
| 3. FIM による電界蒸発の W-tip 構造変化の観察 | 佐藤 亮二 |
| 4. 昇温脱離法によるシリカガラスからの水・水素の挙動 | 小林 瑞希 |
| 5. ステンレス鋼を透過する重水素の表面数密度と脱離の時間依存性 | 山端 凱成 |

ツーステップ.....

- | | |
|---------------------|---------------|
| | 10:15 ~ 10:39 |
| 6. 太陽熱の利用に関する授業の開発 | 河井 祐子 |
| 7. 光の分光と解析に関する授業の開発 | 土井 菜摘 |

基礎物理.....

- | | |
|--|---------------|
| | 10:44 ~ 12:08 |
| 8. ハドロン反応から放出される核破砕粒子探索によるタウ崩壊バックグラウンドの研究 | 大久保 岬 |
| 9. 多重電磁散乱を用いたグザイ粒子識別法によるハイパー核探索 | 石井 勝好 |
| 10. J-PARC T60 実験のための鉄板コンタクトテスト及び新原子核乾板の性能評価 | 林 拓馬 |
| 11. ニュートリノ精密測定実験に用いられる原子核乾板のリフレッシュとその評価 | 佐藤 陽一 |
| 12. J-PARC T60 実験における貫通ミューオンとニュートリノ反応の二次粒子運動量の測定 | 浦野 康平 |
| 13. J-PARC T60 実験における高電離粒子を用いたニュートリノ反応の探索 | 岡田 悠久 |
| 14. J-PARC ニュートリノビームラインにおける反ニュートリノ反応断面積の測定 | 黒尾 奈未 |

磁気物性.....

- | | |
|--|---------------|
| | 13:00 ~ 15:00 |
| 15. エピタキシャル歪みを利用した $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜の磁気的性質の変化 | 山口 郁夫 |
| 16. 高周波マグネトロンスパッタリング法を用いた $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜($x = 0.37, 0.54, 0.61, 0.76$)の作製 | 草野 信人 |
| 17. 秩序型 RBaMn_2O_6 (R :希土類)の酸素欠損が物性に与える効果 | 保利 美幸 |

- | | |
|---|--------|
| 18. ペロブスカイト型 Eu 酸化物 $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3 (0 \leq x \leq 1)$ の試料作製と電気磁気特性 | 越川 修人 |
| 19. ランダム軸異方性が RKKY 型アモルファススピングラス GdSi の磁気相転移に与える影響 | 中澤 由紀恵 |
| 20. ランダム軸異方性が RKKY 型アモルファススピングラス $a-\text{GdSi}$ の磁気相転移に与える影響 | 元木 亨祐 |
| 21. A サイトを乱したスピネル化合物 $(\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x)\text{Al}_2\text{O}_4$ の磁氣的性質 | 黒子 恵 |
| 22. スピンアイス $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ における A サイト磁性元素置換の磁気緩和への影響 | 亀澤 日向 |
| 23. $\text{MgO}(001)$ 基板上の $\text{Fe}/\text{Ag}/\text{Cr}$ 三層膜のエピタキシャル成長とその残留磁化のローダイナミクス観測 | 向井 慶太 |
| 24. エピタキシャル $\text{Fe}/\text{Ag}/\text{Cr}$ 三層膜の磁化ローダイナミクス | 横山 京祐 |

宇宙・素粒子.....

- | | |
|--|---------------|
| | 15:10 ~ 17:10 |
| 25. 連星中性子星の合体による重力波の放出 | 峯田 果林 |
| 26. レンズ天体の質量分布が強い重力レンズ効果に与える影響 | 原田 大慧 |
| 27. 強い重力レンズ効果によるダークエネルギーへの制限 | 山中 滉太 |
| 28. ダークマターの重力下でのバリオン密度揺らぎの時間発展 | 神山 秀成 |
| 29. REISSNER-NORTSTROM ブラックホール周りの粒子の軌道について | 武内 敦志 |
| 30. 地球の自転による相対論的効果の GPS の補正 | 鶴見 優樹 |
| 31. ダークマターハロー外縁部での速度分布 | 堀内 拓斗 |
| 32. 銀河団外縁部における質量降着 | 朝比奈 研太 |
| 33. 一般相対論を用いた球対称星の構造の数値的解析 | 矢作 聡汰 |
| 34. 光子計数型テラヘルツ干渉計の開発に向けて | 川村 祐太 |

平成 28 年 2 月 13 日 (土)

物性物理.....

- | | |
|---|--------------|
| | 9:00 ~ 10:48 |
| 35. 分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ における超伝導コヒーレンス長 | 志村 奈々 |
| 36. 3次元有機超伝導体の探索 | 阿部 聖太郎 |
| 37. $\theta\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{TlZn(SCN)}_4$ における電荷秩序形成 | 久次米 勇輝 |
| 38. 有機伝導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ の超伝導 | 高橋 純 |
| 39. $\kappa\text{-(BETS)}_2\text{FeX}_4 (X=\text{Br}, \text{Cl})$ の磁場下での比熱 | 須山 渉 |
| 40. $\kappa\text{-(BETS)}_2\text{Fe}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Br}_4$ の反強磁性転移における比熱、電気抵抗 | 富永 陽平 |
| 41. $\alpha\text{-(BEDT-X)}_2\text{I}_3 (X = \text{TTF}, \text{TSF}, \text{STF})$ の金属-絶縁体転移 | 木田 悠斗 |
| 42. 分子性ディラック電子系のゼロモードランダウ準位: スピン分裂 vs. バレー分裂 | 須佐 直人 |
| 43. 分子性ディラック系電子への電子注入効果 | 松崎 広晃 |

原子過程.....

	11:00 ~ 12:00
44. 蛍光 X 線分析におけるウラン測定に特化した一次 X 線フィルターの探索	山田 隼也
45. 電子衝突による CF ₄ 分子の励起微分断面積の測定	善田 晶子
46. イオン付着飛行時間型質量分析装置の分解能向上のための研究	武内 康平
47. 散乱電子—イオン同時計測による重水素分子の二電子励起状態の研究	荒巻 佑介
48. イオン照射によりタングステン表面から反跳された励起原子の発光に関する研究	李 冠億

物性理論.....

	13:00 ~ 15:00
49. 金属流体の回転運動から生成されるスピン流	山田 美咲
50. 厳密対角化法による格子欠損を与えたグラフェンの状態密度	秋田 百合香
51. グラフェンの電荷中性点近傍の電子状態に対する乱れの効果	小川 健太郎
52. ラシュバ型スピン軌道相互作用を有する系におけるスピン依存電気伝導	小林 芳成
53. ラシュバ型スピン軌道相互作用を有する系における電子波束の運動	星 幸治郎
54. ジャロシンスキー守谷相互作用を有する強磁性体中のスピン波のホール効果	郷 大輝
55. 外部磁場による磁壁移動に対する磁気異方性の効果	長谷川 雄一
56. Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を有する強磁性磁壁の電流駆動	蛭田 柊
57. 交流電流による強磁性磁壁の運動	金松 竜人
58. 電圧変調による磁気渦構造のダイナミクス	杉浦 拓海

量子エレクトロニクス.....

	15:10 ~ 17:10
59. LIDAR を用いたリモートセンシングの研究	菅原 直人
60. LIDAR 装置による大気エアロゾル粒子の観測	谷口 博昭
61. 高周波電流による植物の生長に対する影響	竹内 なつみ
62. 植物の生長に対する高周波電流の影響	池田 ひかり
63. GAFCHROMIC Film EBT3・EBT-XD における炭素線線量の応答試験	新井 千夏
64. 共鳴イオン化分光法による Ti の 3d ² 4s4d ³ F ₂ 準位の励起寿命の測定	香田 真吾
65. Ba 原子の 6s5d ³ D ₂ —5d6p ³ F ₃ 遷移におけるシュタルク効果の研究	山口 大和
66. Ba 原子の高励起状態 5d6p ³ F ₃ におけるシュタルク分光	根谷 壮
67. テーパー型ガラスキャピラリーにおける光の透過率の測定	國谷 崇文
68. 形状依存性の解明に向けたテーパー型ガラスキャピラリーにおける透過率の測定	増山 貴文

表面物理

1. 原子間力顕微鏡(AFM)による Goethite への Cs 吸着形態の観察

関口 孝平

AFM を用い土壌鉱物である Goethite の劈開面観察を行った。その結果 Goethite 特有の針状結晶を観察することができた。画像の高さ分布を求めた結果、高さが b 軸格子定数の約 1/2 倍のステップ構造を示したことから、劈開面は (010) 面だと分かった。また、Cs 吸着形態を観察するために、Goethite 表面への Cs 蒸着装置を新規に作製した。装置には Shutter を直線導入端子に取り付け伸縮させることにより、同一の Goethite 試料に蒸着量の異なる試料面を作成できる構造にした。Cs 蒸着した試料を観察し、同様に高さのヒストグラムを求めた結果、蒸着量の違いでステップに変化が生じた。

2. XPS による Goethite (α -FeOOH) 表面への Cs 吸着における Fe 2p の挙動

向後 悠希

昨年度、XPS を用いて Goethite 表面における ^{133}Cs の吸着形態について研究を行ったところ、 O^{2-} のみケミカルシフトしていることから O^{2-} サイトに ^{133}Cs が選択的に吸着していることが報告された。しかし、Goethite の構成成分である Fe 2p が観測されなかった。その理由として、天然鉱物結晶に存在する不純物の影響が考えられるため、Goethite 表面を洗浄することにより Fe 2p を観測することを試みた。洗浄方法は硝酸等で洗浄したものを試料とし、 ^{133}Cs を蒸着させた。その結果、洗浄した Goethite でも昨年同様 O^{2-} サイトに ^{133}Cs が選択的に吸着していることが分かり、さらに Fe 2p の観測に成功した。

3. FIM による電界蒸発の W-tip 構造変化の観察

佐藤 亮二

電界イオン顕微鏡 (FIM) を使用して多結晶 W-tip (タングステンティップ) の FIM 像を撮影した。結像ガスとして He ガスを使用した。W-tip 製作に関しては、電界研磨装置にマイクロメーターを取り付け、研磨液に浸す W 線長を調節することにより、W-tip の形状の再現性を高めることが出来た。撮影した FIM 像から、ステップのキंकサイト原子が電界蒸発によって解離していく W-tip の構造変化の過程を観察できるように FIM 像の露光時間を 6 秒とし、輝度を上げるために複数の FIM 像の輝度を積算した画像を作成した。積算枚数を調整し、W-tip の構造変化の過程を観察した。

4. 昇温脱離法によるシリカガラスからの水・水素の挙動

小林 瑞希

ガラスに吸着・吸蔵した水の影響によってクラックが生成される現象は古くから知られており研究が進められている。本研究ではガラスへの水の吸着・吸蔵過程を明らかにするため昇温脱離 (TPD) 法を用いて測定を行った。脱離気体の分析には四重極型質量分析計を用いた。試料には粒径 0.1mm のシリカビーズを使用した。TPD スペクトルから得られるピークの脱離温度は吸着分子の活性化エネルギーに対応し、昇温速度を変化させた実験をすることで、複数の脱離機構の存在を見出した。また、得られたスペクトルから脱離ピーク解析から、反応の次数を求めた。

5. ステンレス鋼を透過する重水素の表面数密度と脱離の時間依存性

山端 凱成

走査電子線を用いて電子衝撃脱離(ESD)イオンによるステンレス鋼表面の重水素数密度に起因するイオン数の時間変化を測定した。イオン数は ESD 画像の輝度から得ていたが、定量性確保の為にパルスカウント方式へ改造した。ステンレス試料温度を一定(200, 250, 300°C)に保ち、試料背面に重水素ガスを曝露し、時間を追って表面イオン数と気相に脱離する重水素の分圧を測定した。各温度で表面数密度と分圧は時間と共に増加し重水素の透過が確認され、表面数密度の時間変化は拡散と脱離のバランスによって決定され温度により異なることが分かった。

ツーステップ

6. 太陽熱の利用に関する授業の開発

河井 祐子

再生可能エネルギーの一つである太陽熱利用について、太陽の熱のエネルギー についてわかり、より多くのエネルギーの利用ができる方法を 考えさせる授業 の開発を目的とした。実験教材については、加熱対象・形状・材質・保温方法の 検討をし、ソーラークッカーのように太陽の熱 により温度を上げる実験器具を 設計した。授業での教材の活用を探るために、大学生に器具の条件の比較検討が できる実験の授業をした。その 結果、再生可能エネルギーの理解が深まり、実 験により適した器具を選択できた。また、実験方法の指導時の改善点がわかった。

7. 光の分光と解析に関する授業の開発

土井 菜摘

光の分光は、光の性質の学習に加え、原子や恒星の理解にも重要である。分光器の検討の結果、コストと利便性を考慮して DVD 簡易分光器 とし、解析は Spectral Workbench を使うこととした。光源は安全性と、観察と比較のしやすさを考慮し、水素、ヘリウム、直管蛍光灯、白熱電球に絞った。授業での活用と課題を探るため、大学生対象に分光器の作成、光源の観察・解析をさせる試行授業 を行った。その結果、興味・関心が沸き、スペクトルが理解し やすいという評価を得たが、分光器の精度を高めることと、分析方法を分かりやすくすることが 課題として挙げられた。

基礎物理

8. ハドロン反応から放出される核破砕粒子探索によるタウ崩壊バックグラウンドの研究

大久保 岬

OPERA 実験ではタウ粒子の出現観測によりニュートリノ振動の証拠を検出する。タウ崩壊事象にはハドロンの二次散乱が類似した背景事象として存在し、これはハドロン衝突から放出される核破砕粒子の有無によりタウ崩壊事象と区別することが可能である。本研究は 5GeV/c (6GeV/c)のパイオンビームを照射した鉛-原子核乳剤標的を用いて OPERA 実験と同条件で核破砕粒子の飛跡を探索し、その放出本数・放出角度・核破砕粒子付随率の測定を行った。その結果、232 本(34 本)の核破砕粒子の飛跡を検出して 129 反応(25 反応)に対し付随率が $60.5^{+4.1}_{-4.4} \%$ ($60.0^{+8.7}_{-10.2} \%$)と測定され、FLUKA を用いたシミュレーションと 1σ で一

致することを確かめた。

9. 多重電磁散乱を用いたグザイ粒子識別法によるハイパー核探索

石井 勝好

KEKPS-E373実験はダブルハイパー核の崩壊を観測し、 $S=-2$ の世界を探ることが目的である。現在、本実験は全面探索法と呼ばれる新たな方法で解析を行っており、見つかった負電荷粒子吸収の候補事象をハイパー核と同定するには吸収された負電荷粒子がグザイ粒子であると識別する必要がある。そこで、本研究では原子核乾板の高い位置分解能の特長を利用し多重電磁散乱の原理を用いた粒子識別により、グザイ粒子を同定しハイパー核観測を目指す。本研究にて $90\times 90\times 0.5\text{mm}^3$ の範囲をスキャンし、約50万枚の画像を保存した。

10. J-PARC T60 実験のための鉄板コンタクトテスト及び新原子核乾板の性能評価

林 拓馬

原子核乾板は $1\mu\text{m}$ 以下の精度で荷電粒子を観測できる固体飛跡検出器である。J-PARC でのニュートリノ・原子核反応の測定実験 T60 では新型原子核乳剤を用いた乾板とステンレス板とで ECC を構成し、ニュートリノ照射実験を行う。本研究では高密度銀含有乳剤を用いた乾板と中密度銀含有乳剤を用いた乾板による次期照射実験に向けて、乾板をステンレス板とともに真空パックして約 20 日間経過した後、現像してフォグ密度を測定した。その結果、フォグ密度に有意な差はなく、ステンレス板の影響はほとんどないことがわかった。

11. ニュートリノ精密測定実験に用いられる原子核乾板のリフレッシュとその評価

佐藤 陽一

原子核乾板は宇宙線等の荷電粒子の飛跡を蓄積する粒子検出器である。写真乳剤の潜像退行の性質を利用し蓄積された飛跡を消去することをリフレッシュと呼び、J-PARCでのニュートリノ・原子核反応の測定実験T60で使われる乾板はこの性質を利用し実験のバックグラウンドとなる荷電粒子の飛跡を消去しやすくしている。本研究ではこのバックグラウンドとなる飛跡の消去を目的として、2016年1月末からの次期照射実験用にリフレッシュ処理を行える装置を作製し、高温高湿度($T\geq 30^\circ\text{C}$, $\text{R.H.}\geq 90\%$, $t\geq 24\text{hours}$) の条件下で原子核乾板359枚をリフレッシュした。 ^{90}Sr の β 線を照射してその性能を評価したところ、十分に消去できたことが分かった。

12. J-PARC T60 実験における貫通ミューオンとニュートリノ反応の二次粒子運動量の測定

浦野 康平

J-PARC T60 実験はニュートリノ-原子核反応断面積の精密測定を目的として、今年度は検出器の基礎開発と実験環境の調査を行っている。本研究では、2012年7月に CERN にて照射された 2, 3, 4, 5, 6 GeV/c のパイ中間子ビームの運動量を再構成することにより、ECC 中での多重電磁散乱を用いた運動量測定の精度を確認した上で、0.5 GeV ~ 数 GeV 領域のニュートリノビームによって生じた貫通ミューオンとニュートリノ反応により生成された二次粒子の運動量を測定し、シミュレーションとの比較を行った。

13. J-PARC T60 実験における高電離粒子を用いたニュートリノ反応の探索

岡田 悠久

J-PARC で低エネルギー領域でのニュートリノ反応を研究するために原子核乾板検出器を用いた T60 実験を行った。鉄と原子核乾板からなる検出器にニュートリノのビーム照射を 2015 年 3 月に行った。本研究で

はニュートリノ反応から放出される陽子に着目し、原子核乾板中でニュートリノ反応の探索を行った。ここでは、電離損失による粒子識別を用いて比較的エネルギーの高い陽子候補 105 本の飛跡から検出器内部で発生した 59 個についてシミュレーションとの比較をし、解析を行った。

14. J-PARC ニュートリノビームラインにおける反ニュートリノ反応断面積の測定

黒尾 奈未

我々はステライルニュートリノの存在を示唆する現象の検証とニュートリノの反応断面積の精密測定を目指し、J-PARC T60 実験を開始した。2015 年 3 月の照射実験の解析では荷電粒子 2 本以上の反ニュートリノ事象の候補が 8 個見つかった。本研究ではこの探索過程を再現したシミュレーションを行い、反応の検出効率を求めた。さらにその値を基に反応断面積を算出した。その結果、検出効率は 19.0% となり、反応断面積は $(1.1 \pm 0.5) \times 10^{-38} \text{ cm}^2$ となった。これはこの手法によるこのエネルギー領域では初めての測定結果で他実験の結果ともよく一致している。

磁気物性

15. エピタキシャル歪みを利用した $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜の磁氣的性質の変化

山口 郁夫

$\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (NSMO) の高ドープ域 ($x > 0.5$) においては、A 型反強磁性 (AF) を持つ $x^2 - y^2$ 軌道秩序と C 型 AF を持つ $3z^2 - r^2$ 軌道秩序が競合している。これらの軌道秩序状態は結晶格子の歪みと密接に関係している。本研究では、エピタキシャル歪みを利用してこれらの電子相間の制御を行うために、高周波マグネトロンスパッタリング法により NSMO ($x = 0.37, 0.54, 0.61, 0.76$) の薄膜試料をペロブスカイト (LAO, STO, LSAT) 基板上に作製した。LAO 基板上の NSMO 薄膜 ($x = 0.61$) は c 軸と a 軸の格子定数の比 c/a が 1 以上の場合、C 型 AF の性質を示すが、アニール処理を施し c/a の値が 1 に近づくにつれ強磁性的な性質を示すようになる。

16. 高周波マグネトロンスパッタリング法を用いた $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜 ($x = 0.37, 0.54, 0.61, 0.76$) の作製

草野 信人

$\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ においては $x = 0.6$ 付近で A 型反強磁性を示す $x^2 - y^2$ 軌道秩序相と C 型反強磁性を示す $3z^2 - r^2$ 軌道秩序相が競合している。本研究では、この相境界付近でエピタキシャル歪みを利用した物性制御を行うことを目的に、 $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.37 \sim 0.76$) の薄膜試料を高周波マグネトロンスパッタリング法によりペロブスカイト基板上 (LaAlO₃ 基板など) に成膜した。電子線マイクロアナライザ (EPMA) の組成分析結果をもとに、ターゲット物質の組成を調整することで、目的組成の $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜試料の作製に成功した。作製した試料にアニール処理を施すことで、エピタキシャル歪みの大きさを系統的に変化させた。

17. 秩序型 RBaMn_2O_6 (R: 希土類) の酸素欠損が物性に与える効果

保利 美幸

ペロブスカイト Mn 酸化物は磁場の印加で抵抗が著しく減少する超巨大磁気抵抗 (CMR) 効果を示す。 RBaMn_2O_6 (R: 希土類) は室温付近で強磁性金属相や電荷軌道秩序相などによる多重臨界点を形成しているため、CMR 効果を利用した新しい磁性材料の候補物質として期待されている。本研究では、酸素欠損に伴う構造の乱れや Mn の 3d 電子数の変化を導入した $\text{Nd}_{1-x}\text{Sm}_x\text{BaMn}_2\text{O}_{6-\delta}$ ($x = 0 - 1.0, \delta = 0 - 0.13$) (酸素欠損量は最大

で 2%程度))の多重臨界点付近の物性を調べた。その結果、1%程度以下($\delta = 0.05$ 程度)のわずかな酸素欠損でも $\text{Nd}_{1-x}\text{Sm}_x\text{BaMn}_2\text{O}_6$ の磁化率や電気抵抗率が大きく変化していることがわかった。

18. ペロブスカイト型 Eu 酸化物 $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$) の試料作製と電気磁気特性

越川 修人

EuTiO_3 は反強磁性量子常誘電体であり、大きな磁気誘電効果を示すことで知られている。 Ti^{4+} の一部を Al^{3+} で置換した $\text{EuTi}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ (ETAO) は、 $\text{Eu}^{2+}/\text{Eu}^{3+}$ の混合原子価を持つ強磁性絶縁体となることが先行研究で報告されている。しかし、ETAO の電気磁気特性についてはまだ知られていない。本研究では、アーク溶解法と浮遊帯域熔融法を用いて ETAO ($0 \leq x \leq 1$) の多結晶試料及び単結晶試料を作製し、その電氣的磁氣的性質について調べた。その結果、 Al^{3+} を置換することで磁気誘電効果と量子常誘電性が抑制されることがわかった。 $x = 1$ 近くでは強磁性転移温度が量子臨界的挙動を示すことを観測した。

19. ランダム一軸異方性が RKKY 型アモルファススピングラス GdSi の磁気相転移に与える影響

中澤 由紀恵

アモルファス磁性体での a-GdSi は RKKY 型スピングラスとされている。本研究では、a-GdSi に Dy を置換することにより一軸異方性を導入させ、RKKY 型スピングラスの H-T 相図への影響を調べることを目標とした。薄膜試料は、高周波マグネトロンスパッタリング法を用いて複合ターゲット法により作製した。組成は EPMA を用いて決定した。また MPMS を用いて磁化測定を行い、H-T 相図を作成した。母体試料には a- $\text{Gd}_{0.13}\text{Si}_{0.87}$ が最適だと分かった。Dy 置換後の試料の H-T 相図において、Dy の増加につれ臨界曲線である AT line と GT line の間が開き、また SG 相転移温度の磁場に対する変化が少なくなった。

20. ランダム一軸異方性が RKKY 型アモルファススピングラス a-GdSi の磁気相転移に与える影響

元木 亨祐

RKKY 型スピングラス(SG)は Heisenberg 型 SG と考えられているが、「ランダム一方向異方性」が加わると SG の磁氣的相転移にどのような影響が表れるかはこれまで調べられてきた。しかし「ランダム一軸異方性」の場合については未だわかっていない。そこで本研究では、Gd の一部を Dy に置き換えたアモルファス a- $(\text{Gd}_{1-y}\text{Dy}_y)_{0.13}\text{Si}_{0.87}$ を RF マグネトロンスパッタ法で作製することでランダム一軸異方性を与え、HT 相図からその影響を調べた。その結果、Dy 濃度の高い $y = 0.54$ では weak-RAM(ランダム異方性を持つ磁性体)と似た形の HT 相図が得られ、濃度の低い $y \leq 0.30$ では独特の形を持った HT 相図が得られた。

21. A サイトを乱したスピネル化合物 $(\text{Co}_{1-x}\text{Zn}_x)\text{Al}_2\text{O}_4$ の磁氣的性質

黒子 恵

本研究では幾何学的フラストレーションを持つ CoAl_2O_4 の A-site(Co^{2+}) をイオン半径の異なる非磁性イオン Zn^{2+} で置換して乱れを導入しスピン液体状態がどう変化するかを調べた。その結果、格子定数は置換量に伴い減少していった。また、置換量を増やしていくとスピン液体状態から中間相を経てスピングラス相に転移した。これは先行研究である B-site の Rh 置換において中間相が無かったのと異なる振る舞いである。この理由として、磁性イオンである Co を薄めている効果が考えられる。

22. スピンアイス $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ におけるAサイト磁性元素置換の磁気緩和への影響

亀澤 日向

パイロクロア型スピンアイス $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の B サイトと $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の A サイトを磁性元素置換した、 $\text{Ho}_2(\text{Ti}_{2-x}\text{Ho}_x)\text{O}_{7-x/2}$ と $(\text{Dy}_{2-x}\text{Ho}_x)\text{Ti}_2\text{O}_7$ を固相反応法で作製し、その乱れが磁氣的緩和に与える影響を調べた。交流磁化率測定および緩和解析より、 $\text{Ho}_2(\text{Ti}_{2-x}\text{Ho}_x)\text{O}_{7-x/2}$ は置換量 x が増加してもスピンアイス状態が壊れていないことが分かった。また、 $(\text{Dy}_{2-x}\text{Ho}_x)\text{Ti}_2\text{O}_7$ は x の増加に伴って緩和時間は短くなるものの、スピンアイス状態を維持することが分かった。

23. MgO(001)基板上的 Fe/Ag/Cr 三層膜のエピタキシャル成長とその残留磁化のスローダイナミクスの観測

向井 慶太

Fe/Cr 多層膜において“界面フラストレーション効果”が知られている。強磁性的なスピン配列の Fe 層と反強磁性的なスピン配列の Cr 層の界面を考えると、界面が原子レベルで乱れている場合、界面フラストレーションが存在する。先行研究では Fe/Cr 二層膜と Fe/Au/Cr 三層膜の界面フラストレーションの磁化緩和への影響を調べてきたが、本研究では新たに Fe/Cr(001)界面に Ag を挟んだ Fe/Ag/Cr(001)三層膜を作製し、磁化測定を行った。その結果、スローダイナミクスが観測された。これは Ag の量子井戸によるスピン分極から、新規な Ag/Cr 界面フラストレーションが生じた為だと思われる。

24. エピタキシャル Fe/Ag/Cr 三層膜の磁化スローダイナミクス

横山 京祐

研究室の先行研究では Fe/Cr 二層膜の界面フラストレーションの磁化緩和の影響について調べた。その結果、ゆっくりとした磁化緩和であるスローダイナミクスが観測された。本研究では Fe と Cr の間に Ag を挟んだ Fe/Ag/Cr 三層膜を作製し、Ag の膜厚の大きさや Cr/Ag 界面の乱れ具合によるスローダイナミクスの変化を調べた。その結果、Ag の膜厚に応じてスローダイナミクスの程度(磁気粘性)が振動しながら変化した。これは量子井戸効果で Ag が spin 分極したことによって Ag/Cr 界面でフラストレーションが生じるためであると考えられる。

宇宙・素粒子

25. 連星中性子星の合体による重力波の放出

峯田 果林

重力波とは質量をもつ物体の加速度運動により生じる光速で伝わる波である。重力波の直接検出は従来の観測手段では得ることのできない宇宙の情報をもたらさう。本研究では、アインシュタイン方程式を近似的に解き、重力波生成の公式を導いた。その応用として、もっとも有望な重力波源である連星中性子星の合体に注目し、その形成過程を調べ、重力波放出による反作用を受けた軌道の進化を円軌道・楕円軌道の場合に導き、その際の重力波の波形を求めた。一般相対論の高次の補正を含めた重力波の波形についても考察し、その影響を調べた。

26. レンズ天体の質量分布が強い重力レンズ効果に与える影響

原田 大慧

銀河や銀河団の重力場によってそれらの背後にあるクエーサーなどの天体は環状や多重像等の像が現れることがある。これを強い重力レンズ効果と呼ぶ。強い重力レンズ効果による像の位置や数はレンズ天体

の質量分布に依存している。本研究ではレンズ天体の密度分布や形状を変化させることで像にどのような変化が生じるのか調べた。その結果、密度分布のべき指数を1割程度変化させると Einstein 半径が1割程度変化し、さらに増光率も変化することがわかった。また、光源が Einstein 半径内にある時、レンズ天体の形状を球対称から楕円度の大きい楕円へ変更した場合に像の個数は増えることがわかった。

27. 強い重力レンズ効果によるダークエネルギーへの制限

山中 滉太

超新星爆発や宇宙マイクロ波背景輻射などの観測によってダークエネルギーが要因とされる宇宙の加速膨張が示唆されている。本論文では、強い重力レンズ効果の観測データを用いてダークエネルギーへの制限を導いた。その結果、強い重力レンズ効果を引き起こすレンズ天体の密度分布を特異等温球と近似した時、平坦な宇宙では宇宙の全エネルギーの約 80%がダークエネルギーで占められ、ダークエネルギーは宇宙定数とみなせることが示唆された。また、曲率を持つ宇宙ではダークエネルギーの量に対する下限値が得られた。ただし、これらの結果は、レンズ天体の密度分布に強く依存する。

28. ダークマターの重力下でのバリオン密度揺らぎの時間発展

神山 秀成

宇宙の構造形成において、ダークマターの重力は重要な役割を持つ。バリオンとダークマターには存在量に大きな差があるためである。本研究では、バリオンとダークマターそれぞれの密度ゆらぎの時間発展を、互いの重力相互作用を考慮し、数値計算を用いて整合的に調べた。その結果、密度揺らぎが成長するための必要条件として解析的に導かれるジーンズ質量より、小さい質量スケールの密度揺らぎでも成長が可能であることが確認された。また、ダークマターとバリオンの速度差も考慮した揺らぎの発展は現在考察中である。

29. REISSNER-NORTSTROM ブラックホール周りの粒子の軌道について

武内 敦志

ライスナー・ノルドシュトルム解は、電荷を持つ球対称ブラックホール時空を表す。本論文では、ライスナー・ノルドシュトルム解を導出し、ブラックホール周りの粒子の軌道を数値計算により求め、制動放射によるポインティングフラックスと光度を計算し、それらの電荷依存性を調べた。その結果、粒子は電荷の増加に依存して、よりシュバルツシルト半径に近づく軌道を取り、光度が増加することが分かった。さらに、銀河中心のブラックホール候補天体 SgrA*が電荷を持っているとした場合の地球に入射するフラックスの違いを調べた。

30. 地球の自転による相対論的効果の GPS の補正

鶴見 優樹

GPS 衛星軌道の特殊及び一般相対論的補正について調べた。重力源が非球対称である場合や圧力や回転による相対論的効果を系統的に取り入れるためにポストニュートン展開法を採用してアインシュタイン方程式を近似的に解き、時空計量を求めた。得られた時空計量の下でラグランジアンを求め、GPS 衛星の運動方程式を導き、球対称で回転と圧力のない場合には従来のシュバルツシルト計量から求めた運動方程式と一致することを確認した。回転のある場合にその補正の影響を見積もり、地球以外の天体の場合についてもその影響を調べた。

31. ダークマターハロー外縁部での速度分布

堀内 拓斗

最近のシミュレーションを用いたダークマターハローの研究により、多数のハローを平均した際に、密度プロファイルの傾きが急激に変化する場(Splashback Radius と呼ばれる)がハローの境界として示唆されている。本研究では、まず、この半径の存在を個々のハローでも確認することができた。また、この半径付近では、特にハローの粒子の動径方向の平均速度が、急激に変化することが分かった。次に、この半径内外の速度分布を調べたところ、内側はほぼマクスウェル分布に従うが、外側では大きくずれることが確認できた。よって Splashback Radius は速度分布の観点からも、ハローの境界としてみなすことができると考える。

32. 銀河団外縁部における質量降着

朝比奈 研太

最近の研究で N 体シミュレーションの結果を用いてダークマターハロー周辺の解析を行った結果、密度分布の勾配が急激に変化する位置(‘Splashback’半径)が確認された。先行研究では、複数の銀河団の平均的な密度分布における、‘Splashback’半径と質量降着率の関係を調べていた。本研究では、個々の銀河団で先行研究と同様の結果が得られるのかを確かめた。結果、‘Splashback’半径の存在は確認できたが、先行研究で得られたような質量降着率との相関関係は得られなかった。原因の一つは個々の銀河団で見た場合、‘Splashback’半径の位置に大きなばらつきがあるためと考える。

33. 一般相対論を用いた球対称星の構造の数値的解析

矢作 聡汰

白色矮星の構造を一般相対論の枠組みで調べた。一般相対論的重力平衡の式を用い、相対論的電子の縮退圧が卓越するポリトロプ型状態方程式を採用して構造を数値的に解いた。また比較のためにニュートン重力の場合も計算した。いずれの場合でも白色矮星の上限質量である Chandrasekhar 質量を得る事ができたが、両者の値の間で差が生じ、また中心密度に対する質量の依存性が異なった。そこで一般相対論的重力を考慮した場合の影響を考察した。

34. 光子計数型テラヘルツ干渉計の開発に向けて

川村 祐太

本研究は、テラヘルツ帯(300GHz~10THz)の天体観測において、強度干渉計を発展させた光子計数型テラヘルツ干渉計の実現に向けた基礎実験を目的としている。光子計数型テラヘルツ干渉計が広帯域(観測できる周波数の範囲が広い)かつ高感度、高角度分解能を実現し得る干渉計であることを紹介する。そして、SIS 検出器を用いて光子計数を実現することを計画している。SIS 検出器は 0.8K 以下に冷却することでリーク電流が減少し、ショット雑音が最小となる。実験では、この冷却に用いるヘリウム 4 吸着型 0.8K 冷凍器の評価を行った。

物性物理

35. 分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ における超伝導コヒーレンス長

志村 奈々

VB(Valence Bond)相に隣接した超伝導相が擬二次元分子性導体超伝導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の圧力下で実

現した。VB 相ではスピナー重項状態を形成しているが、本研究ではそのことが超伝導の発現にどのように関与するのかという問題に取り組み、超伝導のコヒーレンス長を調べた。結果、二次元層内でのコヒーレンス長は約 8 nm であることがわかった。驚くべきことに、層間のコヒーレンス長は面内と同程度あり、層間の格子定数よりも大きいのである。超伝導の担い手であるクーパー対の空間的広がりが層間(3次元)方向にあるということを示唆する結果である。

36. 3次元有機超伝導体の探索

阿部 聖太郎

最初の有機超伝導体が(TFTSF)₂PF₆で発見されて35年以上が経過する。今では数百種類もの有機超伝導体が開発されている。有機超伝導体の特徴は、絶縁層を超伝導層に挟んだサンドイッチ構造をしていることから、低次元性(1, 2次元性)が非常に強いことにある。3次元有機超伝導体をこれまで確認された例はない。本研究では、3次元有機超伝導体の探索を目的に、EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂の圧力下超伝導状態に臨界磁場を磁場方位を変えて測定した。その結果、この物質は異方的な3次元有機超伝導体であることが判明した。

37. θ-(BEDT-TTF)₂TlZn(SCN)₄における電荷秩序形成

久次米 勇輝

本研究で用いたθ-(BEDT-TTF)₂TlZn(SCN)₄は低温でET分子内の電荷の偏りが対角型及び水平型のストライプ秩序が競合することが指摘されるが、その詳細についてはまだわかっていない。そこで本研究ではこの系についてDTA法を使用して比熱を測定し、相転移を定量的に評価した。温度の昇降の方法およびアニール温度の違いにより、比熱のピークに3つのパターンがあることが判明した。このことから電荷秩序形成がアニール温度の違いにより大きく異なるが、全体のエントロピー変化は一定であることが判明した。

38. 有機超伝導体 κ-(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の超伝導

高橋 純

表題物質は超伝導相と反強磁性モット絶縁体相が競合し、BEDT-TTF分子の水素を重水素置換することで、超伝導相から絶縁体相へ転移させることが可能な系である。本研究ではこの系の超伝導転移の性質を詳細に検討するため、κ-(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Brにおける重水素置換量と冷却条件を変えて、DTA法と緩和法を使用し、超伝導転移に伴う比熱異常を測定した。測定の結果、冷却速度を上げると、超伝導に伴う比熱のピーク値と転移温度が下がり、冷却条件の微妙な違いが超伝導転移の性質に大きな影響を与えることが明らかとなった。

39. κ-(BETS)₂FeX₄(X=Br,Cl)の磁場下での比熱

須山 渉

κ-(BETS)₂FeX₄(X=Br,Cl)は極低温で反強磁性と超伝導が共存し、Br₄塩ではH=11~14Tで磁場誘起超伝導を発現する。伝導層のπ電子とアニオン層のdスピン間の相互作用が物性にどのように関わっているのかを調べることを目的に、本研究では表題物質の磁場一定での比熱を測定し、dスピンの感じる有効磁場を評価した。その結果、dスピン間に反強磁性的な作用があるため、dスピンには外部磁場よりも小さな有効な磁場が印加されることがわかった。Cl塩と比較して、反強磁性転移温度の高いBr塩では、この反強磁性相互作用の効果が強いことが明らかになった。

40. κ -(BETS)₂Fe_xGa_{1-x}Br₄の反強磁性転移における比熱、電気抵抗

富永 陽平

磁性有機超伝導体は、伝導を担う π 電子と磁性を担う d 電子の相互作用によって磁性と超伝導の共存などの特異な性質を示す。本研究では κ -(BETS)₂Fe_xGa_{1-x}Br₄試料の比熱と電気抵抗の測定を行い、Ga置換に伴う d スピンの稀薄化による反強磁性転移の変化から相転移を担う電子系の振る舞いを考察した。その結果Feを置換していくにつれ、反強磁性転移温度が低下することや、比熱のピークが低くなっていくことが観測された。また転移温度近傍の比熱が対数的発散を示すことから、表題物質では2次元的で強固な磁気秩序が形成されていることが明らかとなった。

41. α -(BEDT-X)₂I₃ (X = TTF, TSF, STF)の金属-絶縁体転移

木田 悠斗

α -(BEDT-TTF)₂I₃はバルクな結晶で初めてゼロギャップ電子系が見出された物質である。類縁物質である α -(BEDT-STF)₂I₃、 α -(BETS)₂I₃もゼロギャップ電子系をもつことが期待されているが、熱力学的な研究がなされていない。本研究では3つの試料の熱的性質を明らかにすることを目的とし、比熱の測定を行った。その結果、 α -(BEDT-TTF)₂I₃では転移点においてヒステリシスを伴う鋭い比熱のピークを観測し、そのエントロピー変化より、電荷秩序相形成における電荷分布の偏りを定量的に見積もった。また α -(BEDT-STF)₂I₃、 α -(BETS)₂I₃の抵抗率の立ち上がりは、 α -(BEDT-TTF)₂I₃で起こる金属-絶縁体転移とはなることが明らかになった。

42. 分子性ディラック電子系のゼロモードランダウ準位：スピン分裂 vs. バレー分裂

須佐 直人

質量ゼロのディラック電子系が、 α -(BEDT-TTF)₂I₃の高圧力下で実現した。この系の特徴の1つは、磁場下でゼロモードと呼ばれる特別なランダウ準位が、常にディラック点に位置することである。これまでこの系の特異な電磁伝導性は、ゼロモードとそのスピン分裂から理解されてきた。一方で、この系にはクーロン相互作用によるバレー分極効果を期待する。本研究では、ゼロモードのスピン分裂状態に、その効果を検出することを目的に、層間磁気抵抗の磁場方位依存性を調べた。結果、この系の電磁伝導性を理解するには、スピン分裂よりもバレー分裂効果が重要であることが示唆された。

43. 分子性ディラック系電子への電子注入効果

松崎 広晃

高圧力下にある α -(BEDT-TTF)₂I₃で質量ゼロのディラック電子系が実現した。最近、この系に正孔を注入することに成功し、ディラック電子系特有の量子ホール効果が観測された。本研究ではディラック電子の性質をさらに理解することを目的に、この系への電子注入を試み、その電磁伝導性を調べた。結果、電子注入に成功し、ディラック電子が起源である量子磁気抵抗を観測した。

原子過程

44. 蛍光 X 線分析におけるウラン測定に特化した一次 X 線フィルターの探索

山田 隼也

少量のウラン (U) を含有した比重の小さな試料に蛍光 X 線分析を適用する場合、入射 X 線が試料で散乱することによるバックグラウンド (BG) が U の L α 線近傍に存在するため、感度良く検出することが難

しい。そこで、U を感度良く検出するために、元素の吸収端特性を生かした X 線フィルターの構成について検討した。X 線フィルターを一次フィルターとして入射 X 線側に用いることで、U の L 殻電子を励起する励起光を残しつつ BG を低減させることができる。実験の結果、フィルター構成を最適化することができた。

45. 電子衝突による CF₄分子の励起微分断面積の測定

善田 晶子

半導体デバイス製造過程として重要なプラズマプロセス技術は、ここ数十年間に急速に拡大してきたが、その速い技術革新のため、反応機構を司る原子過程の基本的理解が追いついていなかった。しかし、シミュレーションに基づいて設計・制御された新しいプラズマ技術の実現に向けた、さらなる発展のためには、原子分子レベルでこの理解を深めることが大変重要になる。そこで本研究では、プラズマプロセスガスとして代表的な CF₄ 分子の電子励起過程に注目し、電子エネルギー損失分光法による精密な微分断面積の測定に挑戦した。

46. イオン付着飛行時間型質量分析装置の分解能向上のための研究

武内 康平

本研究室で開発されたイオン付着飛行時間型質量分析装置は、気相の試料分子を壊さずに検出可能な装置であるが、測定にはイオンのパルス化が必要である。昨年度より、イオンのパルス化法をゲート法に変更し試験的な運用を行ってきたが、我々が目指す分解能を得ることはできなかった。そこで本研究では、分解能の向上を目的として Wiley と McLaren によって示された、空間収束条件を満たすよう設定し実験を行った。その結果から現在の線型の装置では分解能の向上は望めないため、今後は反射型にするなど装置を大きく改良する必要があることがわかった。

47. 散乱電子—イオン同時計測による重水素分子の二電子励起状態の研究

荒巻 佑介

原子・分子の二電子励起状態は一般に遷移確率が極めて低いため研究例が少ないが、水素分子 (H₂) に限りいくつかの研究がなされている。本研究室でも、散乱電子—イオン同時計測により水素原子の二電子励起状態とその崩壊過程を研究してきた。本研究では、標的分子を重水素分子 (D₂) とし、その二電子励起状態の探求と、解離過程を明らかにすることを目的とした。実験は、入射エネルギー200 eV、散乱角 6 deg において行われ、D₂ の電子エネルギー損失スペクトルと D⁺イオン、D₂⁺イオンの生成量のデータを得た。

48. イオン照射によりタングステン表面から反跳された励起原子の発光に関する研究

李 冠億

次世代のエネルギー源として期待されている核融合では、プラズマが炉壁に衝突することで放出される粒子が、プラズマにさまざまな悪影響を与えることが問題となっている。しかし、プラズマと炉壁の相互作用についての知見は充分とはいえない。本研究では、水素イオン(H⁺)とタングステン(W)表面の相互作用の理解を目的に、35 keV の H⁺を W 表面に照射し、表面での電荷移行後に反跳する励起 H 原子から輻射される H α 線を観測した。得られた結果から、反跳原子の平均反跳速度の表面垂直成分の見積もりと、2次元偏光度分布を決定した。

物性理論

49. 金属流体の回転運動から生成されるスピン流

山田 美咲

本研究は金属流体の回転運動からスピン偏極電流を取り出す、スピン流生成機構に対する数値計算を行った。水銀を円管に流した際に発生する流体の渦と伝導電子の相互作用により、円管の動径方向にスピン流が生成される。このスピン流は、円管外に配置したプラチナ電極中の逆スピンホール効果によって電圧に変換される。本研究では、水銀の流れの数値計算を行い、実際にスピン流が生成されることを確認した。

50. 厳密対角化法による格子欠損を与えたグラフェンの状態密度

秋田 百合香

グラフェンは炭素原子が2次元六角格子を成した物質であり、特異な電子物性をもつ。そのひとつがカイラル対称性であり、ハミルトニアンが存在し、かつ Bipartite な結晶構造をもつ際にカイラル演算子に対して成り立つ性質である。これによりハミルトニアン固有値は+と-のペアで存在する。本研究では、グラフェンの特別でない格子に対して格子欠損を与えた際の状態密度を厳密対角化法により計算し、波動関数の分布をみた。その結果三回対称が得られた。

51. グラフェンの電荷中性点近傍の電子状態に対する乱れの効果

小川 健太郎

グラフェンにおいて乱れがある場合の局所状態密度を kernel polynomial method を用いて数値的に評価した。具体的には、ランダムポテンシャル、Kekulé 型ボンド秩序がある場合のサイト欠損などによる効果を調べた。その結果、ランダムポテンシャルを導入しても、ランダムネスの強さが弱いと、電荷中性点における状態密度がゼロから変化しないことを示唆する結果を得た。また、サイト欠損によるゼロエネルギー状態の波動関数については、三回対称となることが確認できた。

52. ラシュバ型スピン軌道相互作用を有する系におけるスピン依存電気伝導

小林 芳成

構造反転非対称を持つ半導体ヘテロ接合界面中を運動する電子（二次元電子ガス）にはラシュバ型スピン軌道相互作用（RSOI）が働く。RSOI は界面の垂直方向に掛かる電圧によって強さが制御出来る。本研究では、RSOI を有する量子細線中のスピン依存した電気伝導を数値的に解析した。具体的には、グリーン関数法を用いて、系のスピンの依存した反射率、透過率を求めた。数値計算の結果、透過電子のスピン偏極率は入射する伝導電子のエネルギーに依らず、スピン軌道相互作用の強さ及び存在する領域の長さに依存する結果を得た。

53. ラシュバ型スピン軌道相互作用を有する系における電子波束の運動

星 幸治郎

半導体ヘテロ構造では、界面に二次元電子系が形成され、空間反転対称性の破れにより面直方向にポテンシャル勾配が生じ電子はラシュバ型スピン軌道相互作用(RSOI)を受ける。本研究では、RSOIを受ける電子波束の運動に対して数値解析を行った。具体的には、スピン軌道相互作用を有するハミルトニアンを用い、そこでの波束の時間発展を、チェビシェフ展開を用いて計算した。その結果、スピンに依存して横方向に軌道が曲げられるスピンホール効果が現れた。不純物ポテンシャルを導入することでスピン偏極率が変化

することが分かった。

54. ジャロシンスキー守谷相互作用を有する強磁性体中のスピン波のホール効果

郷 大輝

強磁性体に交流磁場を印加すると、スピン波が励起される。通常、強磁性結合のみを考えたスピン波は、進行方向に対して空間的に対称に伝播する。本研究では、スピン交換相互作用の他に、ジャロシンスキー守谷(DM)相互作用が存在する系でのスピン波のダイナミクスについて、数値的な解析を行った。具体的には、磁化の運動方程式である LLG 方程式を 4 次の Runge-Kutta 法を用いて解析した。DM 相互作用は、磁化をねじれた配置に向かせようとするため、スピン波の進行方向に空間的な非対称性が生じることが明らかになった。

55. 外部磁場による磁壁移動に対する磁気異方性の効果

長谷川 雄一

強磁性体中の磁壁に対して外部磁場を印加することによって、磁壁を移動させることが出来る。本研究では磁化が特定の方向を向きやすい磁気異方性を有する磁壁に対し、外部磁場を印加した時の磁壁の運動について数値解析を行った。特に交換スティフネス定数・異方性定数・外部磁場等の条件を変えることによって、磁壁の移動速度がどのように変化するか議論した。数値解析の結果、外部磁場を大きくすることで磁壁の移動速度が大きくなり、磁気異方性を大きくすることで移動速度が小さくなることがわかった。

56. Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を有する強磁性磁壁の電流駆動

蛭田 柊

強磁性体中の磁化の向きが揃った領域を磁区といい、それらの境界のねじれた磁化構造を磁壁という。このような磁化構造に電流を流すと、伝導電子と局在磁化間の角運動量の移行により、磁壁の運動を誘起できる。本研究では、一次元系磁壁に対して、直流電流を流すことで、磁壁がどのように移動するのかを数値的に調べた。特に、Dzyaloshinskii-Moriya(DM)相互作用が、磁壁の運動に及ぼす効果を調べた。磁化ダイナミクスを表す Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式を 4 次の Runge-Kutta 法で数値的に解析した。その結果、DM 相互作用によって磁壁の移動速度が変わることが分かった。

57. 交流電流による強磁性磁壁の運動

金松 竜人

強磁性体は原子の磁気モーメントがすべて平行に並んでいる小さな領域の集合とみなされ、この領域を磁区といい、隣接した磁区同士の領域境界を磁壁という。このような磁化構造に電流を流すことにより、磁壁が移動する現象は、スピン移行トルク効果と呼ばれている。本研究では一次元系の磁壁に対して、交流電流を流すことによって誘起される磁壁移動について数値的計算を用いて調べた。その結果、磁壁の運動が調和振動子のように起こり、ある周波数で共鳴的に運動の振幅が大きくなることがわかった。

58. 電圧変調による磁気渦構造のダイナミクス

杉浦 拓海

直径が数十～数百 nm の強磁性体円盤は、内部磁化構造が渦構造をもつ。渦構造の中心(VortexCore)では、円盤の面直方向に磁化が向いており、これを吐き出し磁化と呼ぶ。本研究では電圧で磁気異方性エネルギーを制御することに着目し、交流電圧を用いた VortexCore の運動の数値解析を行った。具体的には、ス

ピン交換相互作用と双極子相互作用、磁気異方性を取り入れたマイクロマグネティクスシミュレーションを行い、磁化構造の時間発展を計算した。数値解析の結果、電圧の印加によって VortexCore の円運動が励起され、吐き出し磁化の反転の可能性を示唆する結果を得た。

量子エレクトロニクス

59. LIDAR を用いたリモートセンシングの研究

菅原 直人

本研究では、薄暮時や日没前に使用できる LIDAR を作成するため、カメラ用対物レンズを二個用いて視野の拡大および歪みの防止、特定の波長のみを透過させるフィルター、写りこみ防止用のテントを用いることで背景光を軽減した。また装置の利便性の向上のため反射鏡の枚数を一枚に減らし、回転鏡とメカニカルシャッターの配置の改善を行った。その装置で離れた対象物にレーザー光を照射し、散乱光を撮影し解析することで大気の状態および時間変化を調べた。

60. LIDAR 装置による大気エアロゾル粒子の観測

谷口 博昭

本研究における LIDAR 装置では YAG レーザーと回転鏡により、対象物までの距離と散乱光の強度を測定することができる。薄暮時においてレーザーの散乱光を撮影するための工夫としてメカニカルシャッターを製作した。これは回転鏡と同期して回転することによって太陽光などの背景光を抑えることが出来る。また、撮影に用いるデジタルカメラに YAG レーザーの波長の光だけを透過する干渉フィルターを取り付けた。これにより従来よりも測定可能な距離を大きくしたほか、より背景光が強い時間帯での観測を可能にした。上空に向けてレーザーを照射して散乱光を撮影することで夜間と日没前の大気エアロゾル粒子の高度分布を調べたほか、一定時間ごとの撮影を行うことでエアロゾル分布の時間変化を調べることに成功した。

61. 高周波電流による植物の生長に対する影響

竹内 なつみ

小松菜に高周波交流電流を流し、流した場合と流さない場合のどちらが生長に影響を与えるか研究した。また、分光器を用いてクロロフィル比も調べた。発芽するまでは、土ポットに種を植えた(1つの土ポットに2個ずつ)。発芽したら同じ位の物を選び植え替えて、800kHz、1.6MHz に設定した。2週間位育成させたら、クロロフィルを測定した。小松菜の葉を 1.5cm~2cm 程の大きさに切る。シャーレに小松菜の葉とエタノールを入れ、クロロフィルを抽出させた。電流ありのほうが根の長さ・茎の太さは大きいように見られた。クロロフィル比も電流ありのほうが大きいように見られた。

62. 植物の生長に対する高周波電流の影響

池田 ひかり

高周波電流による植物の生長への影響の研究を行った。水に種子を沈め、電流を一週間流し小松菜の生長を調べ、さらに、鉢に小松菜株を植え高周波電流(0.8MHz、1.6MHz)を流し小松菜の生長を調べた。その結果、電流を流さない小松菜株に比べ、高周波電流を流した小松菜株の生長が促進されていた。また、CHL 測定法によりクロロフィル a,b の含有量を算出し、クロロフィル a/b 比を求めた。クロロフィル a/b 比は電流を流さないと 2.2 ± 0.4 、高周波交流電流を流すと 2.4 ± 0.3 (0.8MHz)、 2.7 ± 0.6 (1.6MHz) となった。

63. GAFCHROMIC Film EBT3・EBT-XDにおける炭素線線量の応答試験

新井 千夏

GAFCHROMIC Film は、放射線照射機の線量確認などに用いる透過型線量確認フィルムである。線量確認には、放射線照射後にスキャナでのフィルムの読み取りが必要である。そこで、この IMRT 向け線量測定用フィルムを実際の治療計画に使用できるかはフィルムの性能が高く、再現性がよく、かつ取り扱いしやすい必要がある。本研究では、照射線量やバイナリフィルターの厚さを変化させたときの GAFCHROMIC EBT3/XD フィルムの応答試験を行い、実験で使用したフィルムを解析し、変化を確認するとともに、読み取りに使用するスキャナの性能も確認する。また、EBT3 と EBT-XD の性能の違いを観察する。

64. 共鳴イオン化分光法による Ti の $3d^24s4d^3F_2$ 準位の励起寿命の測定

香田 真吾

以前までの研究によって Mo, Na, Ti の励起寿命が測定されたが、レーザーのパルス幅が Ti の励起寿命と同程度であるため、レーザーのパルス幅の広がり、寿命の測定に影響を与えた可能性がある。第一励起レーザー光、第二励起レーザー光をエネルギーを変えつつ照射して Ti を励起し、イオン数を測定することで飽和状態となる条件を調べた。その結果、第二励起レーザーが 20μ のとき、第一励起レーザーが 10μ 以上であれば、イオン生成率の強度依存性がなくなり、飽和が起こることが確認できたため、パルスの広がりによる影響は無いものと考えられる。これにより、この条件で Ti の $3d^24s4d^3F_2$ の寿命測定を行えば、正しい寿命が得られるものとする。

65. Ba 原子の $6s5d^3D_2-5d6p^3F_3$ 遷移におけるシュタルク効果の研究

山口 大和

今まで本研究室では単電子と 2 電子原子のシュタルク効果の観測を行ってきた。しかし高励起状態のデータは少ない現状である。そこで本実験では、波長可変半導体レーザーを用いて $6s5d^3D_2-5d6p^3F_3$ (728.0 nm) 遷移のシュタルク効果の測定を行った。約 43.3 kV/cm までの電場を印加し、詳細なシュタルクスペクトルを観測した。そのシフトおよび分岐から上準位 3F_3 のテンソル分極率を $-89.8(12)\text{ kHz}/(\text{kV/cm})^2$ 、 728.0 nm 遷移のスカラー分極率を $-133.7(20)\text{ kHz}/(\text{kV/cm})^2$ と初めて決定した。

66. Ba 原子の高励起状態 $5d6p^3F_3$ におけるシュタルク分光

根谷 壮

Ba 原子の高励起状態における $6s5d^3D_2 \rightarrow 5d6p^3F_3$ (728.0 nm) 遷移のシュタルク効果の研究はほとんど報告がない。本研究では高分解能レーザー分光法を用いて、その遷移のシュタルク効果の研究を行った。Ba 原子を基底状態 $6s^2\ ^1S_0$ から準安定状態 $6s5d^3D_2$ に占有させ、 728.0 nm 遷移のスペクトルを観測した。最大 43 kV/cm の電場を印加し、シュタルクスペクトルの測定を行い、同遷移のスカラー分極率を $-133.7(20)\text{ kHz}/(\text{kV/cm})^2$ 、上準位 3F_3 のテンソル分極率を $-89.8(12)\text{ kHz}/(\text{kV/cm})^2$ と決定した。

67. テーパー型ガラスキャピラリーにおける光の透過率の測定

國谷 崇文

本研究は、マイクロ光ビームの生成において、ガラスキャピラリーにおける光の伝搬及び、透過特性の

解明を目的としている。昨年度は 3mm 管のガラスチューブを用いて、本年度は 2mm 管のものを用いた。出口径 20 μm から 164 μm までのテーパ型ガラスキャピラリーを作製、透過縞を観測し、次数ごとの光強度、透過率及び透過縞の拡がり角を測定した。またガラスキャピラリーの形状を測定、解析した。3mm 管を用いたものと比較すると、出力強度は 2mm 管を用いたほうが小さい結果が得られた。拡がり角の大きさはほとんど同じになった。透過率は 2mm 管を用いたほうが大きくなった。

68. 形状依存性の解明に向けたテーパ型ガラスキャピラリーにおける透過率の測定

増山 貴文

本研究では 2 mm 管ガラスキャピラリーにおける光の透過率を測定し、光の伝搬及び透過率のキャピラリー形状への依存性の解明を目的としている。外径 2 mm、内径 0.8 mm のガラス管を用いて出口径 20 μm から 164 μm までのテーパ型ガラスキャピラリーを作製、形状解析を行った。488 nm と 633 nm のレーザー光に対して透過縞を観測し、次数ごとの光強度、透過率、拡がり角を測定した。出口内径が大きくなるにつれて次数ごとの光強度、拡がり角は上昇する結果となった。3 mm 管ガラスキャピラリーとの比較では、2 mm 管ガラスキャピラリーの透過率は 3 mm 管のそれを上回っていた。

修士・博士論文発表会プログラム（理学部 IV 号館大学院セミナー室）

※ 状況により時間変更の場合があります。

平成 28 年 2 月 18 日（木）

博士課程（講演 30 分、質疑 10 分）

[物性物理]	9:00 ~ 9:40
1. 磁気秩序を伴う金属 - 絶縁体転移の研究 ~ π - d 系有機導体 λ -(BETS) $_2$ FeCl $_4$ における比熱測定~	嶋田 一雄

修士課程（講演 20 分、質疑 5 分）

[物性物理]	9:40 ~ 10:30
1. DTA 法による κ -[(d -ET) $_x$ (h -ET) $_{1-x}$] $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br の熱的研究	實方 博規
2. EtMe $_3$ P[Pd(dmit) $_2$] $_2$ の VB 秩序相に隣接した超伝導状態	曾根 真智子
[原子過程]	10:40 ~ 11:05
3. 全反射蛍光 X 線分析法を用いた、ウラン汚染水の高感度放射能測定	松山 嗣史
[物性理論]	11:10 ~ 11:35
4. 螺旋磁性体中のスピン依存電気伝導とカイラリティを利用した磁気抵抗効果	渡辺 広紀
[表面物理]	11:40 ~ 12:05
5. 電子衝撃脱離法によるステンレス鋼(SUS304)表面における水素・重水素透過挙動の微視的観察	平田 健一郎
[宇宙・素粒子]	13:00 ~ 13:25
6. 三軸不等楕円体モデルにおける銀河団質量の系統的調査	甘浦 稜介
[量子エレクトロニクス]	13:30 ~ 14:20
7. 高励起状態における Ba $6s5d^3D_2$ — $5d6p^3F_3$ 遷移のシュタルクとゼーマン効果の研究	伊東 大海
8. マイクロ光ビームの生成に向けたテーパー型ガラスキャピラリーにおける光の透過特性の研究	伊藤 有矢
[磁気物性]	14:25 ~ 15:15
9. エピタキシャル歪みがペロブスカイト型 Mn 酸化物 Nd $1-x$ Sr x MnO $_3$ ($x = 0.38, 0.54, 0.61, 0.71$) 薄膜の磁性に与える効果	手塚 貴之
10. パイロクロア酸化物 R_2 Ti $_2$ O $_7$ ($R = Dy, Ho$) における磁性元素置換の乱れがスピニアイスの磁気緩和に与える影響	堀川 哲
[基礎物理]	15:20 ~ 16:15
11. BelleII 実験用 Aerogel RICH 検出器の粒子識別性能評価	庵 翔太
12. Ashra / NTA 実験におけるタウニュートリノ検出のための大気蛍光トリガーシステムの開発	大島 仁

博士論文予稿

1.

磁気秩序を伴う金属-絶縁体転移の研究 ~ π - d 系有機導体 λ -(BETS)₂FeCl₄ における比熱測定 ~

嶋田 一雄 (物性物理)

本研究の目的は、 π - d 系有機導体 λ -(BETS)₂FeCl₄ における比熱の測定を通して、金属-絶縁体転移と磁気秩序の発現機構を明らかにすることである。

磁気秩序を伴う金属-絶縁体転移は、有機導体のみならず、様々な物質で見られる普遍的な相転移現象の一つである。また、磁気秩序相の周辺では、物質置換や磁場、圧力などの外場を制御することによって巨大磁気抵抗効果や超伝導といった多彩な物性が表れることが知られている。

本研究の対象物質である λ -(BETS)₂FeCl₄ は零磁場・常圧では約 8 K で反強磁性秩序を伴う急激な金属-絶縁体転移を示し、磁場を加えていくと、反強磁性絶縁相→磁場誘起金属相→磁場誘起超伝導相と状態を変えることが知られている。これらの相転移現象は、伝導を担う π 電子と局在性が強く、大きさ $S = 5/2$ のスピンを持つ $3d$ 電子の間に働く反強磁性的な相互作用である π - d 相互作用が原因であると考えられているが、相転移機構の本質的な理解は得られていない。

近年の研究で、局在 $3d$ スピン系が反強磁性絶縁相でも常磁性的な状態を持ち、伝導を担っていた π 電子・スピン系が相転移の主体となっているという描像が秋葉等によって提案されている。そして、 $3d$ スピン系の自由度を利用することによって相転移温度以下での π 電子系の情報を比熱などの熱測定から引き出すことができる可能性を指摘している。

本研究では、 $3d$ スピン系が常磁性的な状態にあるという立場で、この自由度を積極的に活用し、 π - d 相互作用と π 電子・スピン系の相転移の関係を明らかにすることを目標とした。

この目標を達成するために、まず、 $3d$ スピン系が反強磁性絶縁相でも常磁性的な振る舞いをすることを確認するために、零磁場での比熱の測定を行った。また、 $3d$ スピン系の自由度を用いて π 電子系の情報を引き出すことができることを確かめるために、 π 電子のつくる内部磁場の温度依存性と他の研究例の比較を行った。その結果、 $3d$ スピンに由来する比熱を解析することにより、 π スピンのつくる内部磁場の情報を引き出すことができることを明らかにした。更に、その温度依存性は低次元スピン系の特徴を持つことがわかった。

次に、 π - d 相互作用の大きさと相転移の関係を調べるために、 λ -(BETS)₂FeBr_xCl_{4-x} の電気抵抗と比熱の測定を行った。この系ではサイトごとに π - d 相互作用の大きさが異なる可能性があったが、これらの相互作用を分離し、それぞれの大きさを見積もることに成功した。

更に、磁場誘起相転移現象の理解のために、磁場下比熱測定を行い、 d スピンサイト上での有効磁場と相転移の関係を明らかにした。本物質では、反強磁性絶縁相での有効磁場の情報がほとんど得られていなかったため、これは相転移現象を理解するために重要な情報になると考えられる。

本研究では λ -(BETS)₂FeCl₄ の反強磁性絶縁体転移の研究を行ったが、この研究で得られた知見は更に広範な磁気秩序を伴う金属-絶縁体転移の機構解明に繋がっていくものであると考えている。

修士論文予稿

1.

DTA 法による κ - $[(d-ET)_x(h-ET)_{1-x}]_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ の熱的研究

實方 博規 (物性物理)

表題物質は 80 K ほどで BEDT-TTF 末端にあるエチル基に由来したガラス転移を起こす。この物質の電子系は Mott 型であり、高温側にあるガラス転移やエチル基末端水素の重水素置換で変化する有効圧に依存して、低温側の超伝導転移や絶縁体転移といった相転移が変化する。これまでの研究から、ガラス転移温度領域通過時の降温掃引速度が遅くなるにつれて、ガラス転移温度が低下することが J.Müller らの熱膨張係数の研究から明らかになっている。また低温側の Mott 反強磁性絶縁体相も、ガラス転移温度領域通過時の降温掃引速度が遅い場合には超伝導へと変化的に変化することが米山らの帯磁率の測定から明らかになっている。ガラス転移の詳細が解明されなければ低温側の定量的な評価を行うことが難しいため、広い温度範囲の過渡的な比熱を調べることができる DTA 法比熱測定装置を用い、まずガラス転移温度の温度掃引速度依存性とガラス転移直下温度 $T = 75 \text{ K}$ でのガラス転移直下温度アニールの効果を調べた。温度掃引速度依存性の実験では、温度掃引速度が減少すると、ガラス転移温度が低下する傾向が確認できた。そこから求めた活性化エネルギーバリアの大きさは、熱膨張係数から求めた値と誤差の範囲内で一致した。ガラス転移直下温度アニールの実験では、アニールを行うとガラス転移温度が低下する傾向がみられた。それを温度掃引速度の実験と比較して考察した場合、現状では温度掃引速度が小さくなるのと等価である場合と、アニールを行うことで活性化エネルギーバリアの値が小さくなる場合の少なくとも 2 つの描像が描けることがわかった。

¹ J.Müller, M.Lang, F.Steglich, J.A.Schlueter, A.M.Kini and T.Sasaki, Phys.Rev.B **65**, 144521(2002).

² N.Yoneyama, T.Sasaki, and N.Kobayashi, J.Phys.Soc.Jpn. **73** 6(2004)

2. EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂のVB秩序相に隣接した超伝導状態

曾根 真智子 (物性物理)

Pd(dmit)₂ 塩は異方的三角格子の構造をしていることから、磁氣的フラストレーションが強い系である。その中の EtMe₃Sb[Pd(dmit)₂]₂ は低温まで磁気秩序が無く、量子スピン液体物質候補の1つとして挙げられている。また、Pd(dmit)₂ 塩はカチオンを変えることでフラストレーションの度合いを制御することができ、さらに圧力などで電荷の自由度を付加することにより様々な電子相がこれまでに見出されてきた。このような Pd(dmit)₂ 塩の中で、スピン一重項を形成した valence bond solid (VBS) 絶縁体状態が EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂ の 25 K 以下の低温で発見された。2次元系物質では初めての例である。最も興味深いのは、この物質に圧力を印加することにより、VB秩序状態から超伝導転移をを起こすことである。例えば、約 0.4 GPa の圧力下でこの物質は、約 15 K で VB秩序相へ1次相転移し、約 5 K で超伝導転移を起こすのである。一方で、スピン一重項のペア (位置) が固定されていない、いろいろな組み合わせ (配置) が量子力学的に重なった状態を resonating valence bond (RVB) と呼ぶが、これが高温超伝導体における機構解明候補の1つとして論争が続いている。そういった意味で、この物質の VB秩序相に隣接した超伝導発現機構が最近注目されている。

本研究では、VB秩序相が超伝導発現にどのように関与するのかという問題に取り組み、VB秩序相と超伝導相の相境界近傍の状態を電気伝導性から詳細に調べた。以下がその結果である。

0.4-0.41 GPa の圧力領域で、VB秩序状態からの超伝導転移 ($T_c \sim 5$ K) を確認した。一方、0.415 GPa 以上の圧力下で VB秩序相は抑制することができ、金属からの超伝導転移を観測した。最も重要なことは、VB秩序状態からの超伝導転移において2つ超伝導転移を発見したことである。例えば 0.4 GPa の圧力下で温度を下げていくと、この系の電気抵抗は約 5 K で急激に減少するが、さらに温度を下げていくと約 2.5 K で電気抵抗は段階的に急激な落込みが見られた。磁場下の測定から、電気抵抗の2つの急激な減少はどちらも超伝導転移であることが判明した。以下、高温側で出現する超伝導を SC₁ とし、低温側を SC₂ とする。低温では SC₁ と SC₂ が混在した超伝導相なのである。

SC₂ の転移温度は圧力印加で急激に約 5 K まで上昇し、2つの超伝導転移はほぼ重なる。重要なのは、VB秩序相を完全に抑制した 0.43 GPa 以上の圧力下では、どちらか片方の超伝導転移のみ観測されることである。SC₁ と SC₂ のどちらかが VB秩序が関与した超伝導であることを示唆する結果である。そこで次のステップとして、2つの超伝導の2次元層内コヒーレンス長を臨界磁場からそれぞれ調べた。VB秩序が関与した超伝導のコヒーレンス長は格子定数 (0.8 nm) 程度 (あるいは格子定数の数倍) の長さであることが予期されるのである。結果、例えば 0.4 GPa の圧力下における SC₁ と SC₂ のコヒーレンス長はそれぞれ 7 nm、17 nm と見積もられる。一方、0.43 GPa 以上の圧力下における超伝導のコヒーレンス長は約 19 nm である。以上から、SC₁ が VB秩序の関与した超伝導であり、0.43 GPa 以上の超伝導は SC₂ であると推察する。さらに、SC₁ におけるコヒーレンス長は約 9 格子程の長さであるが、これから VB相は圧力印加で VBS から RVB または VB の長距離秩序状態へ変化すると推察した。

3. 全反射蛍光 X 線分析法を用いた、ウラン汚染水の高感度放射能測定

松山 嗣史 (原子過程)

ウラン (U) を取扱う施設では、U を含む排水が発生する。このような排水中の U の濃度限度値は法令で厳密に定められており、排水がこの基準を満たしていることを確かめるために、現在は α 線計測法による放射能測定が行われている。しかし、この測定手法では煩雑な化学的前処理を行った後に半日以上かけて測定する必要があり、複数の試料を測定することが難しい。そこで本研究では、排水中の U の放射能を迅速、簡便に測定するために、全反射蛍光 X 線分析 (TXRF: Total Reflection X-ray Fluorescence) 法を用いた新しい測定方法の開発を行った。

物質の X 線に対する屈折率は 1 よりわずかに小さいため、X 線を極めて小さい視斜角 ($90^\circ - \text{入射角}$) で物質に入射させると物質表面で全反射する。TXRF では、試料台に滴下させた水溶液上に臨界角未満で X 線を入射し、試料から放出された蛍光 X 線を法線方向で観測する。法線方向の散乱 X 線は極めて少ないので、ほぼ標的から放出された蛍光 X 線のみを観測することが可能である。特に TXRF 法では、U などの重元素の蛍光 X 線ピークが存在する 13 keV 程度のエネルギー領域において入射 X 線による散乱が少ないので、一般の蛍光 X 線分析法に比べて高感度に分析することが可能である。

本研究では、U に汚染された水を模した U 溶液を作成し、それを試料台に 10 μL 滴下・乾燥させたものを測定した。TXRF 法では、試料の乾燥残渣の拡がりや形状によって蛍光 X 線の信号強度が左右されるため、一般には内部標準法を用いて定量分析を行う。そのため、作成した U 溶液は、純水に U 及び内部標準元素としてイットリウム (Y) を混合させたものとしている。実験では、U La 線の相対信号強度 (U La 線の Net 信号強度 / Y K α 線の Net 信号強度) は、U の濃度に比例することが確かめられたほか、検量線から本方法で検出できる最低の放射能である検出下限放射能 (MDA: Minimum Detection Activity) が $3.43 \pm 0.06 \text{ mBq/cm}^3$ であることが示された。この値は法令で定められる排水中の濃度限度値を十分満たしている。しかし、一般に排水の処理施設では MDA が濃度限度値の 1/100 程度の手法を用いて排水の管理を行っていることを考えると、実用化するためには MDA をより低くする必要がある。そのためには試料溶液の濃縮が有効な手段となる。しかし、試料溶液を濃縮した後の微量溶液に内部標準法を混合させることは困難であるため、内部標準法は使いにくい。そこで、試料を保持する試料台として、ガラス基板を用いた一般的なものではなくコロジオン薄膜試料台を用いた。コロジオンは撥水性があるため、乾燥痕の拡がりや形状を統一することが可能であり、内部標準法を用いずに試料の定量を行うことができる。実験では、コロジオン薄膜 (膜厚: 45 nm) に 10 倍に濃縮した Y を含まない U 溶液を 10 μL 滴下し、乾燥させたものを分析した。その結果、U La 線の Net 信号強度は U の濃度に比例し、MDA は $0.247 \pm 0.075 \text{ mBq/cm}^3$ と見積もられた。この値は法令で定められる排水中の U の濃度限度値の 1/100 程度であり、本研究によって、TXRF 法を用いて排水中の U の放射能を迅速かつ簡便に測定できることが明らかになった。

4. 螺旋磁性体中のスピン依存電気伝導とカイラリティを利用した磁気抵抗効果

渡辺 広紀 (物性理論)

スピントロニクスは1988年の巨大磁気抵抗効果の発見により、急成長を遂げた研究分野である。巨大磁気抵抗効果とは磁性多層膜のスピン配列により電気抵抗が変化する現象で、磁化配列が平行と反並行の場合の電気抵抗に大きな差が現れる。この現象は、ハードディスクの磁気ヘッドなどさまざまな分野に応用されている。

現在までに利用されている磁石は、一様な磁化構造を持った強磁性体が一般的である。これに対し、カイラル磁性体と呼ばれる空間反転対称性が破れた磁性体中では、スピン交換相互作用と Dzyaloshinskii-Moriya(DM)相互作用が競合しており、磁性構造はねじれた状態で安定化する。特に、1次元的な磁化配置を有する系では、磁気モーメントが右回転もしくは左回転で周期的に並んだ螺旋配列をしている。この磁性体の回転方向のカイラリティ測定には、ローレンツ電子顕微鏡を用いて直接観測や、スピン偏光率を利用する光学測定などが用いられている。

本研究では螺旋磁性体中を伝導する電子のスピン依存伝導特性を数値的に解析する。特に、異なるカイラリティを持った螺旋磁性体の接合系を考え、抵抗の変化によるカイラリティ測定方法を提案する。手法としては4次のRunge-Kutta法を用いて、磁気モーメントの運動方程式であるLandau-Lifshitz-Gilbert方程式を解いた。螺旋磁性体の磁化配置を再現するために強磁性体接合とDM相互作用を有効磁場として取り入れた。計算の結果DM相互作用の符号によって、螺旋磁性体のカイラリティが変化した。次に、得られた磁化配置をs-dモデルで記述される伝導電子のハミルトニアンに代入し、再帰的グリーン関数法で系を通過する伝導電子の透過率を求め、ランダウアーの公式を用いて透過率からコンダクタンスとスピン分極率を求めた。

この結果、伝導電子はxy平面内の螺旋磁化構造中を運動しているのにもかかわらず、螺旋磁性体のもつカイラリティにより、z方向のスピン分極率を持つことが明らかになった。この結果を利用し、2つの螺旋磁性体を接合した系を考え電気伝導を求めた。この時、境界面による散乱が起こらないように接合面の磁化方向を平行にした。その結果、カイラリティが平行の場合と反並行の場合でコンダクタンスに差が生じることが分かった。さらに、接合面での磁化配置を反並行にした場合、コンダクタンスにさらなる大きな差が生じるという結果が得られた。この事により、電気伝導を用いた磁化カイラリティの新しい測定方法を提案した。

5. 電子衝撃脱離法によるステンレス鋼(SUS304)表面における水素・重水素透過挙動の微視的観察

平田 健一郎 (表面物理)

Introduction

水素が金属を透過することはよく知られている。水素が金属中を拡散、透過する際に格子欠陥などにトラップされ金属中に蓄積することによりステンレス鋼の強度や延性が低下する水素脆化、水素をエネルギー源とする取組では積極的に水素を固体内に拡散・蓄積させる水素貯蔵及び、極高真空槽材料における水素透過による到達圧力の限界等の様々な観点から金属中の水素挙動を明らかにすることが求められている。しかし、固体内の水素を直接観測することは困難である。そのため様々な研究の報告がなされてきたが、時間を追った金属中の水素挙動という観点での研究はいまだなされていない。したがって本研究では金属の中でも広範囲に用いられているステンレス鋼を試料とし、電子衝撃脱離法を用いて実時間測定を行うことにより湧出や透過の動的挙動を観察することを目的とした。

Experimental setup

電子顕微鏡のメインチェンバーにはイオン検出器、二次電子検出器、四重極型質量分析器(QMS)、試料台が備わっている。メインチェンバー(到達圧力 10^{-6} Pa 以下)と水素ガス供給系(到達圧力 10^{-4} Pa 以下)はそれぞれ独立した排気系で差動排気されており、試料で各々が隔てられている。本研究では導入ガスとして水素と重水素を使用し、それぞれを 2.65×10^5 Pa まで導入する。試料温度を一定に保ち、ガス導入時を $t=0$ として水素曝露面とは反対側の試料表面に湧出してきた水素を走査電子線により表面数密度分布に対応した ESD イオン像として 2 次元的に時間を追って観察する。また、試料を透過してきたメインチェンバー内の水素の分圧を QMS で実時間測定する。ESD イオン像の測定と QMS による測定は干渉を避けるため別々に行った。また、導入ガスが試料を十分に透過した後 300°C から 25°C ずつ温度を下げていき 50°C までの表面数密度と分圧の温度依存性の測定も行った。測定試料は 2 つあり、1 つは厚さ $100\ \mu\text{m}$ 、結晶粒径は厚さと同程度の $100\ \mu\text{m}$ であり、表面を鏡面加工してある。2 つ目は厚さ $200\ \mu\text{m}$ 、結晶粒径は $100\ \mu\text{m}$ であり、結晶粒構造を鮮明にするために表面をエッチングした。2 つの試料はオーステナイトとマルテンサイトの二相ステンレスである。

Result & Discussion

試料温度は 200°C 、 250°C 、 300°C で一定に保ち、それぞれ 20、40、44 時間のあいだ表面数密度と分圧の時間依存性を測定した結果、表面数密度と透過量は時間とともに上昇し、ステンレス鋼を横切る水素透過が観測された。表面数密度の上昇後、遅れて水素分圧が上昇するがこの時間差は試料温度の上昇と共に短くなる。表面数密度は湧出速度と脱離速度のバランスにより決まるため 250°C の場合、表面数密度は時間と共にほぼ直線的に増加し、湧出速度と脱離速度の時間変化が同様の傾向を示す事が分かった。しかし、 200°C と 300°C の場合、数密度の時間変化は対数関数的に増加し、湧出速度と脱離速度の時間依存性が異なる結果が得られた。温度依存性の測定では表面数密度と分圧は温度の低下と共に減少したが、約 250°C 以下では分圧の低下率が上回った。これは高温側から測定してきたため表面数密度は高いが脱離に必要な過程である表面拡散が抑えられ再結合による水素分子の生成が抑制されたためと考えられる。試料 1 では表面水素濃度分布を反映した ESD イオン像と表面構造を表している 2 次電子像を比較する事により、イオン像には幾何学的構造である線上の傷による濃淡が観測されたが、それ以外にも傷周辺には転位に起因すると考えられる濃淡が観察された。また特徴的な幾何学的構造がなく、相構造又は表面組成に起因すると考えられる水素濃度の高いサイトも観察され、時間による濃度変化を観察することができた。試料 2 では二次電子像により結晶粒や結晶粒界が確認でき、試料温度 200°C において ESD イオン像にはそれらに起因する濃淡が観察された。これはオーステナイト相とマルテンサイト相では水素の拡散、トラップの温度依存性が異なるためと考えられ、イオン像の濃淡は相構造を反映していることを示唆している。

6. 三軸不等楕円体モデルにおける銀河団質量の系統的調査

甘浦 稜介 (宇宙・素粒子)

銀河団は数百から数千の銀河と、高温ガス、ダークマターから成っている。銀河団質量を求める方法としては、X線によるガスの観測から得られる密度・温度分布を用いる方法があり、このとき銀河団は静水圧平衡であることを仮定する必要がある。しかし厳密に言えば静水圧平衡は成り立っておらず、銀河団の真の質量と静水圧平衡の仮定のもと求めた質量には誤差があると考えられる。誤差の検証には数値シミュレーションにより作られた銀河団を調べる方法がある。Suto et al. (2013, ApJ, 767, 79) が球対称の仮定のもと解析を行い、銀河団の真の質量と静水圧平衡下の質量との誤差は最大で約 30% あるという結果に達した。また、戸澤(2014) が三軸不等楕円体モデルを仮定し同様の解析を行ったところ、その誤差はさらに減少し、最大でも約 20% となった。これらの研究は、どちらも主に、Cen(2012, ApJ, 748, 121) のシミュレーションにより作成された 1 つの銀河団を用いて行っているため、違う計算コードにより作られた銀河団を複数調べることで、系統的に強い結論を得ることができる可能性がある。

本研究では Dolag et al. (2009, MNRAS, 399, 497) によりシミュレーションされた 7 つの銀河団を含めた計 8 つについて研究を行い、より系統的に誤差要因を調べることを目的とした。その結果、シミュレーションの信頼性が疑わしい中心部以外では 8 つの銀河団全てにおいて、球対称を仮定するよりも、三軸不等楕円体を仮定した方が真の質量と静水圧平衡下での質量の差は小さくなった。また誤差の主要因はオイラー方程式におけるガスの加速度項の寄与によるもので、これは Suto et al. (2013)、戸澤(2014) の主張とも一致する。その寄与の正負はランダムであったため、個々の値は楕円体を仮定しても 30%~40% 程度であったが、平均をとると球対称で最大約 20%、楕円体で最大約 10% 程度となった。このことから、より多くの銀河団を対象に解析を行えば、加速度項に起因する真の質量と静水圧平衡下の質量の差はさらに減少することが期待される。

本研究ではさらに、楕円体の近似に用いる各パラメータを、ガスだけでなくダークマターについても求めた。その結果、三つの軸の方向はダークマターとガスで系統的によく一致した。その一方で、楕円率の値は全ての銀河団で、ダークマターよりガスの方が小さくなった。

ここまで述べた結果については、次のように考察できる。ダークマターは銀河団質量の割合の大部分を占める。そのため銀河団の重力の大半をダークマターが担っている。ダークマターの密度分布は球対称からずれており、ガスの質量密度分布もダークマターの重力の影響を受け、同程度ずれようとする。しかしその一方で、圧力勾配による力が外向きに働く。この二つの力が釣り合い、銀河団ガスにおいて楕円体状に静水圧平衡がよい精度で成り立つ。以上のような理由から、三軸不等楕円体を仮定すると静水圧平衡下の質量と真の質量の差が、球対称を仮定するよりも小さくなったのだと考えることができる。

7.

高励起状態における Ba $6s5d\ ^3D_2-5d6p\ ^3F_3$ 遷移のシュタルクとゼーマン効果の研究

伊東 大海 (量子エレクトロニクス)

原子・分子のシュタルク効果、ゼーマン効果の研究は分光学のデータが得られ、重要な基礎研究テーマである。分極率や g 因子は原子の波動関数に密接に関連し、理論計算を有効に検証でき、理論的な研究の発展にも大きく寄与している。近年、パリティ非保存に関する測定や、原子の永久電気双極子モーメント (EDM) の探索がシュタルク効果及びゼーマン効果を用いた実験が行われているため、高精度な分極率や g 因子などの原子の基礎データが必要となっている。

シュタルク効果の研究に関しては安定かつ強力な外部電場の生成が非常に困難であるため、多くの原子に対してシュタルク効果が分かっていないのが現状である。また高励起状態におけるゼーマン効果の研究報告も少ない。

我々はこれまでに、単電子のアルカリ金属原子のシュタルク効果とゼーマン効果の研究を行っていた。現在、2電子原子である Ba の測定を行っている。2電子原子は単電子原子に比べ、電子配置と電子準位が複雑になっているため、その研究は分光実験的にも、理論計算的にも興味深い。

Ba 原子の高励起状態の $5d6p$ 配位において、 3P_1 と 3D_1 準位については、分極率の研究報告があり、報告された分極率が大きく異なっている。しかし 3F_1 準位についての研究報告は無い。従って 3F_1 準位についての測定は興味深い。 3F_2 準位については、昨年本研究室において分極率と g 因子の決定が行われていた。そこで今回は 3F_3 準位の分極率と g 因子を決定し、 3F_2 準位との関係について考察していきたい。

本研究では、外部共振器型波長可変半導体レーザーと原子線を用いて、高分解能レーザー分光により Ba の高励起状態 $5d6p\ ^3F_3$ におけるシュタルク効果とゼーマン効果の研究を行った。電気放電を用いて原子を準安定状態 $6s5d\ ^3D_2$ に占有させ、 $6s5d\ ^3D_2-5d6p\ ^3F_3$ 遷移 (波長 728.0 nm) の分光を行った。

シュタルク効果の測定では強さ 43.3 kV/cm までの電場をかけ、 ^{138}Ba と ^{136}Ba のシュタルクシフトと分岐を観測した。電場を変えて詳細な測定を行い、 $6s5d\ ^3D_2-5d6p\ ^3F_3$ 遷移のスカラー分極率を $-133.7(20)$ kHz(kV/cm)²、上準位 3F_3 のテンソル分極率を

$-89.0(12)$ kHz(kV/cm)² と決定した。

ゼーマン効果の測定では強さ 121 G までの磁場を印加し同遷移のゼーマン分岐のスペクトルを観測した。詳細な測定を行い、 $5d6p\ ^3F_3$ の g 因子を $0.9870(41)$ と決定した。

決定した Ba 原子のスカラー分極率、上準位のテンソル分極率及び、 g 因子は今回初めて算出されたデータである。

8. マイクロ光ビームの生成に向けたテーパ型ガラスキャピラリーにおける光の透過特性の研究

伊藤 有矢 (量子エレクトロニクス)

テーパ型ガラスキャピラリーによるマイクロイオンビームの研究は盛んに行われているがマイクロ光ビームの研究はあまり報告されていない。ガラスキャピラリーは細胞照射には適しており、安価で使いやすく、任意サイズの光ビームの生成ができ、焦点位置の確定が容易という特長がある。これにより、細胞へのピンポイント励起光照射が実現でき、さらには、医療分野への応用にも期待できる。

本研究の目的は、ガラスキャピラリーにおけるレーザー光の伝搬及び透過特性を解明し、マイクロ光ビームの生成をすることである。そのために、波長 488nm と 633nm のレーザー光を用いてキャピラリーにおける光の透過率を系統的に測定した。また、出口から発射されるビームの質を向上させるために、透過縞やビームの拡がりを調べた。外径 3mm、内径 1.8mm(3mm 管)と外径 2mm、内径 0.8mm(2mm 管)の2種類のガラス管を用いて、形状の異なるキャピラリーの測定によって透過率や拡がりのキャピラリー形状への依存性を検討した。

3 mm 管では、出口径 23 μm ~ 106 μm まで、2 mm 管では、出口径 34 μm ~ 134 μm までのテーパ型ガラスキャピラリーを作製及び透過縞の観測、全体の透過率、次数ごとの透過率、次数ごとの相対強度及び透過縞の拡がり角を測定した。

3 mm 管と 2 mm 管を比較してみた所、透過率においては、2 mm 管が高い傾向を示しており、両者共に、全体的に 1 次の透過率が高い。また、拡がり角においては、両波長共に、2 mm 管の方が大きい傾向を示している。

そして、3 mm 管においては、ガラスキャピラリーを形状解析及びモデル化し、シミュレーションを用いて、光の透過率を計算した。計算値が実験値とほぼ一致し、観測された波長 488nm と 633nm の透過率の差が入射光プロファイルによるものと分かった。また、ガラスキャピラリーの形状や入射光のパラメータ (beam size、屈折率、テーパ角)などの値を変えて透過率の影響を調べた。

9.

エピタキシャル歪みがペロブスカイト型 Mn 酸化物 $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.38, 0.54, 0.61, 0.71$) 薄膜の磁性に与える効果

手塚 貴之 (磁気物性)

ペロブスカイト型 Mn 酸化物は磁場の印加により抵抗が数桁以上減少する超巨大磁気抵抗 (CMR) 効果を示す物質として知られている。バンド幅の広い $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ においては強磁性金属状態 (FM) が安定化されやすく、バンド幅の狭い $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ においては電荷軌道整列絶縁体状態が安定化されやすい。本研究対象である $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ (NSMO) はその中間のバンド幅を持つため多彩な物性を示す。NSMO の高ドープ ($x > 0.5$) 領域においては、A 型反強磁性 (AF(A)) 構造を持つ x^2-r^2 軌道秩序相、C 型反強磁性 (AF(C)) 構造を持つ $3z^2-r^2$ 軌道秩序相が現れる。軌道秩序は格子歪みと密接な関係があるため、NSMO を薄膜にしてエピタキシャル歪みを与えることで軌道秩序の制御が可能である。 c/a (c 軸と a 軸の格子定数の比) < 1 となるような格子歪みを与える (すなわち面内方向に結晶格子が広がる) と x^2-r^2 軌道秩序が安定化し、 $c/a > 1$ となるような格子歪みを与える (すなわち面直方向に結晶格子が伸びる) と $3z^2-r^2$ 軌道秩序が安定化される。 $c/a = 1$ 付近において x^2-r^2 軌道秩序から $3z^2-r^2$ 軌道秩序へと転移すると考えられるが、その詳細はまだわかっていない。二つの軌道秩序はそれぞれ特徴的な反強磁性構造を持つため、 $c/a = 1$ 付近の格子歪みを制御することで、電子相のスイッチングや軌道秩序状態の量子的な混成による新たな物性の発現などが期待できる。

本研究では、 $c/a = 1$ 近傍の磁氣的性質を調べるため、高周波マグネトロンスパッタリング法を用いて、 LaAlO_3 (LAO)、 SrTiO_3 (STO)、 $(\text{LaAlO}_3)_{0.3}(\text{SrAl}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3)_{0.7}$ (LSAT) 基板上にエピタキシャル成長させた NSMO 膜を作製した。そして、作製した薄膜試料にアニール処理を施すことでエピタキシャル歪み (c/a) を系統的に制御し、磁氣的性質に与える効果を調べた。as-depo. の NSMO ($x = 0.38$)/LAO は $c/a = 1.05$ の値を持っている。磁化の温度依存性及び c/a の値からその基底状態は AF(C) であることを示唆している。1000 °C でアニールした試料 ($c/a = 0.98$) は強磁性転移温度 $T_c = 215$ K で磁化の増加を示す。as-depo. の NSMO ($x = 0.54$)/LAO の磁化の温度依存性においては強磁性的な振る舞いは見られず、 $c/a = 1.08$ の値から AF(C) が基底状態であると考えられる。アニール温度が上昇するに従い、 c/a の値は 1.08 から 1.03 へと減少する。それに伴い、 $T_c = 200$ K から磁化は増加し強磁性的相関が発達する。NSMO ($x = 0.61$)/LAO においても $x = 0.54$ と同様の振る舞いが観測された。以上の結果から、NSMO 薄膜の高ドープ領域において c/a が 1 に近づくにつれ強磁性相関が発達していくことがわかった。高ドープ NSMO のバルク試料においては、200 K 付近の高い温度では強磁性相は現れない。従って、高ドープ NSMO ($x = 0.54, 0.61$)/LAO で観測された強磁性相関の原因は、伝導電子により誘起された強磁性相互作用 (二重交換相互作用) ではなく、軌道秩序の量子的な混成によるものと考えられる。

10.

パイロクロア酸化物 $R_2Ti_2O_7$ ($R = Dy, Ho$)における磁性元素置換の乱れがスピナイスの磁気緩和に与える影響

堀川 哲 (磁気物性)

本研究ではスピナイス $Dy_2Ti_2O_7$ の A, B 両サイトそれぞれに磁性元素置換を施す事によってその乱れがスピナイスネットワークにどのような影響を及ぼすのかを緩和の観点から探査する事を目的とした。

パイロクロア酸化物 $Dy_2Ti_2O_7$ の A, B 両サイトは共にパイロクロア副格子を形成している。この物質は A サイトを占有している磁性イオン間の有効的強磁性相互作用と局所的な一軸異方性の競合によってフラストレーションが生じ、正四面体ユニットの頂点にあるスピンのいわゆる two-in two-out ルールに従う事に起因する巨視的な縮退が生じたスピナイス状態になる事が知られている。これにより $Dy_2Ti_2O_7$ の磁気緩和は two-in two-out ルールと一軸異方性に起因する長い緩和時間と複雑な緩和過程を持つ。特に緩和モデルは緩和解析によって、Davidson-Cole モデル(以下 DC モデル) という特殊な緩和時間の分布を持つ系である事が示唆されている。我々はこれまで $Dy_2Ti_2O_7$ の A サイトに Dy^{3+} とイオン半径の異なる Y^{3+}, La^{3+} を、 B サイトに Ti^{4+} とイオン半径の異なる Sn^{4+}, Zr^{4+} を置換した試料を作製、緩和解析を行う事で非磁性元素置換による乱れを導入した磁気緩和への影響を探査してきた。これによるとスピナイスのネットワークを作る A サイトを直接置換で乱すよりも、非磁性イオンサイトである B サイトを乱した場合の方が、同程度の歪みを与える置換でも緩和機構に大きな影響を与えた。即ち、 B サイト非磁性置換では緩和モデルがスピナイス状態で見られた DC モデルから外れた。これはスピナイス状態が壊れた事を示唆している。この理由として B サイトを局所的に非磁性元素で置換する事で、その周囲にある 6 つの最近接 A サイトのスピナイスネットワーク全体に歪みを与えるため、 A サイトを直接置換した効果よりも強い影響を与えた事が考えられる。本研究では A, B サイトを「磁性元素置換」を行う事で、より劇的にスピナイスのダイナミクスに影響を与えるのではないかと考えた。具体的には $Dy_2Ti_2O_7$ に対して、スピナイスのネットワークを形成している A サイトに異なる磁性イオン Ho^{3+} を置換した $(Dy_{2-x}Ho_x)Ti_2O_7$ 、及び非磁性イオンサイトである B サイトに付加的な Dy^{3+}, Ho^{3+} を置換したスタッフドスピナイス $Dy_2(Ti_{2-x}Dy_x)O_{7-\delta}$ 、 $Ho_2(Ti_{2-x}Ho_x)O_{7-\delta}$ を作製し、交流磁化率を測定、Havriliak-Negami モデルと呼ばれる緩和モデルを用いたフィッティングによる緩和解析を行った。これにより、DC モデルに従うかどうか、その緩和時間及び緩和時間の分布がどのくらいであるかを見積もる事ができる。その結果、少なくとも A サイトに 40%、 B サイトに 2% 程度の磁性元素置換をしてもほぼ DC モデルを維持していた。即ち非磁性元素置換の場合は局所的な B サイト置換による歪みの効果でスピナイスが壊れてしまったが、 B サイト磁性元素置換の場合はスピナイス状態を維持する結果となった。これはサイトに入り込んだ磁性イオンが $A-B$ サイト間に新たな相互作用経路を形成するため、スピナイスのスピン相間を補い、スピナイスのネットワークを維持するように貢献したと考えられる。また置換元素が磁性元素か非磁性元素か、又は A サイト B サイトのどちらに置換したかどうかに関わらず、置換した元素量 x の増加によって緩和時間の分布の幅が広がった。そして緩和時間は置換した元素の量 x や、被置換元素に対する置換元素のイオン半径比が大きくなると短くなった。この事から緩和時間に関しては主に元素置換による歪みの効果が影響を与えると考えられる。

11.

BelleII 実験用 Aerogel RICH 検出器の粒子識別性能評価

庵 翔太 (基礎物理)

現在の宇宙がなぜ物質で満ちているのか、反物質はどこへ行ったのか。この謎を解く鍵の一つとして CP 対称性の破れがある。Belle 実験は B 中間子の崩壊を用いることでクォークセクターの CP 対称性の破れの観測を目指した。結果、CP 対称性は確かに破れていることが Belle 実験によって確認された。しかし CP 対称性がどの程度破れているのか、それは標準理論から予想される範囲内なのかを議論するには測定精度が低い。また Belle 実験で観測されたイベントには標準理論の予想を外れた新物理の兆候をみせるものもあった。そのため標準理論の検証、新物理の探究を目指し BelleII 実験がスタートする。Belle 実験から BelleII 実験への主なアップグレード内容としては、新物理に感度を持つ高運動量領域の測定が可能になること、ルミノシティと測定精度の向上である。それに伴い検出器のアップグレードも行われる。A-RICH 検出器はアップグレードされる検出器の一つで、BelleII 検出器のなかでエンドキャップ部における K/ π 識別を担う。K 中間子と π 中間子はどちらもハドロンであり、質量が非常に近いため識別が困難である。しかし K/ π 識別が必要な崩壊モードは多数存在し、崩壊元の B 中間子のフレーバーを決定するフレーバータギングや、シグナルとバックグラウンドの区別など重要な役割を担う。そのため Belle・BelleII 実験の測定精度に大きく関与する。A-RICH 検出器は荷電粒子が検出器に入射した際に発生するチェレンコフ光のリングイメージをもとに K/ π 識別を行う。チェレンコフ光を発生させるための輻射体として光透過性があり、屈折率の調節が可能な Aerogel という物質をタイル状にして敷き詰めたものを利用する。Aerogel のタイルはアルミのフレームにセットされるのだが、そのフレームのごく僅かな壁の歪みから位置のずれなどが発生し、Aerogel のタイル間のギャップの大きさが設計値の 1mm よりも大きくなってしまいう可能性がでてきた。

本研究では、ギャップの大きさが大きくなることによる識別性能の変化を見積もり、ギャップの大きさをどの程度に抑えるべきなのかを見積もった。識別方法としては π 中間子と K 中間子の対数尤度の差を用い、その差が設定した閾値よりも大きい場合を π 中間子とする。つまり設定する閾値の大きさを大きくすれば K 中間子と誤識別される割合(fake rate)を低くすることができる。しかし閾値を大きくしてしまうと本物の π 中間子を落としてしまうことになり、efficiency が下がってしまう。そのため識別性能は efficiency と fake rate を比較することで評価することができる。結果、A-RICH 検出器の識別可能な運動量領域においてギャップの影響で efficiency が下がることがわかった。特に 0.5 GeV/c から 1.0 GeV/c、3.5 GeV/c から 4.0 GeV/c の運動量領域においてギャップの影響が顕著に現れる。これはギャップの大きさを抑えなければ、BelleII 実験の目的である新物理に感度を持つ高運動量領域における測定精度が低下することを意味している。

12.

Ashra / NTA 実験におけるタウニュートリノ検出のための大気蛍光トリガーシステムの開発

大島 仁 (基礎物理)

1912年に V. F. Hess らによって宇宙線が発見されて以来、今日では世界中で宇宙線望遠鏡実験が行われている。その一つとして、長年の謎とされてきた超高エネルギー宇宙線の起源や加速機構の解明をすべく、超高エネルギーニュートリノを観測プローブとした素粒子望遠鏡実験 Ashra が立ち上がり、遂行されている。数ある素粒子の中でも中性かつ弱相互作用粒子であるニュートリノは、宇宙空間を輻射場と相互作用せずに伝播する。すなわち、ニュートリノは深宇宙を探るための強力なツールとなり、そこには宇宙線核種や銀河磁場といった電磁気力による不定性は一切排除される。

Ashra はハワイ島マウナロア山中腹に設置した視野直径 42 度かつ解像度数分角の検出器を用いて、大気中でのタウ崩壊に伴う空気シャワーによる大気チェレンコフ光と大気蛍光の観測を行う。この発光時間の異なる 2 つの大気発光現象を Ashra 独自のトリガーシステムで捉えることにより、タウニュートリノの検出を狙う。今まで Ashra-1 では、観測サイトの地理的特性を活かした Earth-Skimming 法によるタウニュートリノ起因チェレンコフ光トリガー観測に成功している。次の段階として、タウニュートリノ検出感度向上のための大気蛍光トリガー観測を目指しており、大気蛍光トリガーシステムの開発を行っている。

Ashra 集光器では、トリガーシステムの光センサーへの光信号伝送には、光ファイバー束と光結合分岐器を用いる。光結合分岐器は、同一視野を観測している 4 つの集光器の光ファイバー束からの信号を、対応するピクセルごとに 1 つに結合させ、その後チェレンコフトリガーと大気蛍光トリガーへと光信号を分岐させる役割を担う。光結合分岐器は現在要素開発の段階であり、アクリルを素材の候補として検討している。今回、アクリルロッドによる光結合・分岐の原理実証を行い、およそ 90% の光伝送効率で光結合、およそ 62% の光伝送効率で光分岐できることを示した。

トリガー観測において、チェレンコフ光はシャワー発達軸に沿って指向性を持つのに対して、大気蛍光は空気シャワー発達軸垂直方向に等方的に放出され、軸に沿った光が時間差をもって集光器へ入射するため、トリガー撮像が困難である。そこで、大気蛍光撮像においては時間発展を考慮したトリガーロジックを構築することで困難を解決する。開発したプロトタイプの大気蛍光トリガーロジックの動作試験を明野観測所にて行い、レーザーによるレイリー散乱光に対して自律的なトリガー撮像に成功した。この動作試験での成果をもとに、大気蛍光トリガーロジックの改良および観測用トリガーシステムの仕様に合わせた調整を行い、大気蛍光試験観測を行った。