	シリーズ名	結び目、絡み目、3次元多様体、4次元多様体
	氏名・所属・役職	河内 明夫・理学研究科・数物系専攻、特任教授

<概要>

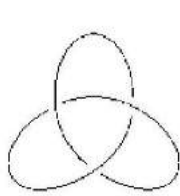


図 1

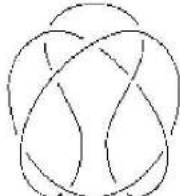


図 2

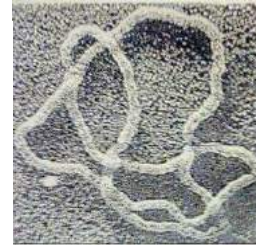
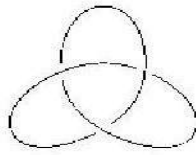


図 3

ひもでできた図1の2つの結び目は、一見異なるように見えますが、あや取りの方法で変形していくと同じ形に変形することができます。一方、図2の結び目は一見図1の左図と同じように見えますが、あや取りの方法でいくら変形しても図1の結び目へは変形することは絶対にできません。ここで「絶対にできません」と簡単に言いましたが、あや取りの変形の仕方は数限りなくあることを思えば、「何度変形しても同じ形にならなかった」といってもせいぜい有限回の試行であるはずですから、「絶対にできません」とは断言できません。そのように断言するためには、数学の理論を使って厳密にこれらの結び目の不変量を計算する必要があり、その差異によって初めて「絶対にできません」と断言できるのです。このような研究を中心課題とする数学研究が結び目理論と呼ばれる学問です。3次元多様体とは3次元宇宙、4次元多様体とは次元宇宙と読んでも良いような研究対象で、結び目理論とは密接に関連する研究対象です。

<アピールポイント>

結び目理論は、粒子の状態変化を研究する量子統計力学（この理論研究は数学研究に大変近いといえる）などの理論物理学、環状DNA（図3）の遺伝子合成研究などの生化学、原子の結合をひもとみなした高分子化合物（分子グラフ）の空間への配置（3次構造）の研究、プリオンなどのタンパク分子の空間配置の問題、地震による空間曲線、宇宙の大規模構造、コンピュータゲーム、心理学におけるこのころのモデル等々、社会科学を含めた、非常に多くの科学と関連する数学の研究です。何故“あやとり遊び”ともいえる結び目理論が種々の最先端の研究と深く結びついているかについて、私見を述べますと、結び目理論は3次元空間特有の連続的な絡まり現象を最も純粋な形で単純化して研究する学問であり、局所的には3次元空間である“空間”の中で起こるさまざまな連続的に連なったひも状の絡まりから来る科学的現象は、その“空間”の中に生きるわれわれ人間の営みにとって、基本的に重要な科学的現象になっているから、と考えています。いずれにしても結び目理論は今世紀に最も理解の進む科学研究の重要な分野の一つとして期待されている数学の学問です。

<利用・用途・応用分野>

何らかの意味でひもと見なせる研究対象は、多かれ少なかれ結び目理論と関係していると言ってよい。

<関連する知的財産権>

特許第 5854495、特許第 5804412：（発明の名称）ゲーム装置、及びゲームプログラム、（発明者）河内明夫、清水理佳、岸本健吾、（特許出願人）公立大学法人大阪市立大学

<関連するURL>

<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/~kawauchi/InternetLecture/lectkawa.html>

<http://mathsoc.jp/publication/tushin/1404/1404kawauchi.pdf>

<他分野に求めるニーズ>特にありません。

キーワード	結び目、絡み目、ゲーム、こころのモデル
-------	---------------------



シーズ名

標準理論を超える物理

氏名・所属・役職

丸信人、理学研究科・数物系専攻、准教授

<概要>

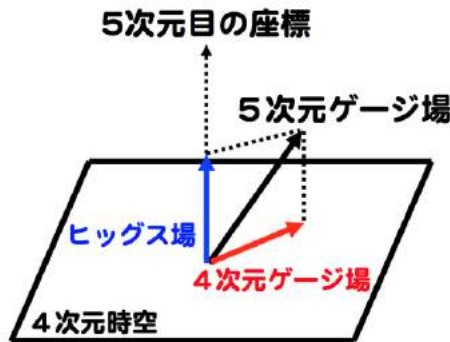
素粒子論は、

- 1: 自然を構成している基本粒子(素粒子)が何であるのか？
- 2: その素粒子は、どのような物理法則に従って運動しているのか？

という疑問を研究する分野です。

2012年にジュネーブ近郊の欧州原子核研究機構にあるハドロン加速衝突器(LHC)にて、現在まで知られている素粒子とその相互作用を記述する標準模型の中で唯一の未発見粒子である**ヒッグス粒子を発見**しました。ヒッグス粒子は、素粒子の質量生成に関わる重要な粒子ですが、その起源は未だに謎で標準模型で予言されるヒッグス粒子かどうかLHCで確認しているところです。また、**標準模型には説明できないこと(暗黒物質、暗黒エネルギー、素粒子の質量など)がたくさんあるため、その拡張模型がいろいろ考えられています。**

最近、その拡張模型の1つである「**ゲージ・ヒッグス統一模型**」に力を注いでいます。



ゲージ・ヒッグス統一模型では、上図に見られるようにたとえば5次元ゲージ理論を考えて、その5次元ゲージ場の第5成分をヒッグス場とみなします。通常5次元以上の理論では、様々な物理量に対する量子力学的補正を計算すると無限大となり意味がありません。ところが、**ゲージ・ヒッグス統一模型ではヒッグス場がゲージ場の一部であるために高次元ゲージ対称性によってコントロールされ、ヒッグス粒子の質量や結合定数など標準模型では予言できなかった物理量を有限に計算できます。**また、ヒッグス粒子と他の素粒子との相互作用も高次元ゲージ対称性で支配され、LHCにおけるヒッグス粒子の崩壊パターンやフレーバーを変える中性カレント過程に対して、標準模型にはない特徴的な物理を予言します。


またゲージ・ヒッグス統一模型は、究極の素粒子統一理論と期待されている弦理論の低エネルギー有効理論でもあるので、標準模型を超える物理の中でも有望な模型であり、今後の実験で検証されることを期待しています。

<関連する URL>

<https://sites.google.com/site/wanxinrennopeji/>

キーワード

素粒子物理、高次元理論、ヒッグス粒子、ゲージ対称性、標準模型を超える物理

	シーズ名	冷却原子・分子気体を用いた超精密測定
	氏名・所属・役職	井上 慎・理学研究科・教授

<概要>

レーザー冷却した原子気体(図1参照)を元に、量子縮退(ボース凝縮)した原子気体、および極低温の分子気体を作成する。レーザー冷却された原子気体は絶対温度で 100 マイクロケルビン(0.0001 度)、蒸発冷却された原子気体の温度はさらにその 1000 分の1程度になる。このような極低温の原子や分子を用いると以下のようなことが可能になる:

- ・超精密測定: 冷却原子・分子では粒子の速度によるドップラーシフトがほとんど無視でき、さらに測定時間も長くとれるために、熱原子・分子では不可能であったような高い精度での測定が可能になる。例としては、アルカリ原子の不正電子の磁気モーメントを用いた磁場(もしくは磁場勾配)の精密測定や、重力(もしくは重力勾配)の精密測定などが考えられる。

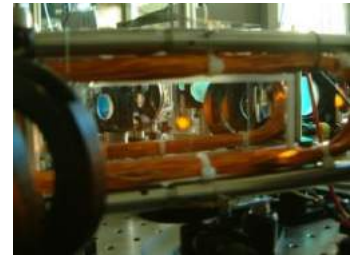


図1: レーザー冷却されたカリウム原子(中央のオレンジの輝点)

- ・冷却分子気体の作成: 磁場を用いた冷却原子間の相互作用の制御(フェッシュバハ共鳴)や、光会合といった技術を用いて、冷却原子を冷却分子に変換することが可能である。さらに、ラマン遷移を用いて冷却分子を量子状態間で遷移(誘導ラマン断熱遷移、STIRAP)させることで、冷却分子を特定の振動・回転準位に遷移させることが可能である(図2参照)。

<アピールポイント>

冷却分子の上記の2つの性質を組み合わせると従来の測定における限界を打破することが可能になる。実際、当研究室では冷却分子を用いて、電子・陽子質量比の時間変化の測定実験を行い、世界記録を上回る結果を得た。具体的には冷却分子を、電子陽子質量比の時間変化に極めて敏感な(感度にして約 10,000 倍)特定の振動・回転準位に用意し、次に 10 桁の精度でマイクロ波分光を行った。マイクロ波分光の測定精度を電子陽子質量比の精度に換算する際に上記の感度がかかるので、電子陽子質量比として達成された精度は 14 桁に及び、世界記録を2倍上回ることができた。また、この実験はレーザー冷却のみを用いているため、全体の実験を 100 ミリ秒で繰り返すことができ、データ取得の面でも有利である。

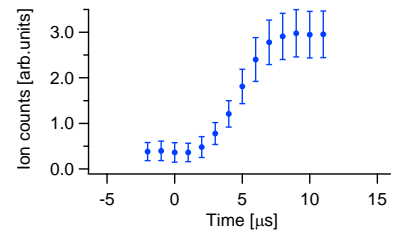


図2: 振動回転基底状態に作成された冷却分子。誘導ラマン断熱遷移(STIRAP)により冷却分子を所望の準位に遷移させることができる。

さらに、可能性としては

- ・可搬なシステムの構築: 光源としては主に半導体レーザーやファイバーレーザーを使っているため、電力消費が少なく、重量も軽いので、可搬な装置を目指してシステムを組むことも可能である。
- ・光格子ポテンシャルに閉じ込めた冷却分子の作成: レーザー光による定在波を用いると、理想的な周期ポテンシャルを構築することが可能である。光格子ポテンシャルの中に冷却原子を閉じ込める方法は確立しているが、ポテンシャルの中で冷却原子を冷却分子に変換できれば、冷却分子を周期ポテンシャルに閉じ込めた系を構築することが可能であり、物性研究の新たなプラットフォームになりうる。

<利用・用途・応用分野>

- ・磁場や磁場勾配の測定、
- ・重力および重力勾配の測定 など。

キーワード	レーザー冷却、量子縮退、ボース・アインシュタイン凝縮(BEC)、冷却分子、ラマン遷移、半導体レーザー
-------	--



シーズ名

高エネルギー物理学による宇宙の始まりの解明

氏名・所属・役職

山本和弘・理学研究科 数物系専攻・准教授

<概要>

物質を形作る最小単位を素粒子といい、クォークおよびレプトンと呼ばれる粒子がそれにあたります。クォークは陽子や中性子の構成要素となっており、レプトンには一般にもよく知られる電子が含まれます。(図1) また、素粒子どうしが力を及ぼしあうときにも、光子など力を媒介する素粒子が現れます。このような、自然を最もミクロな視点で見たときに、そこに現れる様々な現象を探り、根底に潜む基本法則を明らかにする学問が、素粒子物理学あるいは高エネルギー物理学とよばれる分野です。


クォーク	$\frac{2}{3}e$	アップクォーク 	チャームクォーク 	トップクォーク 
	$-\frac{1}{3}e$	ダウンクォーク 	ストレンジクォーク 	ボトムクォーク 
電荷		第1世代	第2世代	第3世代
レプトン	0	電子型ニュートリノ 	ミュー型ニュートリノ 	タウ型ニュートリノ 
	-e	電子 	ミュー粒子 	タウ粒子 

図1：素粒子：クォークとレプトン

また現代宇宙論によれば、宇宙は極めて高エネルギーでかつ極めて小さな時空からビッグバンによって始まったことが判明しているため、素粒子の世界の研究は宇宙の始まりの瞬間を研究することでもあります。宇宙をめぐる大きな謎の1つに、現在の宇宙にはなぜ「反物質」が無く、「物質」だけで成り立っているのかというのがあります。一見、この宇宙には「物質」しかなくても不都合は無いように思われるかもしれませんが、素粒子の世界では、必ず粒子と反粒子がペアになって生まれるので、ビッグバンの瞬間には粒子と反粒子が同数あったと考えられています。それが、何かの物理的メカニズムによって反粒子は消え去り、粒子すなわち物質だけが生き残ったと考えるのが妥当です。

我々はニュートリノという素粒子の一種を用いて、この謎に迫ろうとしています。ニュートリノは電子と同じレプトンの仲間ですが、電氣的に中性で物質と相互作用が非常に弱く、検出が困難な素粒子です。しかし、近年の科学・技術の発展によって、稀な反応を効率よく検出できるようになり、研究が進んできました。茨城県東海村に建設された J-PARC 大強度陽子加速器施設から大強度のニュートリノビームを射出し、それを岐阜県飛騨市神岡の地下に設置されたスーパーカミオカンデ検出器で観測することで、ニュートリノ振動と呼ばれる現象を探る実験を行っています。ニュートリノ振動とは、ニュートリノが飛行している間に、始めの種類とは別の種類のニュートリノに変化してしまう現象ですが、ニュートリノにも粒子と反粒子が存在するので、もし粒子(ニュートリノ)と反粒子(反ニュートリノ)で振動の確率が違うことが発見されれば、宇宙の始まりにおいて粒子と反粒子に不均衡を生じさせる1つの原因となりえます。

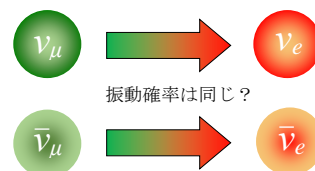


図2：ニュートリノ振動

<アピールポイント>


素粒子が従う根本法則を探り、宇宙の始まりを理解する。

<利用・用途・応用分野>

物理学、放射線検出器、計算機科学

キーワード

素粒子、ニュートリノ、宇宙

	シーズ名	極低温動作増幅器
	氏名・所属・役職	小原 顕・理学研究科・講師
<p><概要></p> <p>一般に、微小信号計測では、ノイズの軽減が大きな努力目標となることが多い。我々の開発している低温動作増幅器は2種類あり、それぞれが特徴を持つ。</p> <p>(Type A)熱雑音に起因するノイズを軽減するため、センサーを低温に冷却する。この場合、増幅部が室温に置かれるため、ケーブルの距離が長くなり、ピックアップノイズ、ケーブルの屈曲振動による摩擦電気起因のノイズ、あるいはケーブルの浮遊容量による信号の劣化が無視できなくなる。したがって、増幅器をセンサーの近傍に設置せねばならず、必然的に増幅部が低温に耐えられねばならない。また、増幅器が液体窒素／液体ヘリウム／機械式冷凍機などに直接設置できる場合、増幅率の温度揺らぎも軽減することができる。我々の開発した増幅器は、最低温度 -269°C までの動作確認が取れている。帯域幅は 2 MHz 程度である。ほぼ開発は終了し、生産体制に入る準備が整っている。</p> <p>(Type B)さらに、雑音を軽減するためには、アンプの熱雑音と、出力インピーダンスが低く保たれていることが必要になる。現在開発が進行中のアンプの目標動作温度は -273°C とほぼ絶対零度近傍で、帯域幅は 100 MHz、ノイズ密度は現存するアンプ類のなかで最も低くなる。出力インピーダンスは 100 Ω 前後を目指している。これは特に NMR 用前置増幅器に特化して開発しているが、応用の可能性は広いものと思われる。現在、部品選定が終了し、試作品製作段階にある。</p> <p><アピールポイント></p> <p>(Type A) 安価で、市場での調達も容易、取り扱いも簡単。サイズも小さく、電源を除けば 12 mm x 15 mm 程度に収まっている。各種性能調査は終了している。特に、入力インピーダンスが極めて大きいため、高インピーダンスセンサーの前置増幅器として有効である。また、DC動作も可能で、入出力比の線形性も極めて高い。原理が簡単であるため、堅牢である。また、室温と極低温での特性の変化が小さいため、動作確認が容易。</p> <p>(Type B) Type A よりもさらに高い周波数領域を目指し、また、増幅器の熱雑音も問題になるような超微小信号計測に特化している。入力インピーダンスは比較的高く、出力インピーダンスは Type A よりも低い。ノイズ特性は理論上の限界に近い。</p> <p><利用・用途・応用分野></p> <p>高感度冷却センサー用前置増幅器、過酷環境での微小信号計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低周波 NMR 用 ・ 超高感度光センサー用 ・ 超高感度音響センサー、超音波センサー用 ・ 振動センサー用 ・ 歪みゲージ用 <p><関連する知的財産権></p> <p>なし</p> <p><関連するURL></p> <p>なし</p> <p><他分野に求めるニーズ></p> <p>なし</p>		
キーワード	微小信号計測／低温アンプ／低ノイズアンプ	



シーズ名

有機半導体における素子動作モニタリング技術の開発

氏名・所属・役職

鐘本 勝一・理学研究科数物系専攻・准教授

<概要>

有機半導体は、近年盛んに素子への応用展開がなされており、中でも、有機太陽電池、有機 LED、有機 FET は、産官学で基礎・応用両面において研究が進展しています。一方で、実用化を達成するには、技術面での課題が残されています。そこでは効率を上げるのみならず、素子の劣化機構の解明が重要となります。

当研究室では、有機半導体素子全般において、その動作性能や劣化の要因を特定するために、分光や電子スピン共鳴技術を主体としたモニタリング技術の開発を行い、動作過程及び劣化過程の分子レベルにおける機構解明を目指しています。

(1)有機半導体素子動作と同期させた計測技術の開発

有機太陽電池、有機 LED、有機 FET 等の有機素子を動作させた際に発生する、動的キャリアやトラップキャリア、さらには発光の源となる励起子を、素子動作と直接リンクさせた分光や電子スピン共鳴法により直接検出します。それら発生種の振る舞いと素子動作条件の関係を調べることで、素子の性能や劣化を決定する要因を明らかにできます。

(2)有機半導体素子の性能向上に向けた素子デザインの提案

(1)の計測を、多くの素子構造や材料に対して適用することで、性能向上に向けた分子及び素子デザインの提案を行います。

<アピールポイント>

これまで、有機半導体素子全般において、測定技術の開発を行ってきました。太陽電池では、有機薄膜系と色素増感系について、有機 LED 及び有機 FET では、ポリマー系と分子系について、それぞれ実際に素子作成を行い、計測技術を開発してきました。そのため、多くの素子系について、発生する状態、さらには信号と素子動作の関係を熟知しています。

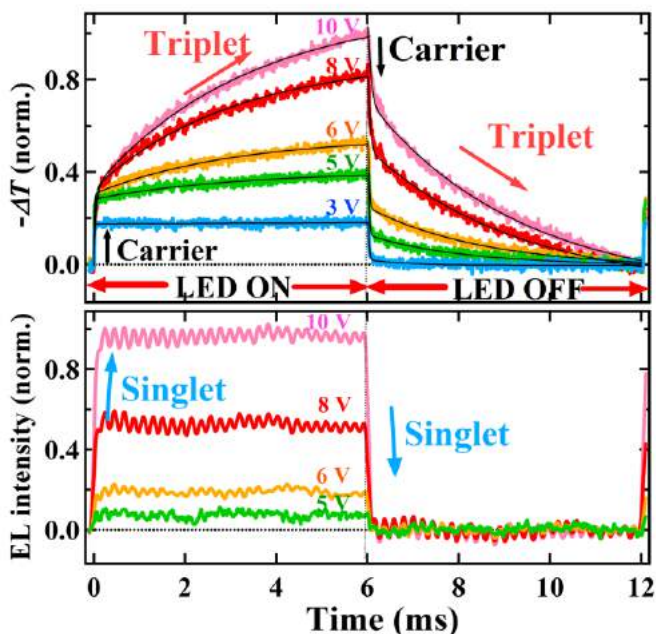
行う計測法は、研究室独自で取り組んできた技術をベースとしており、他の計測法では得られない情報を提供できます。得られる結果も素子性能と直接結びつくもので、開発に際して重要な情報を提供できます。

<利用・用途・応用分野>

有機太陽電池、有機 EL 素子、有機 FET の開発・設計・改良、スピントロニクス

<関連するURL>

<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/phys/ppes/index-j.html>



図：有機 LED 動作とともに発生するキャリアと非輻射の Triplet 励起子を分光技術を用いて、EL 光と同時に計測し、動作過程の可視化を試みています。

キーワード

有機太陽電池、有機 EL、有機 FET、分光、電子スピン共鳴



シーズ名

乱流制御につながる渦ダイナミクスの基礎的解明

氏名・所属・役職

大学院理学研究科数物系専攻 准教授 矢野 英雄

＜概要＞

気体や液体の流れの制御は、自動車・航空機・船舶などの輸送効率のアップや、内燃機関によるエネルギーの取り出し、液体輸送の効率化など、これからの社会に必要とされる技術です。気体や液体の流れには多くの場合マイクロな渦が発生し、乱流となって輸送を妨げます。乱流を制御できれば、少ないエネルギーで多くの気体や液体を輸送することができます。本研究では、速い流れが渦を発生する点に着目し、流れが乱流に遷移していく基礎的な過程を解明することで、乱流の制御をめざします。

＜アピールポイント＞

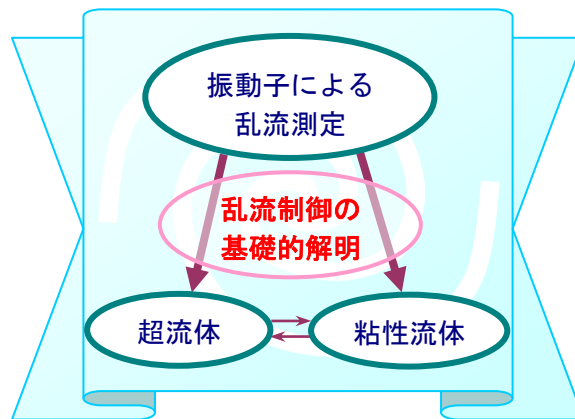
通常の気体や液体には粘性があります(粘性流体)。その流れや渦は複雑で、乱流の理解を困難にします。一方、粘性のない液体(超流体)の渦は一種類だけです。超流体の乱流は渦だけから構成されるので、乱流の渦ダイナミクスを調べるのに適しています。パイプを流れる水流の乱流遷移がネイチャー(2006年9月7日号)に報告されましたが、我々は超流体の乱流遷移がこれと似ていることを明らかにし、乱流の遷移に渦が関与することを示しました。

＜利用・用途・応用分野＞

残念ながら普通の気体や液体(粘性流体)の乱流制御は、これからの課題です。超流体の乱流を調べる手段として、我々は振動子による乱流測定法を開発しました。この手法を用いれば、流体中の乱流を簡単に生成・測定することが可能です。振動子による粘性計はすでに実用化されていますが、いろいろな形状の振動子を用いることで乱流への遷移過程を調べることが可能になります。我々が開発した超流体の渦を検出する振動子の写真を右に示します。

＜他分野に求めるニーズ＞

超流体はヘリウムガスを絶対零度近く(-273℃)まで冷却して作ります。超流体の乱流測定には、冷凍機が欠かせません。また我々は、超流体の流れを駆動するポンプの開発に取り組んでいます。このポンプには、低温でも動作するモーターが必要です。超流体の流れを詳細に観測するためには、微粒子による流れの3次元可視化技術が適しています。これらの技術があれば、渦ダイナミクスを的確に捉えることが可能になり、乱流遷移への基礎的過程を明らかにすることができます。



振動子の応用例

- ◆ 粘性計
- ◆ 振動流が物体に及ぼす抗力
 - ・乱流生成前後の抗力変化
- ◆ 乱流生成のはじまる流速測定
 - ・物体の形・表面と乱流生成



極微細超伝導線(NbTi 直径1~3 μm) 極微細金属線で、超流体の乱流遷移を捉えることができます。

キーワード

乱流制御、超流体、振動子、乱流測定