

物理学専攻

Department of Physics

概要

理学部物理学科は1931年に大阪大学初代総長長岡半太郎博士によって創設され、当時勃興した量子論に基づいた物理学研究の中心として、数々の輝かしい業績がここで誕生しています。因習にとらわれない、自由で生き生きとした雰囲気、独創性を重んじる研究第一主義の伝統は今も引き継がれ、活力の大きな支えとなり、教育面にも反映し、各界に建設的で有能な人材を数多く送り出す要因となっています。1995年度から、大学院重点化により理学部物理学科の講座を再編成し、5つの大講座（物性物理学、素粒子・核物理学、基礎物理学、量子物理学、学際物理学）を基幹講座として、新しく大学院理学研究科物理学専攻がスタートしました。学内の研究所、センター、研究科附属実験施設の構成員を含めた5つの協力講座（学際物理学、素粒子・核反応学、極限科学、非平衡物理学、高強度レーザー科学）を構成し、研究・教育のネットワークを強化しています。また、国立研究開発法人理化学研究所と協力して研究・教育を進めています。入学定員は、物理学専攻：修士68名、博士33名です。学部3年生から大学院に入学できる、いわゆる「飛び級」制度を1991年度から実施しています。また、2003年度から2007年度まで、文部科学省「21世紀COEプログラム」の主幹組織を務めました。2010年度には、文部科学省「グローバル30プログラム」の一環として英語を教育言語とする「国際物理特別コース」を新設しました。

組織

基幹大講座

●物性物理学

- [教授] 小林研介、田島節子、花咲徳亮、
(兼) 萩原政幸
[准教授] 酒井英明、新見康洋、宮坂茂樹、
(兼) 鳴海康雄
[助教] 荒川智紀、中島正道、村川寛、
(兼) 木田孝則

●素粒子・核物理学

- [教授] 川畑貴裕、久野良孝、山中卓

- [准教授] 青木正治、小田原厚子、阪口篤志、
南條創、福田光順、松多健策、
吉田斉

- [助教] 佐藤朗、清水俊、三原基嗣、廣瀬穰

●基礎物理学

- [教授] 浅川正之、大野木哲也、兼村晋哉、
橋本幸士

- [准教授] 尾田欣也、山口哲

- [助教] 赤松幸尚、飯塚則裕、北澤正清、
菅野優美、田中実、深谷英則、
柳生慶

●量子物理学

- [教授] 阿久津泰弘、黒木和彦、越野幹人

- [准教授] キース・スレヴィン

- [助教] 大橋琢磨、越智正之、川上拓人

●学際物理学

- [教授] 松野丈夫、(兼) 豊田岐聡

- [准教授] 石原盛男

- [助教] 上田浩平、(兼) 青木順

●招へい教員

- [教授] 内田善之(Imperial College London)、
高杉英一、細谷裕、
渡邊功雄(理研)

協力大講座

●学際物理学

- [教授] 豊田岐聡(基礎物理学)、
兼松泰男(基礎物理学)

- [助教] 青木順(基礎物理学)

●素粒子・核反応学

- [教授] 青井考(核)、中野貴志(核)、
能町正治(放)、野海博之(核)、
福田光宏(核)、保坂淳(核)、
與曾井優(核)

- [准教授] 味村周平(核)、石井理修(核)、
井手口栄治(核)、緒方一介(核)、
嶋達志(核)、民井淳(核)

- [講師] 神田浩樹(核)、依田哲彦(核)

- [助教] 小林信之(核)、白鳥昂太郎(核)、
菅谷頼仁(核)、鈴木智和(核)、
高久圭二(核)、外川浩章(核)、
堀田智明(核)

- [特任教授] KONAKA AKIRA、KIM HYUN-
CHUL(核)

- [特任准教授] 下村浩一郎(核)

●量子物理学

- [教授] 浅野建一(学)

●極限科学

- [教授] 大岩 顕 (産)、小口多美夫 (産)、
杉山 清寛 (学)、萩原政幸 (強磁場)
- [准教授] 白井光雲 (産)、長谷川繁彦 (産)、
鳴海康雄 (強磁場)
- [助教] 木山治樹 (産)、藤田高史 (産)、
舩田浩義 (産)、山内邦彦 (産)、
木田孝則 (強磁場)
- [特任助教] 赤木暢 (強磁場)

●非平衡物理学

- [教授] 菊池誠 (サイバー)、
木村真一 (生命)
- [准教授] 吉野元 (サイバー)、
渡辺純二 (生命)
- [助教] 大坪嘉之 (生命)、渡邊浩 (生命)

●高強度レーザー科学

- [教授] 藤岡慎介 (レーザー)、
千徳靖彦 (レーザー)
- [講師] 有川安信 (レーザー)、
岩田夏弥 (レーザー)
- [助教] 佐野孝好 (レーザー)、
MORACE Alessio (レーザー)

※注：(理研)：国立研究開発法人理化学研究所、
(核)：核物理研究センター、(基礎理学)：理学研究科
附属基礎理学プロジェクト研究センター、
(産)：産業科学研究所、(強磁場)：理学研究科附属
先端強磁場科学研究センター、(サイバー)：サイ
バーメディアセンター、(レーザー)：レーザー科学
研究所、(生命)：生命機能研究科、(学)：全学教育
推進機構

※研究は研究グループ単位で行われており、その研究
内容については、研究グループ紹介を参照すること。

■教育・研究の現状

- (1)教育・研究の特色 自然科学(物質、自然現象、宇宙)を理解する上で最も基本的な学問である物理学の教育・研究を担当します。多様に発展する近代科学の共通基盤を追求するとともに、相互の深い関わりと根底に潜む普遍性についての基本概念や方法論を探求します。拡大する現代物理学と関連分野のフロンティアを目のあたりにし、広い視野から多様性を理解するための素養を身につけ、学会、実業界など各方面で建設的、創造的なリーダーとなれる人材の育成に重点をおきます。
- (2)カリキュラム：科学技術の高度化、物理学研究の多様化や学際化に対処するため、物理学関連の教員を結集してカリキュラム(研究・教育)を策定しています。

- (a)基礎的科目を設け、将来は原則として学部との共通科目とします。
- (b)隣接学問専攻の講義の履修を奨励し、広い学問的基盤をもつ研究者を育成します。
- (c)学際セミナー、学際特別セミナーを設置します。
- (d)カリキュラムメニューとして、Aコース(理論系：主として基礎物理学・量子物理学講座)、Bコース(実験系：主として素粒子・核物理学講座)、Cコース(実験系：主として物性物理学講座)の3つの典型と、共通授業科目を開講し、履修の指針に便宜を図っています。

■将来展望

物理学専攻は、質的にも量的にも強力で高度な研究・教育態勢へと向かい、国際的にも誇れる真に独創性豊かな研究集団となることを目指しています。柔軟性をもった組織・運営により新分野の開拓と成果をもたらし、センター・オブ・エクセレンスの形成を促進します。学科、専攻の教育・研究の活性化、社会との学術・教育・文化交流を促進し、それによって、各界に建設的、創造的人材が輩出する場を提供していきます。

■就職先

物理学専攻における2017年度の合計では、博士前期課程修了者57名中、11名が博士後期課程に進学しました。その他45名が民間企業に就職しました。博士後期課程修了者では、16名中12名が国内外の大学ならびに公立の研究機関の助教や研究員に就職しています。また、4名が民間企業に就職しました。

各グループの研究案内

Department
of
Physics

小林グループ

スタッフ 小林研介(教授)、新見康洋(准教授)

[研究テーマ]

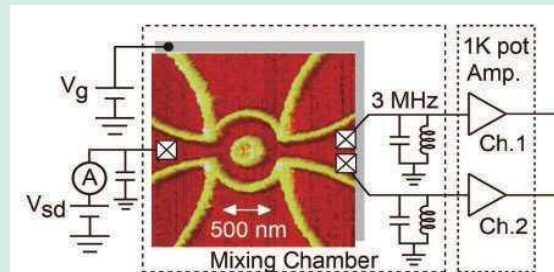
- 1) 固体素子における量子多体制御
- 2) 量子系「ゆらぎの定理」、量子測定とフィードバック制御
- 3) 固体素子における電子スピン・核スピン依存伝導
- 4) 2次元原子層超伝導体やフラストレート磁性体におけるスピン輸送測定
- 5) 新規測定手法の開発 (特に高精度実時間量子輸送測定)

近年、極小の電子回路を舞台として、量子力学的な効果を人間の手で制御しようという、人工量子系の研究が活発に行われています。人工量子系の多くは、半導体や金属薄膜を微細加工して作られる数 nm ~ 数ミクロン程度の小さいサイズのもですが、それらはいくつかの外部パラメータによって制御できるようにデザインされています。このような系を用いることによって、電子の電荷・スピン・位相・電子間相互作用など、多彩な量子効果を人間の手によって自在に制御することが可能となってきています。

これまでに、私たちは、電子を一個ずつ制御できるような人工原子や電子干渉計などを用いた実験などを行ってき

ました。特に、世界有数の高感度を持つ電流ゆらぎ測定系を独自に開発し、近藤効果のような典型的な多体効果を制御することや、「ゆらぎの定理」と呼ばれる統計力学における基本原理を実験的な検証(下図は実験に用いた電子干渉計と測定系の概念図を示しています)に成功しています。また、スピン角運動量の流れであるスピン流を用いた、2次元原子層超伝導体やフラストレート磁性体の研究も行っています。

このように、私たちは、人工量子系をはじめとする固体素子における様々な量子多体効果や非平衡現象に注目し、これまでに不可能であったような実験に挑むと同時に、新現象の発見を目指して研究を進めます。

Department
of
Physics

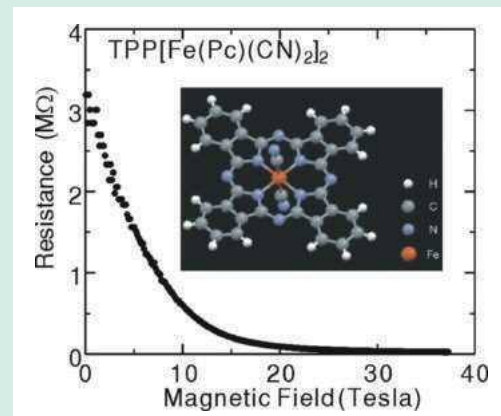
花咲グループ

スタッフ 花咲徳亮(教授)、酒井英明(准教授)、村川 寛(助教)

[研究テーマ]

1. 巨大磁気抵抗等を示す有機・無機物質の作製と機構解明
2. 強相関電子系における熱・電気変換効果の研究

わずかな摂動に対して物質の性質が大きく変化する現象は巨大応答と呼ばれます。電子間にクーロン相互作用が強く作用する強相関電子系では、この巨大応答現象を誘起することができます。例えば、磁場を物質に加えると電気抵抗が急激に変化する巨大磁気抵抗効果と呼ばれる現象があります。これは、電子の移動し易さをスピン自由度で制御したものであり、ハードディスクの磁気ヘッドにも応用されている有益な効果です。私達の研究グループでは、分子性物質や無機酸化物における巨大磁気抵抗効果を見出すとともに、その機構解明を進めています。また、強相関電子系の多自由度を活かして熱を電気エネルギーに変換する熱電材料の探索も行っています。分子・電子系が有するスピン・軌道自由度を包含した学理の発展を目指しています。



Department
of
Physics

田島グループ

スタッフ 田島節子 (教授)、宮坂茂樹 (准教授)、中島正道 (助教)

【研究テーマ】

高温超伝導体を中心とした様々なエキゾチック超伝導体の超伝導メカニズムや強相関系における新奇現象の解明。

純良単結晶の作製と、その電荷応答（電気輸送特性、光学反射及びラマン散乱スペクトル）の測定を中心とした実験。

10数年前の銅酸化物超伝導体の発見によって、それまで絶対温度10ケルビン以下の極低温の現象とされてきた超伝導現象は、一気に1桁以上高温の世界のものとなりました。極低温の世界では常温とは異なる物理法則が支配していることがわかっていますから、超伝導が“高温で”出現したという事実は、従来の物理学を越える新しい“何か”の存在を示すものとして、世界中の研究者に大きな衝撃を与えました。「なぜそのような高温で超伝導状態になるのか？」という基本的な問いへの答えは、未だ見つかっていません。また、この10数年間の研究によって、この物質では超伝導現象以外に様々な特異な現象が見つかっています。電子が自己配列したり、不均一に分布したりする現象などです。これらの現象解明も新しい物性物理の世界を開くという意味で重要であり、

取り組んでいきたいと思っています。

また、高温超伝導の出現には電子間の強い相互作用が密接に関わっているのではないかと考えられています。この観点から強い電子間相互作用を持つ“強相関電子系”が脚光を浴びて、高温超伝導、モット絶縁体-金属転移、電荷・軌道整列現象、巨大磁気抵抗効果などの興味深い物理現象が研究されてきました。この強相関電子系を対象に新しい量子臨界現象を探索し、そのメカニズムの解明や制御を行います。



Ar-Krレーザーを使ったラマン散乱分光器

Department
of
Physics

萩原グループ

(先端強磁場科学研究センター)

スタッフ 萩原政幸 (教授)、鳴海康雄 (准教授)、木田孝則 (助教)、赤木 暢 (特任助教)、杉山清寛 (兼任教授)、竹内徹也 (兼任助教)

【研究テーマ】

- 1) 磁場誘起量子相及び相転移の研究
- 2) 強相関電子系の強磁場物性及び量子臨界性の研究
- 3) 機能性材料の強磁場物性研究
- 4) 多重極限環境での物性測定装置開発と物性研究

磁場は温度や圧力などと共に重要な物理パラメーターの一つであり、主に物質の性質を決定する電子のスピン自由度と軌道運動に作用するソフトで制御可能な外部パラメーターです。超強磁場で極低温、超高圧、光、マイクロ波照射などを組み合わせた複合極限条件の外場を高度に制御し、通常の研究室レベルでは得られない広いパラメーター領域での新現象の発見や機構解明を目的とした研究を行っています。図には日本一の充電エネルギーを有する大型コンデンサーバンクシステムとそれを用いて広い磁場空間に強い磁場を発生させるためのワイドボアパルスマグネットを示しています。これ

らを用いて、現在、超強磁場・超高圧・極低温の多重極限環境を目指した物性測定装置の開発と物性研究、例えば、鉄系高温超伝導体の研究等を行っています。また、世界で最も広い周波数-磁場の観測領域を有する電子スピン共鳴装置を開発してきており、量子効果や磁気フラストレーション効果の大きな磁性体の研究も行っています。



大型コンデンサーバンクシステムとワイドボアパルスマグネットのカットビュー

Department
of
Physics

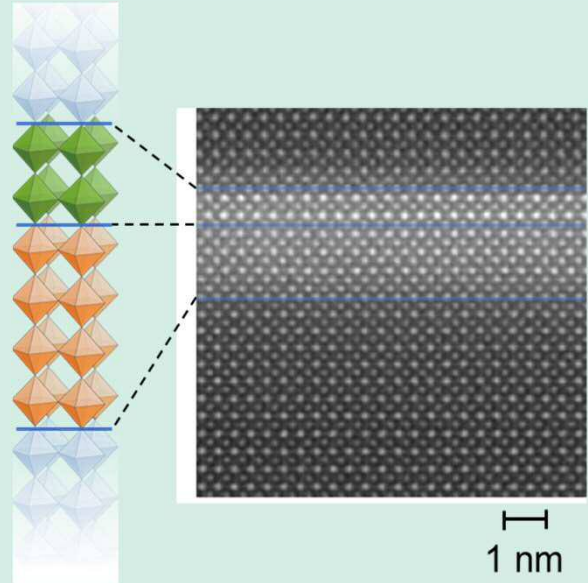
松野グループ

スタッフ 松野丈夫 (教授)、上田浩平 (助教)

[研究テーマ]

- 1) 酸化物薄膜・界面における新しい量子物質の実現
- 2) スピン-軌道相互作用を活かした酸化物スピントロニクス

二つの異なる物質が接する境界=界面は、単一の物質では実現できない豊かな物性の舞台です。現代テクノロジーを支える半導体デバイスが、かたまり（バルク）ではなく界面に生じる機能に基づくことからわかるように、界面物性は基礎から応用に至るまで広がりを持つ物性物理学の最先端トピックとなっています。私たちはその中でも遷移金属酸化物=強相関電子系の界面に着目しています。強相関電子系は電荷・スピン・軌道の自由度が絡みあうことで超伝導や磁性などの多彩な電子相を示し、そのバルク物性が精力的に研究されています。では、それらを組み合わせた「強相関界面」にもさらに興味深い未知の物性が隠されているのではないのでしょうか？そのような問題意識から、私たちは強相関界面を自ら設計し、作製・評価までを一貫して実施しています。物質の対称性・次元性を原子レベルで制御できる薄膜技術を活かし、新物質開発・新規物性開拓を行います。



3種類の強相関酸化物を積層して合成した界面構造

Department
of
Physics

豊田グループ

スタッフ 豊田岐聡 (教授)、兼松泰男 (教授)、石原盛男 (准教授)、青木 順 (助教)

[研究テーマ]

- 1) 最先端質量分析装置の開発
- 2) マルチターン飛行時間型分析計を核とした分野横断型融合研究
- 3) イオン光学
- 4) イメージング質量分析技術（質量顕微鏡）の構築
- 5) フィールドサイエンスを志向した先端レーザー機器開発

質量分析は原子・分子からマイクロクラスターやアミノ酸・タンパク質などの有機物等を質量の差で分離分析することにより、それらの物性を研究する学問です。その応用分野は金属クラスターの物性研究から、環境汚染物質の極微量分析、宇宙物質の極微量分析、あるいはライフサイエンスの分野などへ大きく広がっています。私たちのグループは、それら研究に積極的に取り組むとともに、これらの研究を可能にする新しい高性能質量分析装置の開発を進めています。



原子核実験グループ

スタッフ 川畑貴裕 (教授)、松多健策 (准教授)、阪口篤志 (准教授)、福田光順 (准教授)、小田原厚子 (准教授)、吉田斉 (准教授)、清水俊 (助教)、三原基嗣 (助教)

[研究テーマ]

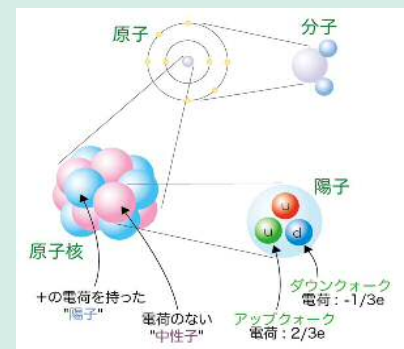
宇宙に存在するあらゆる物質を元素の集合と考えたとき、その基本的な構成要素は原子ですが、原子の性質を特徴づけているのは原子の中心にある原子核です。原子番号は原子核中の陽子の数によって決まっています、原子の直径の僅か1万分の1 拡がりしか持たない原子核には、原子質量の99.97%が集中しています。また、原子核には莫大なエネルギーが蓄えられていて、そのエネルギーは重力と並んで宇宙の進化を駆動するエネルギー源になっています。

つまり、原子核の成り立ちは、宇宙における物質の成り立ちに直結していて、原子核物理学とは、すなわち、物質の根源を探る学問なのです。当研究室では、原子核内部で起こる超稀な現象や、自然界に存在しないハイパー核・陽子/中性子過剰核を調べることで、量子多体系としての原子核の性質を調べると共に、原子核を利用した物性研究も展開し、宇宙を構成する物質の起源を解明することを目指しています。

【主な研究テーマ】

- 1) 原子核におけるクラスター構造の探索と宇宙における元素合成過程の解明

- 2) 不安定核の構造解明による有限量子多体系の研究
- 3) レプトン普遍性の破れの探索
- 4) 二重ベータ崩壊による粒子数保存則の破れ探索と宇宙から消えた反物質の謎の解明
- 5) ストレンジクォークを含む原子核の研究・一般化されたハドロン間力の解明
- 6) 核反応断面積や核モーメントによる不安定核の核構造の研究
- 7) β線核磁気共鳴法やミュオン粒子スピン共鳴法による超微細相互作用の研究



久野グループ

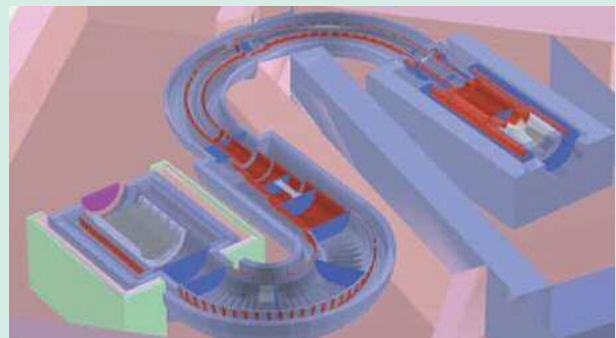
スタッフ 久野良孝 (教授)、青木正治 (准教授)、佐藤 朗 (助教)、吉田 学 立 (特任助教)、吳 琛 (特任研究員)、石田勝彦 (招へい教授)

[研究テーマ]

- 1) ミューオン電子転換現象探索による荷電レプトン・フレイバーの研究 (COMET 実験と DeeMe 実験)
- 2) 大阪大学核物理研究センターでの大強度ミュオン源 MuSIC での研究
- 3) 高強度高輝度高純度ミュオン・ビーム源「PRISM」の開発
- 4) パイオン稀崩壊精密測定によるレプトン結合の普遍性の研究 (PIENU 実験)
- 5) スーパーカミオカンデでのニュートリノ研究
- 6) ミューオンの異常磁気能率 $g-2$ の精密測定の研究

「宇宙はどのように創造されたか」などの深淵な自然の謎を究明するためには、高エネルギー加速器を使ったフロンティア実験と共に、高精度または稀崩壊を探索するフロンティア実験も重要となります。久野グループでは、後者の高精度フロンティア実験手法を使って、素粒子標準理論では存在しない現象の探索 (たとえば荷電レプトン・フレイ

バー保存の破れ探索や基本的対称性の破れの精密測定) を遂行して、物理の新しいパラダイムの糸口を見つけることを目的としています。また、このような画期的で独創的な研究するためには、先進的な科学技術に基づいた新たな実験手段や測定手段の開発が必要不可欠です。このため、世界最高ビーム強度のミュオン源 MuSIC などの研究を進めています。これらの技術の開発は、また学際的領域や他分野への応用などにも利用できます。



山中 卓グループ

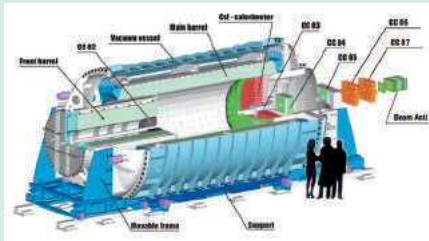
スタッフ 山中 卓(教授)、南條 創(准教授)、廣瀬 穰(准教授)

[研究テーマ]

- 1) K中間子を用いたCPの破れの研究
- 2) ヒッグス粒子の研究、超対称粒子の探索

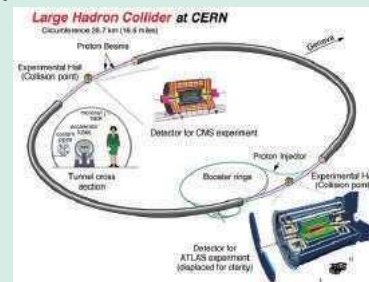
ビッグバン直後、同じ数の粒子と反粒子が作られましたが、宇宙が冷えるにしたがい、粒子と反粒子は再び結合して光に変わっていきました。しかし、粒子でできた物質(星など)が現在宇宙に残っているのは、わずかに 10^{-9} 程度の数のアンバランスが粒子と反粒子の間に生まれたからです。この原因となった、粒子と反粒子の振る舞いの差が、CPの破れです。

現在実験室で観測されているCPの破れは小林・益川によ



って明らかになりましたが、物質宇宙を作ったCPの破れの原因はまだ謎です。そこで我々は新たな陽子加速器J-PARCを用い、CPを破る稀なK中間子の崩壊から標準理論を超える新たな物理を探ります。

また、ビッグバン直後には質量がゼロであった粒子に質量を与えたのはヒッグス場であるとされています。この仮説を検証するために、LHCにより世界最高のエネルギーに加速した陽子同士を衝突させてヒッグス粒子を生成し、その性質を精査しています(ATLAS実験)。同じ実験装置を用いて、標準理論を超える物理の最有力候補であり、かつ暗黒物質を説明する最有力理論である超対称性の実験的検証も試みます。

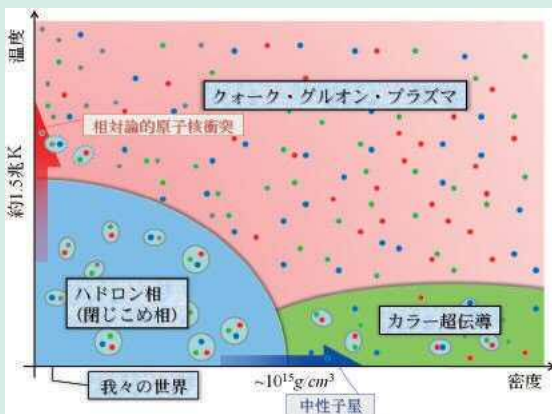


浅川グループ

スタッフ 浅川正之(教授)、北澤正清(助教)、赤松幸尚(助教)

[研究テーマ]

- 1) 有限温度・密度における量子色力学の物性論、特にクォーク・グルオン・プラズマ状態の物理
- 2) 格子QCDによる第一原理数値シミュレーション
- 3) 量子開放系の理論



原子核の構成要素である陽子および中性子、またその仲間であるハドロンを更に分解すると、「クォーク」と呼ばれる自由度に行き着きます。

我々の住む世界ではクォークはハドロンの内部に閉じ込められており単独では観測されません。しかし、宇宙初期の超高温状態においてはクォークが閉じ込めから解放された状態が存在したことが知られています。私たちは、宇宙がこのような状態から現在の姿に至る過程で迎った閉じ込め相転移や自発的対称性の破れなどの物理現象の解明を目指した理論的研究を行っています。また、同時に現在の宇宙におけるハドロンの内部構造や反応プロセスを探ることで、クォーク間の相互作用を支配する量子色力学(QCD)が織りなす多彩なダイナミクスを探求しています。

理論的枠組みを探ることを目指しています。

これらの研究においては、超相対論的原子核衝突などの実験との比較が鍵を握るほか、ときにはスーパーコンピュータを用いた第一原理シミュレーションを行うこともあり、私たちのグループではこのような問題も得意としています。

素粒子理論〔兼村〕グループ

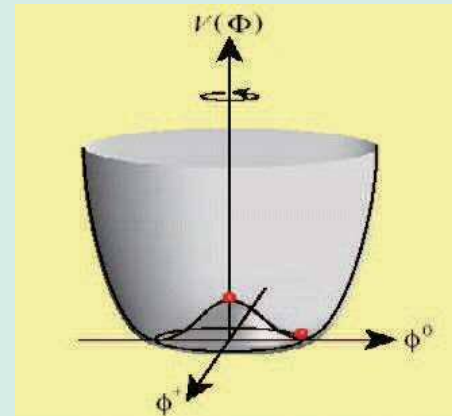
スタッフ 兼村晋哉(教授)、尾田欣也(准教授)、柳生慶(助教)、渡健太郎(特任助教)

[研究テーマ]

- 1) 初期宇宙の真空構造とヒッグス物理、新しい統一理論
- 2) 標準理論を超えた諸問題
- 3) 素粒子現象論
- 4) 重力波物理学

現代の素粒子物理学が抱える諸問題を解決し、テラスケールからプランクスケールに至る物理現象を統一的に記述する新理論を探究しています。理論的考察と実験からのインプットを用いて実証的に研究することにより、宇宙をより根本的なレベルで理解することを目指しています。場の量子論に基づいて素粒子物理や宇宙物理の様々な未解決問題を説明できる新物理の理論を構築し、それらの理論を様々な高エネルギー実験や宇宙実験で検証する為の現象論的研究を実施します。2012年に発見されたヒッグス粒子の性質を手がかりに、電弱対称性の自発的破れの機構と、その

背後にある新物理を理論的に探っています。さらに2016年の重力波の直接検出を受けて、重力波による素粒子理論の検証可能性を研究しています。



素粒子理論〔大野木〕グループ

スタッフ 大野木哲也(教授)、田中実(助教)、深谷英則(助教)、高杉英一(招へい教授)

[研究テーマ]

- 1) 格子ゲージ理論とその応用
- 2) フレーバー混合やCP対称性の破れの起源
- 3) 原子・分子を用いたニュートリノの物理

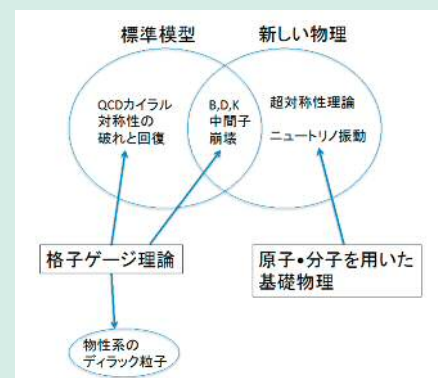
場の理論の理解と素粒子現象への応用の両方の観点から、ゲージ理論のダイナミクスに興味を持っています。そのため非摂動的側面を調べる有力な手法である格子ゲージ理論の定式化と数値計算への応用の研究を中心に行っています。QCDにおけるカイラル対称性の自発的破れの研究と有限温度での回復などのQCDのダイナミクスの研究とともに、B,D,K中間子の崩壊の形状因子の精密計算にもとづいた素粒子標準模型およびそれを超える物理の検証を行っています。

また物性系におけるディラックフェルミオンにも興味を持っています。

新しい物理の候補として超対称模型を中心に考え、B中間子の物理、Higgs粒子の性質、暗黒物質、などについて

の研究を行なっています。これと関連して格子QCD理論を用いたB,D,K中間子の形状因子の予言や新しい物理にもとづくB,D,K中間子におけるCP対称性の破れの予言などの研究を行っています。

また、原子・分子を分析対象として用いた基礎物理の探求、特に原子・分子ニュートリノ分光についても研究を進めています。



素粒子理論〔橋本〕グループ

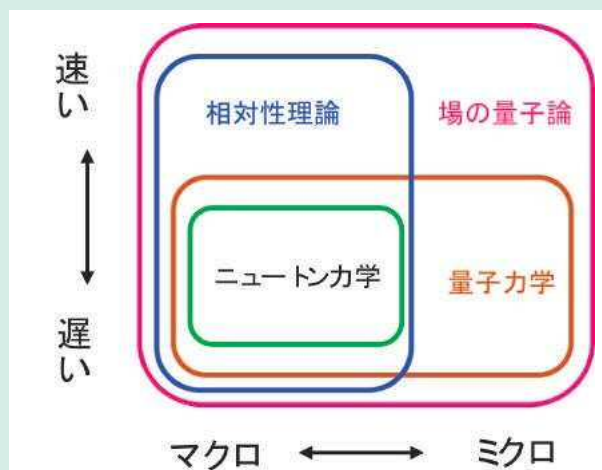
スタッフ 橋本幸士(教授)、山口 哲(准教授)、飯塚則裕(助教)、菅野優美(助教)

[研究テーマ]

- 1) 超弦理論
- 2) 場の量子論、ゲージ理論、越対称理論
- 3) 量子重力理論
- 4) 数理物理
- 5) 初期宇宙論

この宇宙を造っている究極の物質は何だろう、という素朴な疑問に答えようとするのが素粒子論です。我々のまわりの運動はニュートンの力学に従っていますが、クォークやレプトン等の素粒子の世界を記述する言葉は、相対性理論と量子力学を融合した場の量子論と呼ばれる法則です。場の量子論は、粒子と波と力を統一した理論であり、人類がこれまでに到達した最高の力学形式ですが、アインシュタインの重力理論だけは統一されていません。すべてを統一する究極の力学形式として超弦理論が考えられていますが、未だ完成していません。私達は場の量子論と超弦理論を研究を通して、上の

素朴な疑問に答えたいと思っています。また、場の量子論や超弦理論に現れる様々な高次元物体の数理を探求することで、幅広い理論物理学への応用(数理物理学)を研究しています。



黒木グループ

スタッフ 黒木和彦(教授)、Keith Slevin(准教授)、越智正之(助教)

[研究テーマ]

- 1) 電子相関に起因する物性、特に非従来型超伝導の研究
- 2) 熱電効果の最適化に関する研究
- 3) 強相関電子系に対する新しい計算手法の開発
- 4) 不規則系の電子構造と輸送現象、特にアンダーソン局在と関連現象の数値シミュレーション

物性物理学は文字通り、物質の性質を物理学の観点から研究する学問です。

私たちは物質の中の特に電子の性質に着目した研究を行っています。電子は量子力学的には波としての性質を持ち、その波数と振動数の関係は一般に物質固有のバンド構造として現れて、物質の性質を大きく支配します。

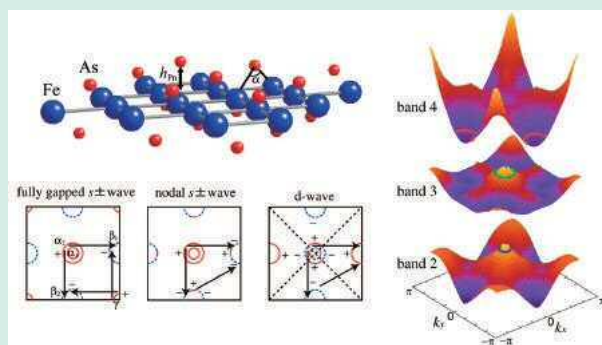
そのため、ミクロな立場から物質のバンド構造を理解することは、物性を理解する上でとても重要な意味を持ちます。

また、固体中に莫大な数存在する電子は、お互いにクーロン力によって相互作用しあいながら運動しています。クーロン力は反発力ですので、電子はお互いを避け合いながら運動し、これを電子相関と呼びます。物質固有のバンド構造と電子相関効果が協力することによって、超伝導や磁性など様々な現象を引き起こして研究者を魅了しますが、

一般に電子相関の問題は理論的な取り扱いが難しく、物性物理におけるチャレンジングな問題の一つです。

さらに、固体に不純物が添加される、あるいは欠陥が生じることで発生する乱れの効果によっても、アンダーソン局在などの興味深い現象が現れます。私たちはこのような問題に興味を持って、解析的、あるいは計算機による数値的な手法を用いて研究を行っています。

また、これらの研究を進めるうえで必要となる手法や計算方法の開発も行っています。



浅野グループ

(全学教育推進機構)

スタッフ 浅野建一 (教授)

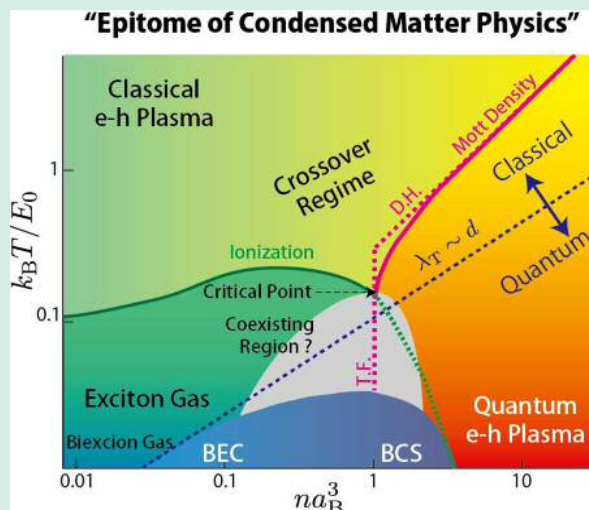
[研究テーマ]

半導体系における電子間相互作用効果の理論的研究

- 1) 電子正孔系におけるモット転移・クロスオーバーの理論
- 2) 電子-正孔対凝縮相の理論
- 3) 半導体レーザーの量子論
- 4) 低次元電子系・Dirac 電子系の光学応答における相互作用効果
- 5) 半導体電子正孔系と多軌道ハバードモデルの関係

半導体系に現れる様々な電子間相互作用効果について理論的に研究しています。その際に、基底状態だけではなく励起状態にまで着目して、光学応答をはじめとする動的な性質の理解を目指している点が本研究グループの特色です。このような研究は、物質の成り立ちを探求するという究極の基礎科学的な側面と、光デバイスや太陽電池等を意識した応用学的な側面をあわせ持っています。また、Dirac 電子系をエネルギーギャップが小さい極限の半導体として捉え、バンドギャップ制御と相互作用効果の関係を調べたり、電子と正孔の塊（励起子）の空間的サイズの変化という観点から、半導体電子正孔系と

ハバードモデルの関係について考えるなど、広い物性分野にまたがる研究にも取り組んでいます。



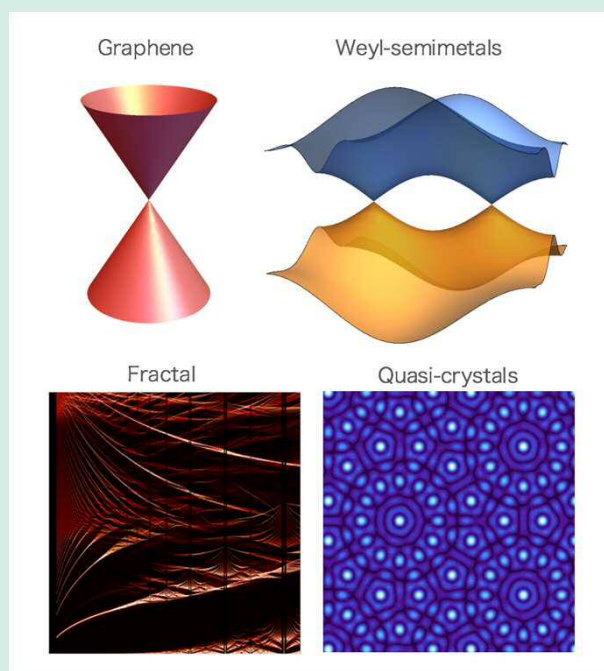
越野グループ

スタッフ 越野幹人 (教授)、川上拓人 (助教)

[研究テーマ]

2次元物質、トポロジカル物質などの新物質を対象した電子状態および量子物性の理論解析。新しい物性の解明・提案。

世の中には薄さが1nm以下という「2次元物質」が存在します。例えばグラフェンは炭素原子1層だけからなる物質で、最初に発見された2次元物質の一つです。近年になって半導体や超伝導体など様々な物質からも2次元物質が作成され、大きな分野となっています。多くの2次元物質は、母体となる3次元物質とは大きく異なる性質を持ちます。たとえば1層のグラフェンは3次元のグラファイトとは異なり「質量ゼロの相対論的粒子」と呼ばれる異常な性質を持った電子が現れます。また1層にすることで、光らない半導体が光る半導体になったり、また超伝導体では転移温度が何倍にも上がることもあります。また異なる2次元物質を重ねるだけで、単独ではあり得なかったような性質が実現できます。私たちは、これら2次元物質やまたトポロジカル物質と呼ばれるを新物質を理論的に研究し、従来の物質にはないような物性や機能を追究しています。



基礎原子核物理グループ

(核物理研究センター・豊中研究施設)

スタッフ 能町正治(教授)、菅谷頼仁(助教)

[研究テーマ]

- 1) 二重ベータ崩壊を用いたニュートリノ研究。
- 2) ステライルニュートリノの研究など、標準理論を超える現象の探査。
- 3) 先端的放射線計測システムの開発。

宇宙の物質の起源は今日の物理の重要な問題のひとつです。粒子と反粒子がいつも対で生成されるとすると、我々の宇宙で粒子が多数を占めていることは説明できません。これを説明する、もっとも可能性の高いシナリオはレプトジェネシスです。この理論で鍵となるのはニュートリノが粒子・反粒子が同一であるマヨナラ粒子であるということです。これを実験的に示すために標準理論を超えるレプトン数を保存しないダブルベータ崩壊の測定をめざしています。ほかにも、ステライルニュートリノの研究など標準理論を超える現象の探査をめざしています。

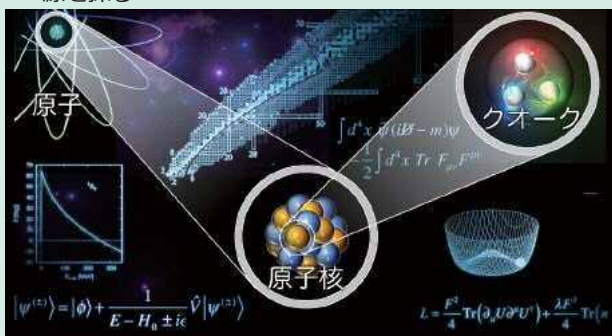
これらの実験の鍵となる先端的放射線計測システムの開発を行っています。

クォーク核理論グループ (核物理研究センター)

スタッフ 保坂 淳(教授)、緒方一介(准教授)、石井理修(准教授)、永廣秀子(特任准教授)、池田陽一(特任助教)、明 孝之(招へい准教授)

[研究テーマ]

- 1) クォークから陽子や中性子の構造と相互作用を解明する
- 2) 核子の集合体として原子核ができあがる仕組みを理解する
- 3) 量子色力学に基づく核反応理論により、宇宙の元素の起源を探る



サブアトムック世界の法則で宇宙を紐解く

私達のグループでは、クォークから原子核ができあがるミクロな世界の現象から、星の一生というマクロな現象までを、「量子色力学に立脚した原子核」をキーワードに研究しています。最もミクロなスケールでは、クォークが閉じ込められカイラル対称性が自発的に破れることで陽子・中性子などのハドロンができる仕組みを調べています。そして陽子や中性子が、湯川博士のパイ中間子を鍵として、多種多様な原子核を形づくる様子を普遍的に理解しようと試みています。さらにこれらを基盤に、精密な原子核反応理論によって宇宙の元素組成を解明し、銀河から私たちが如何に生まれてきたかを解き明かそうとしています。私たちはこれらの課題に、京コンピュータによる数値解析も含め、様々な理論的手法を駆使して取り組んでいます。さらに実験研究との連携を重視し、核物理研究センターのサイクロトロン加速器や、SPring-8のレーザー電子光施設、さらに理研RIBF、J-PARC等で活動するグループと協力して研究を進めています。

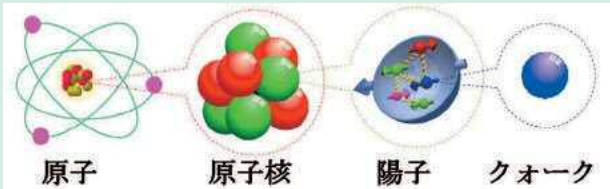
核理学 I Aグループ

(核物理研究センター)

スタッフ 青井 考(教授)、民井 淳(准教授)、井手口栄治(准教授)、嶋 達志(准教授)、高久圭二(助教)、鈴木智和(助教)、王 恵仁(特任講師)、小林信之(特任助教)、友野大(特任助教)

[研究テーマ]

- 1) 原子核のスピンのアイソスピン応答と巨大共鳴
- 2) 原子核の変形と振動
- 3) α クラスター構造とその発現機構
- 4) 宇宙での炭素合成機構の解明
- 5) 湯川パイオンに起因するテンソル力の核内での振る舞い
- 6) 不安定核原子核の構造・反応機構
- 7) 安定核や不安定核での中性子・陽子分布の分離とその機構



原子、原子核、核子の階層構造

核物理研究センターでは、日本の大学としては最大の加速器施設を持っており、全国共同利用に供するとともに、自らのホームマシンとしても活発に原子核の研究や原子核を使った応用研究を行っています。この加速器は陽子で最高400 MeV（光速の約70%）、重イオンでは核子あたり最高100 A MeV（光速の40%）まで加速が可能です。このエネルギー領域では、原子核の核子・中間子の階層がよく見え、スピン・アイソスピン応答、原子核の巨大共鳴などの研究に適しています。原子核媒質内における有効相互作用の変化を調べ、カイラル対称性回復および核内中間子相関、新しいモードの原子核励起の解明などを目指しています。これらの実験研究にあたっては、高分解能および大口径磁気分析器、中性子飛行時間測定系、放射性二次粒子分析系、超冷中性子源等の特徴ある装置を用いて研究を進めています。

核理学 I Bグループ

(核物理研究センター)

スタッフ 中野貴志(教授)、野海博之(教授)、與曾井優(教授)、味村周平(准教授)、住濱水季(特任准教授)、郡 英輝(特任講師)、堀田智明(助教)、白鳥昂太郎(助教)、RYU Sun Young(特任助教)

[研究テーマ]

- 1) 中間子やバリオンの光生成を通して、ハドロンをクォーク・グルーオン多体系として理解するクォーク核物理の研究
- 2) ペンタクォーク等のエキゾチック粒子の探索
- 3) 8 GeV電子ビームとレーザー光の正面衝突による高エネルギー偏極ガンマ線ビーム生成装置の開発
- 4) GeVガンマ線と陽子及び原子核との反応を精密に測定するクォーク核分光観測装置の開発
- 5) HD偏極標的の開発
- 6) J-PARC(東海村)における高運動量n中間子ビームを用いたチャームバリオン研究およびK中間子ビーム等を用いたクォーク核物理研究

数GeVの γ 線の波長はハドロンの代表である陽子の大きさ(約1 fm)より短く、そのサブ構造であるクォーク・グルーオンの世界まで探索が可能となります。当研究グループでは、高エネルギー電子とレーザー光との逆コンプトン散乱によって生じるGeV領域の非常にクオリティの良い偏極光子ビーム

や高エネルギー陽子ビームを二次ビーム生成標的に照射して得られるK中間子ビーム等のハドロンビームを用いてクォーク核物理学、即ちクォークとグルーオンからなる量子系(ハドロン)の性質の実験的解明を目指して研究を進めています。実験は西播磨の大型放射光施設SPring-8や東海村の大強度陽子加速器施設J-PARCを利用して行っています。

具体的な研究内容としては、我々のグループが世界で初めて見つけた反ストレンジクォークの入ったバリオン(ペンタクォーク Θ)の存在の確証とその物理的性質の解明を初めとして、クォークが何故単体として取り出せないかという「閉じ込め」機構の解明、バリオン内部のクォーク対(ダイクォーク)相関の解明、核媒質中におけるカイラル対称性の部分的回復の研究、核力におけるクォーク・グルーオン自由度の探索等々があり、クォーク・グルーオンの階層から物質を理解すべく、更には、それを超越する未知の現象との遭遇を期して、最先端の技術を駆使して研究を行っています。

Department
of
Physics

加速器研究グループ

(核物理研究センター)

スタッフ 福田光宏 (教授)・依田哲彦 (講師)・神田浩樹 (講師)

【研究テーマ】

1. 超高品質な原子核ビームを加速するリングサイクロトロン及びAVFサイクロトロンの高性能化研究
2. 高輝度・大強度イオン源の開発研究
3. GeV領域エネルギー粒子加速器の開発研究
4. 高温超電導技術等を用いた次世代加速器及びその応用に関する研究

我が国の中高エネルギー加速器研究の中核として、極めて高品質で高安定な原子核ビームを生成・加速するための世界最高性能のサイクロトロンやイオン源を擁し、加速器物理及びビーム物理の研究を行っています。加速された超高品質の原子核ビームは、素粒子・原子核などの構造・反応過程などを微視的に超高分解能で解き明かす原子核研究に役立てられています。さらに、未踏の素粒子・原子核物理領域を切り拓くGeV領域エネルギーの高性能粒子加速器の開発研究も行っています。また、粒子線がん治療システムへの高温超電導電磁石の応用や産業応用に最適な高性能小型粒子加速器・照

射システムの開発研究などの新しい加速器開発・応用研究にも取り組んでおり、素粒子・原子核物理基礎研究だけでなく、医学・医療・バイオ・材料・物質科学分野などの最先端の研究開発や社会に貢献する加速器物理研究を進めています。



リングサイクロトロン本体

Department
of
Physics

大岩グループ

(産業科学研究所)

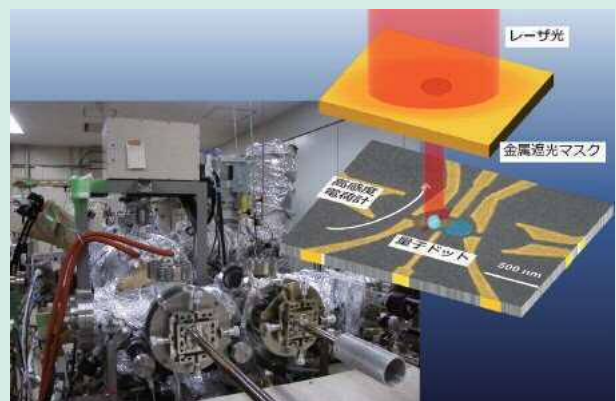
スタッフ 大岩 顕 (教授)、長谷川繁彦 (准教授)、木山治樹 (助教)、藤田高史 (助教)

【研究テーマ】

1. 量子ドットなど量子ナノ構造のナノ評価とスピンを中心とした量子輸送現象に関する研究
2. 光子と電子スピンの量子インターフェイスと量子情報処理への応用の研究
3. 新磁性半導体の創製・評価とそれを用いたスピントロニクスデバイスに関する研究
4. ワイドギャップ半導体をベースとした材料融合化とそのデバイス応用に関する研究

大岩グループは、21世紀の高度情報化社会を支える新しい光・電子・スピンの研究を行っています。半導体を中心に、電子スピンや光子の量子力学的性質を利用した量子情報処理や、新しい光・電子・スピン材料の創製と融合に基づいたスピントロニクスが研究の主な舞台です。高品質材料の創製から評価、そして精密な量子輸送測定まで一貫して行い、光、電子、スピンの自由度を自由に操

る量子ナノ構造がもたらす新しい現象の発見を目指しています。



半導体高品質成膜装置(左)と量子ドットを使った光子-電子スピン結合(右)

Department
of
Physics

小口グループ

(産業科学研究所)

スタッフ 小口多美夫(教授)、白井光雲(准教授)、山内邦彦(助教)、舛田浩義(助教)、
本河光博(招へい教授)、城 健男(招へい教授)、菅 滋正(招へい教授)

[研究テーマ]

- ・ 対称性の破れと新奇物性発現機構
- ・ 相図予測に基づく物質設計
- ・ マルチフェロイックス物性・トポロジカル物性
- ・ 第一原理計算手法の開発とマテリアルズインフォマティクス

第一原理計算に基づき、種々の固体系・表面系で発現する物性・機能を理論的に予測する研究を行っています。発現機構を電子状態の特異性から明らかにすることによって、新たな物質を設計する研究への展開を試み、多くの実験研究グループと共同研究を進めています。また、第一原理計算に必要な基礎理論や計算手法の開発にも取り組んでいます。

Department
of
Physics

木村グループ

(生命機能研究科)

スタッフ 木村真一(教授)、渡辺純二(准教授)、大坪嘉之(助教)、渡邊 浩(助教)

[研究テーマ]

- 1) 機能性固体・薄膜の電子構造の分光研究
- 2) 放射光や量子ビームを使った新しい分光法の開発
- 3) 非平衡系における秩序形成過程の解明

固体の特徴的な物性である磁性や超伝導、また生命をつかさどる酸化還元反応や光合成など、物性の出現や生命現象に現れる化学反応の起源は、物質中の電子がいる状態およびその変化によるものです。つまり、電子状態をつぶさに観測すれば、物性や生命現象の起源を知るばかりでなく、新たな機能性の予測や創造も可能になります。私達はこのような観点にたち、電子状態変化を可視化することを目的として、シンクロトロン光をはじめとする量子ビーム源を使った新しい分光やイメージングなど手法を独自で開発しています。その手法を使って得られた結果を元にして、新しい機能性の創造に至る新奇物性の開拓を目指しています。

レーザー発振、振動反応、コロイド結晶、ドメイン構造や生命現象のように、熱的に非平衡な状態では、さまざまな秩序やパターンが形成されます。これらの秩序がどのような機構から生まれてくるのか実験を通して理解しようとしています。



固体の電子状態をつぶさに観測できる三次元運動量・軌道対称性分解光電子分光装置。

Department
of
Physics

学際計算物理学グループ

(サイバーメディアセンター)

スタッフ 菊池 誠(教授)、吉野 元(准教授)

[研究テーマ]

- 1) タンパク質の折れたたみ・進化・設計・機能
- 2) ガラス・ジャミング転移の物理
- 3) 遺伝子制御ネットワークの進化
- 4) 統計的推定・最適化問題における相転移
- 5) 臨界現象・相転移
- 6) アンサンブル概念の拡張とモンテカルロ法の新技法
- 7) 非線形動力学系としての交通流

当グループでは、生体物質・ガラス・交通流などの学際的なテーマをとりあげて、統計力学や非線形動力学の立場から複雑なシステムを一般的に理解するため、主として計算機シミュレーションの手法を用いた研究を行なっています。研究テーマは多岐にわたりますが、比較的単純な素子が多数集まり、複雑な相互作用で影響しあうことによって創発するマクロな現象という点で共通性があります。

Department
of
Physics

レーザー科学グループ

(レーザー科学研究所)

スタッフ 藤岡慎介(教授)、有川安信(講師)、Morace Alessio(助教)

[研究テーマ]

- 1) レーザー核融合
- 2) 輻射流体力学, 高密度プラズマ物理
- 3) 高精度プラズマ診断法
- 4) 高強度電磁場物理

高出力レーザーを用いて、星の内部にしか存在し得ない高密度のプラズマを実験室に創り出し、核融合を実現することを究極の目標としています。このプラズマは輻射流体(X線と流体の結合)として、また高密度プラズマ(フェルミ縮退、強結合)として物理的に大変興味ある対象ですから、レーザー核融合の学問的基礎として、これらの課題を研究しています。実験的には超高時間・空間分解のX線ラディオグラフィ等の高精度のプラズマ診断技術を開発することによって、プラズマの特性を明らかにします。さらに1PW(10^{15} W)に達する超高強度レーザーを用いて、前人未踏の物理を解明しようとしています。



高エネルギー密度科学理論グループ

(レーザー科学研究所)

スタッフ 千徳靖彦(教授)、佐野孝好(助教)、柴田一範(特任助教)、岩田夏弥(特任講師)

[研究テーマ]

高エネルギー密度プラズマ理論
 超高強度レーザープラズマ理論
 天体プラズマ理論
 プラズマ粒子シミュレーション
 輻射流体シミュレーション

当グループは高エネルギー密度状態にある極限物質を理論的に、またコンピュータシミュレーションを活用して研究しています。高エネルギー密度状態というのは、星の内部や惑星の内部など密度が高く高温な状態です。実験室では非常に強いレーザー光を物質に照射して、一瞬で超高温状態にすることで作り出すことができます。超高温状態では物質は一部もしくは完全にプラズマ化し、高速電子やイオンなどの高エネルギー粒子線や、X線やガンマ線を輻射します。

高エネルギー密度プラズマは、粒子から光子、光子から粒子へのエネルギー変換が様々な過程を経て起こる複雑系

システムです。高エネルギー密度プラズマの生成過程や内部で起こっている物理を理解することで、星の内部で起こっていることを推定し、高エネルギー粒子加速器や制御核融合の実現に寄与したいと思っています。

複雑な現象の理論的な理解を深めるためにスーパーコンピュータによるシミュレーションを積極的に活用しています。シミュレーションはコンピュータ上の仮想実験です。理論を理解するのはもちろん、想像力を大事にしています。

