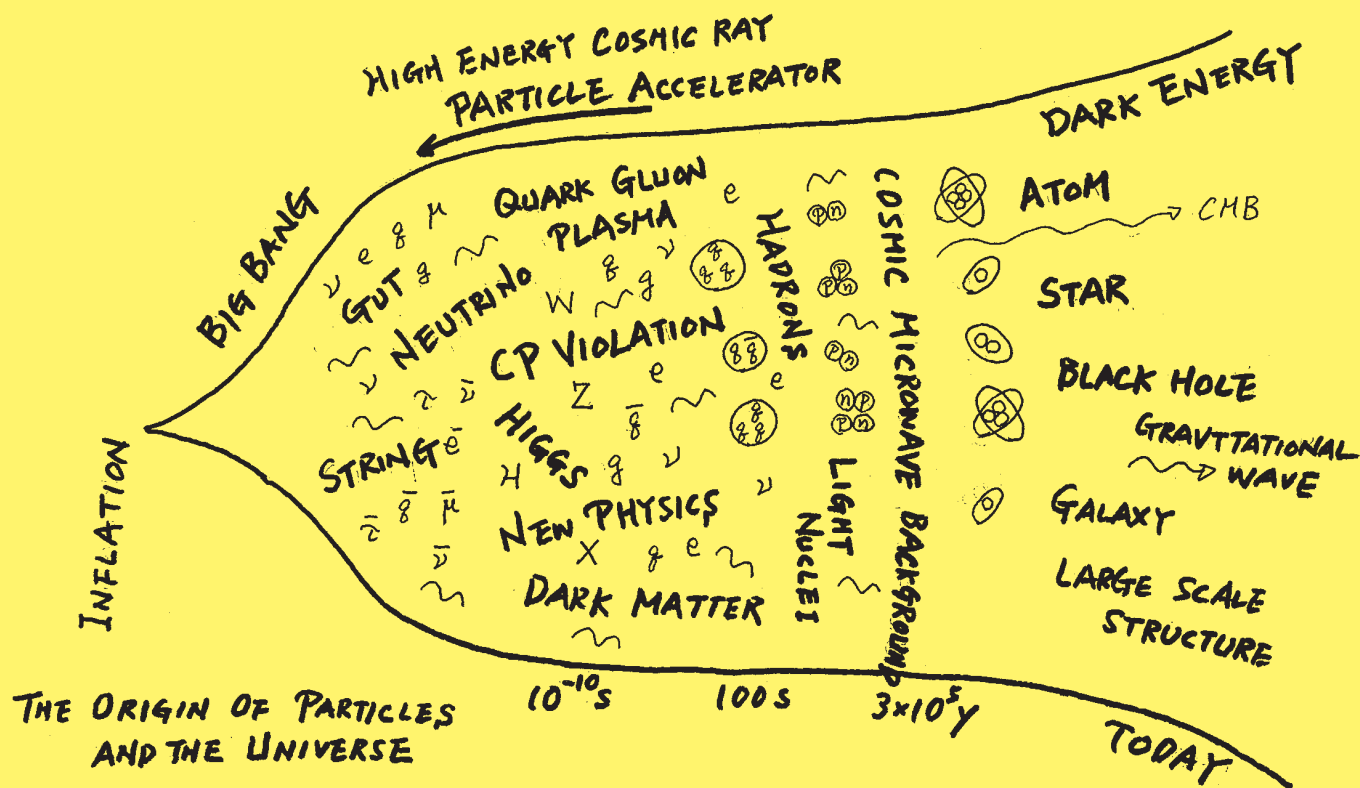


素粒子宇宙起源研究所

KMI Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe



宇宙の暗黒に光をあてる

Shed light on the Dark Universe

About KMI

物質の根源・宇宙の起源は長く人類が追究してきた命題です。名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 (KMI) は、素粒子・宇宙分野の国際拠点として、専門分野・言語・文化の垣根を越えて人類の英知を集め、この命題に挑んでいます。

名古屋大学では、大学草創期から独創的な素粒子論研究の礎が坂田昌一博士らによって築かれ、二中間子論、坂田模型、牧・中川・坂田理論という、その後の物理学の根幹をなす偉大な成果が生み出され、2008年にノーベル物理学賞を受賞した小林・益川理論に受け継がれました。また、理論研究とともに、早い時期から素粒子・宇宙分野の実験・観測研究が進められ、チャーム粒子、タウニュートリノの発見、小林・益川理論を実証したBファクトリー実験など、現在の素粒子標準理論を確立するうえで鍵となった第一級の研究が行われてきました。

KMIは、このような名古屋大学の豊かな土壌の上に素粒子・宇宙研究の分野融合的な研究拠点を築くため、2010年に設立されました。名古屋大学の理学研究科、多元数理科学研究科、宇宙地球環境研究所 (ISEE) に所属する素粒子理論・実験分野、宇宙理論・観測分野、数理物理学分野、宇宙線研究分野の関連研究者を結集し、現在の標準理論を越える現代物理学の新たな地平を開拓することを目指しています。

現在、KMIの研究者は、標準理論を越える理論模型、弦理論など、独創的で活発な理論研究活動で世界をリードし、LHC-ATLAS実験、スーパーBファクトリー実験、スーパーカミオカンデ実験、暗黒物質探索や、宇宙観測などの新しい現象の発見が期待される国際的な実験プロジェクトで中心的役割を果たしています。これらの理論研究・加速器実験・宇宙観測という様々な手法で研究を進める人材を結集し、密接に連携することで、KMIは名古屋大学でのみ可能なダイナミズムを持つ研究組織を目指します。

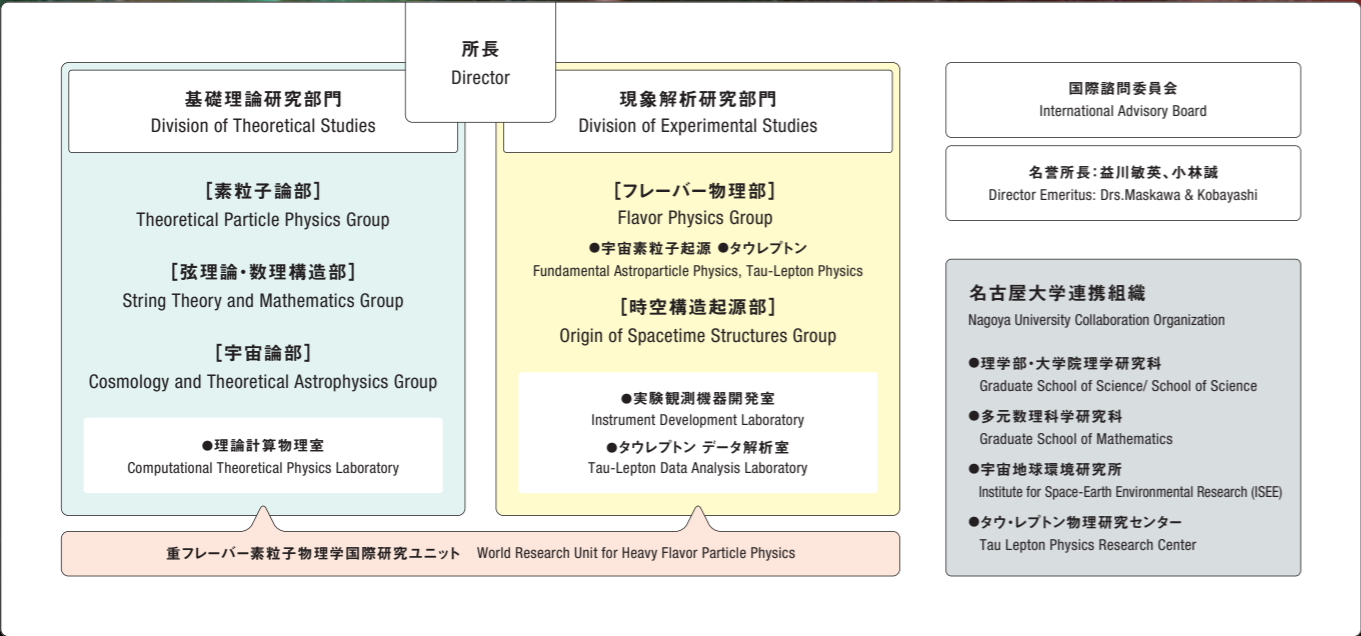
The origin of matter and the universe is a subject that humanity has long pursued. The Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe (KMI) of Nagoya University, as an international research hub for particle physics and astrophysics, is challenging this proposition by gathering the wisdom of mankind across the boundaries of specialized fields, languages, and cultures.

At Nagoya University, there have been many outstanding achievements in this field, such as the two-meson theory, the Sakata model, and the Maki-Nakagawa-Sakata theory. Such achievements led to the establishment of the Kobayashi-Maskawa theory, for which Drs. Kobayashi and Maskawa were awarded the Nobel Prize in Physics in 2008. In addition to these theoretical efforts, various experimental research projects, conducted from the early stages, have produced first-class results, including the discovery of the charm quark and the tau neutrino, as well as confirmation of the Kobayashi-Maskawa theory by B-factory experiments. These

are key experiments in establishing the Standard Model. With its rich history, Nagoya University has become a fertile ground for nurturing innovation and producing cutting-edge research.

KMI was established in 2010 to build an interdisciplinary research base for particle physics and astrophysics research at Nagoya University. At present, KMI researchers lead the world in theoretical research that goes beyond the Standard Model of particle physics. In addition, KMI researchers play a central role in international experimental collaborations seeking new physics, such as the LHC-ATLAS experiments, SuperB Factory, Super-Kamiokande experiments, dark matter searches, and space observations. KMI brings together and stimulates cooperations among the human resources who research through various methods, such as theoretical research, accelerator experiments, and space observation. KMI aims to be a research organization with dynamism only possible at Nagoya University.

KMI Organization



宇宙の - 我々の - 起源とは？
What is the origin of matter and the universe?



所長あいさつ

Message from Director

名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 (Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe: KMI) が2010年に創設されてから10年が経ちました。KMIは素粒子物理学と宇宙物理学の奥に秘められた神秘を探索するために設立されました。KMIは坂田昌一博士、早川幸男博士、益川敏英博士、小林誠博士など数々の先達の精神を受け継ぎ、強力で国際的競争力のある研究グループを育成することを重要な使命として、物理学の最前線を切り拓こうとしています。

KMI創設以来、物理学上の歴史的な発見が相次ぎました。KMIの構成員がLHC-ATLAS共同実験で活躍するなか、ヒッグス粒子が発見されました。KMIはまたOPERA実験を主導し、名古屋大学で開発された原子核乾板を使ってミュー型ニュートリノがタウ型ニュートリノに移り変わるニュートリノ振動事象を発見、これによりニュートリノ振動の存在を確立しました。

Ten years have passed since the establishment of the Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe (KMI) in 2010. KMI was established to explore the mysteries behind particle physics and astrophysics. KMI inherits the spirit of many great ancestors, such as Dr. Shoichi Sakata, Dr. Yukio Hayakawa, Dr. Toshihide Maskawa, and Dr. Makoto Kobayashi, and has an important mission to harness internationally competitive research groups at Nagoya University.

After the establishment of KMI, we have witnessed notable milestones in physics. The Higgs boson was discovered, and the members of KMI were active in the LHC-ATLAS experiment. The members of KMI also led the OPERA experiment and discovered neutrino oscillation events, in which mu neutrinos changed from tau neutrinos, by using the nuclear emulsion technology developed at Nagoya University.

KMIにおける現在の研究の焦点は暗黒宇宙、すなわち暗黒物質と暗黒エネルギー、そして消えた反物質の謎の解明です。この使命を遂行するため、実験と理論の両面から暗黒宇宙の解明につながる新しい現象を探索する研究を展開しています。国内外から新しいメンバーが集まり、また新たな国際共同研究が立ち上がり、こうした研究が強化されています。“Beyond Kobayashi-Maskawa”の掛け声のもと、KMIは今後もその特色を生かし世界最前線の研究を主導していきます。

名古屋大学
素粒子宇宙起源研究所
所長
久野純治

The current focus of research at KMI is on the mystery of the dark universe — dark matter and dark energy, and the disappearance of antimatter in the universe. To carry out this mission, we are conducting research to explore new phenomena that lead to the elucidation of the dark universe from both experimental and theoretical perspectives. New members are gathering from Japan and overseas, new international joint research projects are being conducted, and these studies are being strengthened. Under the slogan “Beyond Kobayashi-Maskawa” we will continue to lead the world’s cutting-edge research with KMI’s unique approach.

HISANO, Junji
Director
Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe
Nagoya University

素粒子宇宙研究の国際拠点

International Research Hub for Particle Physics and Astrophysics

KMIは、素粒子宇宙研究の国際拠点としての役割を果たし、

素粒子・宇宙分野の国際拠点として、専門分野・言語・文化の垣根を越えて先端知を融合し、新しい物理の開拓に挑んでいます。

KMI is an international hub for bringing together researchers from all over the world.

We are exploring new frontiers of physics by integrating cutting-edge knowledge

and skill across the boundaries of various expertise, languages, and cultures.

国際的なネットワーク

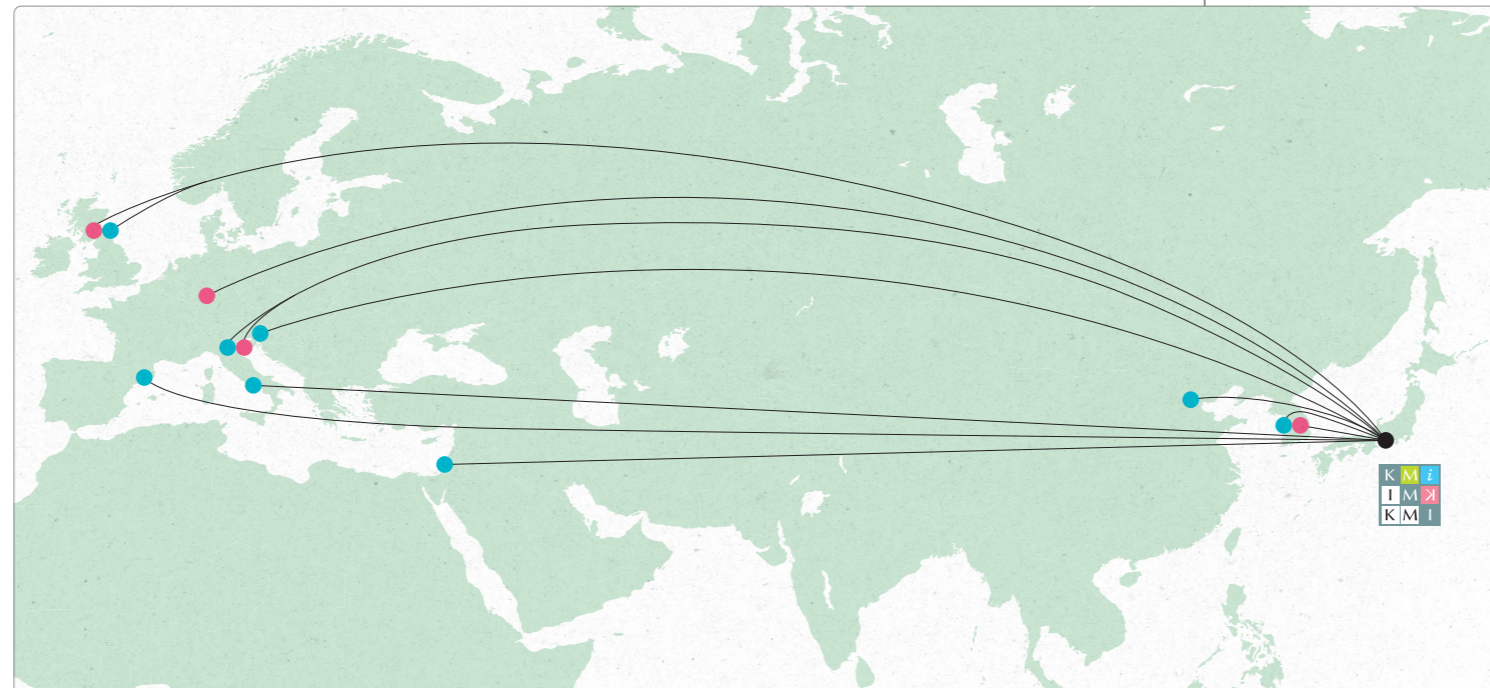
International Partner Institutes

KMIは現在、東アジアとヨーロッパの8つの研究機関と学術的パートナーシップ協定を結び、研究者や学生の積極的な交流を促進しています。今後、世界の他の地域にもさらに拡大していく予定です。また、日本学術振興会の研究拠点形成事業に採択され、世界各国の研究教育拠点機関をつなぐ協力関係の確立を目指しています。

KMI has academic partnership agreements with eight institutions in East Asia and Europe to promote the active exchange of researchers and students. We plan to expand the network to other parts of the world. KMI also conducts the Core-to-Core program of the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS).

- Tel Aviv University, School of Physics and Astronomy | Israel
- Institute of Physics and Applied Physics (IPAP), Yonsei University | Korea
- Jozef Stefan Institute | Slovenia
- Higgs Centre for Theoretical Physics, The University of Edinburgh | UK
- Institute of Space Studies of Catalonia (IEEC) | Spain
- Institute of Theoretical Physics, The Chinese Academy of Sciences | China
- National Institute for Nuclear Physics, Padova Division | Italy
- The University of Naples, Federico II, Department of Physics Ettore Pancini | Italy

As of October, 2020 / Order of conclusion of agreements



研究拠点形成事業

JSPS Core-to-Core Program, DMNet

研究交流題名：領域横断的アプローチで実現する宇宙

暗黒物質解明のための国際研究拠点構築 (DMNet)

採択期間：令和2年度～令和6年度

Title: International research network to reveal dark matter in the universe by a multidisciplinary approach in particle and astrophysics, DMNet

Period of adoption: FY 2020 to FY 2024

- Max Planck Institute for Nuclear Physics | Germany
- National Institute for Nuclear Physics, Padova Division | Italy
- The University of Edinburgh | UK
- Institute for Basic Science | Korea

KMI School

毎年開催されるKMIスクールでは、優れた研究者を講師として招待し、レクチャーやチュートリアルを通して、特定のテーマについて深く学ぶことを目的としています。国内外の大学院生や若手研究者を対象としたスクールです。2018年以来、暗黒物質、CPの破れ、機械学習などをテーマに開催されてきました。

Each year, the KMI School invites outstanding researchers as lecturers, with the aim of deeply learning about a particular theme through lectures and tutorials. It is intended for graduate students and young researchers in Japan and overseas. Since 2018, the school focused on several themes, including dark matter, CP violation, and machine learning.



KMI International Symposium

KMI国際シンポジウムは、関連分野における最先端の研究の現状と展望を確認し、学際的研究の展開を目指すものです。2年に1度、名古屋大学のKMIで開催されます。

The KMI International Symposium is held biennially at KMI, Nagoya University. The aim of the KMI symposium is to review the status and prospects of cutting-edge research in relevant fields, and to develop interdisciplinary research to approach the mysteries of the dark universe.



基礎理論研究部門

Division of Theoretical Studies

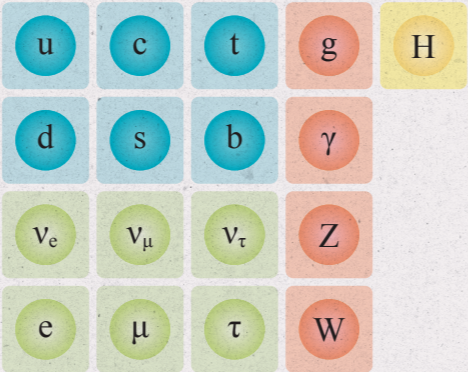
名古屋大学では坂田昌一博士から始まる理論物理学の独創的な研究の輝かしい伝統が連綿と受け継がれています。坂田博士とその共同研究者が達成した二中間子論、坂田模型、ニュートリノ振動の牧・中川・坂田理論等の数多くの重要な成果は、小林・益川理論など素粒子の標準理論の研究につながり、小林・益川両博士の2008年度ノーベル物理学賞受賞をもたらしています。この理論研究の伝統を引き継いだ基礎理論研究部門では、素粒子論部、宇宙論部、弦理論・数理解造部の三つの部が、素粒子論、数理、重力理論や観測的宇宙論などの多様な理論的アプローチにより、標準理論のさらなる理解と、標準理論では説明できない暗黒物質や暗黒エネルギーなど未知の存在についての理論研究を行っています。KMIでは様々な観測・実験プロジェクトに参加していますが、これらの実験的研究は理論的研究とは相補的な関係にあります。基礎理論研究部門は現象解析部門と協力し、新たな模型の構築や様々な模型についての理論的な無矛盾性や現実性、また実験や観測での検証の可能性について活発に研究を行い、標準理論を超える理論の構築を目指しています。

At Nagoya University, a brilliant tradition of ingenious research on theoretical physics starting from Dr. Shoichi Sakata has been uninterruptedly inherited. The numerous important achievements of Dr. Sakata and his collaborators, such as the two-meson theory, Sakata model, and Maki–Nakagawa–Sakata theory about neutrino oscillation, have led to research on the Standard Model of particles, including the Kobayashi–Maskawa theory, resulting in the award of the Nobel Prize in Physics in 2008 for Drs. Kobayashi and Maskawa.

The Kobayashi–Maskawa theory is included in the Standard Model of particles, which is now established, and it has been clarified that there exist unknown entities such as dark matter and dark energy that cannot be explained by the Standard Model. At KMI, we participate in various projects of accelerator and non-accelerator experiments, as well as cosmological observations, in order to solve these mysteries. These experimental studies have a complementary relation with theoretical research. In the Division of Theoretical Studies, in cooperation with the Division of Experimental Studies, three groups inherit the tradition of research at Nagoya University and actively proceed with research for the construction of physics beyond the Standard Model. The consistencies and reality of such theories are checked to find possibilities for the verification of the models from various directions.

多様な理論的アプローチにより、
素粒子標準理論のより深い理解と、
素粒子標準理論を超える物理の探求を目指します。
We aim to deepen our understanding
of the Standard Model
and explore new physics beyond the Standard Model
through various theoretical approaches.

素粒子標準理論を構成する粒子
Standard Model of elementary particles



わたしたちの世界は、どのような物質を基本要素として構成されているのでしょうか？ またそれらはどのような物理法則にしたがっているのでしょうか？
小林・益川理論をはじめとするこれまでの素粒子論研究により、3世代のクォーク・レプトンを基本要素(素粒子)とし、ゲージ場の理論によって素粒子相互作用を記述する「素粒子標準理論」が確立されました。標準理論は長年にわたる精密実験によりその正しさが確かめられてきました。さらに、2012年にCERN(欧州原子核研究機構)のLHC実験において、標準理論を構成する素粒子のうち唯一未発見であったヒッグス粒子が発見され、標準理論は、この世界の成り立ちを記述する理論として、ひとつの完成を見たと言えます。

What elements is the universe made of? What laws govern them?
Physicists have introduced three generations of quarks and leptons (Kobayashi-Maskawa theory) as the fundamental elements, and have exploited gauge theory to explain their interactions. This theoretical framework is recognized as the Standard Model of the elementary particles, which has been confirmed through many years of precise experiments. The Standard Model was completed as the most plausible model for describing our world by the discovery of the Higgs boson, the last particle that was discovered among the elementary particles, in the LHC experiment at CERN (European Organization for Nuclear Research) in 2012.

ところが現在、標準理論の枠組みを超える物理の存在を示唆する事実が数多く知られています。例えば、素粒子質量の起源の謎、暗黒物質・暗黒エネルギーの正体、ニュートリノ振動実験が示唆する小さなニュートリノ質量の存在は、標準理論では説明ができません。さらに、標準理論の枠内においても「カラーの閉じ込め」や「カイラル対称性の力学的破れ」など、現在の手法では本質的に解明できない現象が含まれています。
素粒子論部では、様々な専門知を結集し、独自のアプローチで標準理論の深い理解と標準理論を超える物理の探求を目指しています。また、KMIの多様な専門性をもつ研究者と連携し、素粒子物理学と宇宙物理学にまたがるテーマの解明に取り組んでいます。

However, the Standard Model cannot explain some recent findings, such as the origin of mass, dark matter, dark energy, and the non-zero mass of neutrinos. Even within the Standard Model, there are phenomena that cannot be solved, such as color confinement and dynamical chiral symmetry breaking.
Integrating a variety of expert knowledge, we pursue a deeper understanding of the Standard Model and physics beyond the Standard Model. At KMI, we are also working with researchers with diverse expertise to unravel themes that span particle physics and astrophysics.

自然界には4つの基本的な力(電磁気力、強い力、弱い力、重力)が存在します。重力を除く3つの力についてはゲージ場の量子論を用いて標準理論が構築され、多くの実験事実を統一的に説明できます。一方、重力理論は一般相対性理論で非常によく記述できますが、ゲージ場の量子論と整合しない問題があります。弦理論は、重力子を含むあらゆる素粒子を弦の様々な振動モードと見なすことにより、この問題の解決を試みる理論です。自然界の基本的な力の統一理論を無矛盾に構築することは、物質や宇宙の起源が何であるかという問いを追求するうえで重要な課題であり、弦理論はそのような統一理論の最有力候補です。弦理論の様々な側面の中で、KMIではゲージ理論・弦理論対応に取り

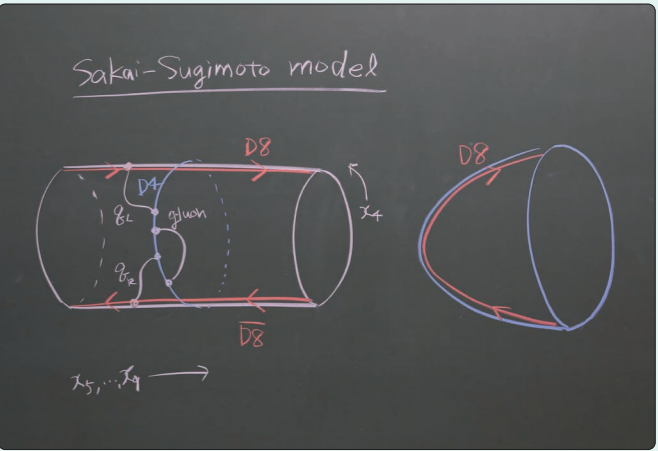
Nature has four fundamental forces: electromagnetic, strong, weak, and gravitational forces. Except for the gravitational force, the other three are described by quantum gauge theory in the Standard Model, which explains many experimental results in a unified way. Although general relativity can describe gravity very well, it is quantum mechanically inconsistent with gauge field theory. String theory aims to resolve this problem by postulating that all particles are variations of oscillation modes on a string. In the quest for the origin of matter and the universe, it is crucial to construct a consistent unified theory. String theory is regarded as the most promising candidate.

ゲージ理論・弦理論対応を用いたハドロン物理の模型(酒井-杉本模型)
Model of hadron physics using the gauge theory-string theory correspondence
(Sakai-Sugimoto model)

数理の視点から、弦理論や重力をはじめとする
物理学の数理構造を解き明かします。
From the viewpoint of mathematics,
we explore the mathematical structure of physics,
including string theory and gravity.

組んでいます。これはゲージ理論と(重力理論を含む)弦理論という一見異なる2つの理論が、実は等価であるという驚くべき主張です。これに関連してKMIではハドロン(陽子・中性子、中間子などの総称)の物理への適用を進めています。さらに、ゲージ理論・弦理論対応によって数学からのアプローチでは予想できない等式を生み出し、無限可積分系や量子幾何不変量といった弦理論のもつ数理構造の研究も展開しています。この研究は、弦理論の強結合極限で現れると信じられているM理論の解明にも関係すると期待しています。また、弦理論を含む重力理論の数理構造の解明のため、高次元ブラックホールや宇宙論を通じた多角的な研究も行っています。

Our group focuses on the correspondence between gauge theory and string theory, and one surprising claim is that these two seemingly different theories are actually equivalent. One of our projects applies this correspondence to hadron physics. Furthermore, this correspondence predicts nontrivial mathematical structures: integrable systems and quantum topological invariants. We study these mathematical structures to understand the M-theory, which is believed to emerge at the strong coupling limit of string theory. Through higher dimensional black holes and cosmology, we are also investigating the mathematical features of gravitational theories.



宇宙創成から現在までの約140億年にもおよぶ時間の流れの中で、宇宙は多様な階層構造を形成してきました。わたしたちは最新の観測データにもとづき、宇宙の構造の成り立ちを理論的に解明することにより、宇宙の本質に迫り、その背後に潜む重力理論や素粒子理論をも明らかにしようとしています。

近年、宇宙の観測技術は急速に向上しています。豊富な観測データに基づいて定量的に宇宙全体の姿を明らかにしようとする研究分野は、「観測的宇宙論」と呼ばれます。わたしたちは理論的アプローチにより、観測データの説明や予言、最適な観測戦略の導出等に重要な役割を果たしています。また数値シミュレーションは「数値実験」として宇宙の構造形成の研究に重要な役割を担っています。

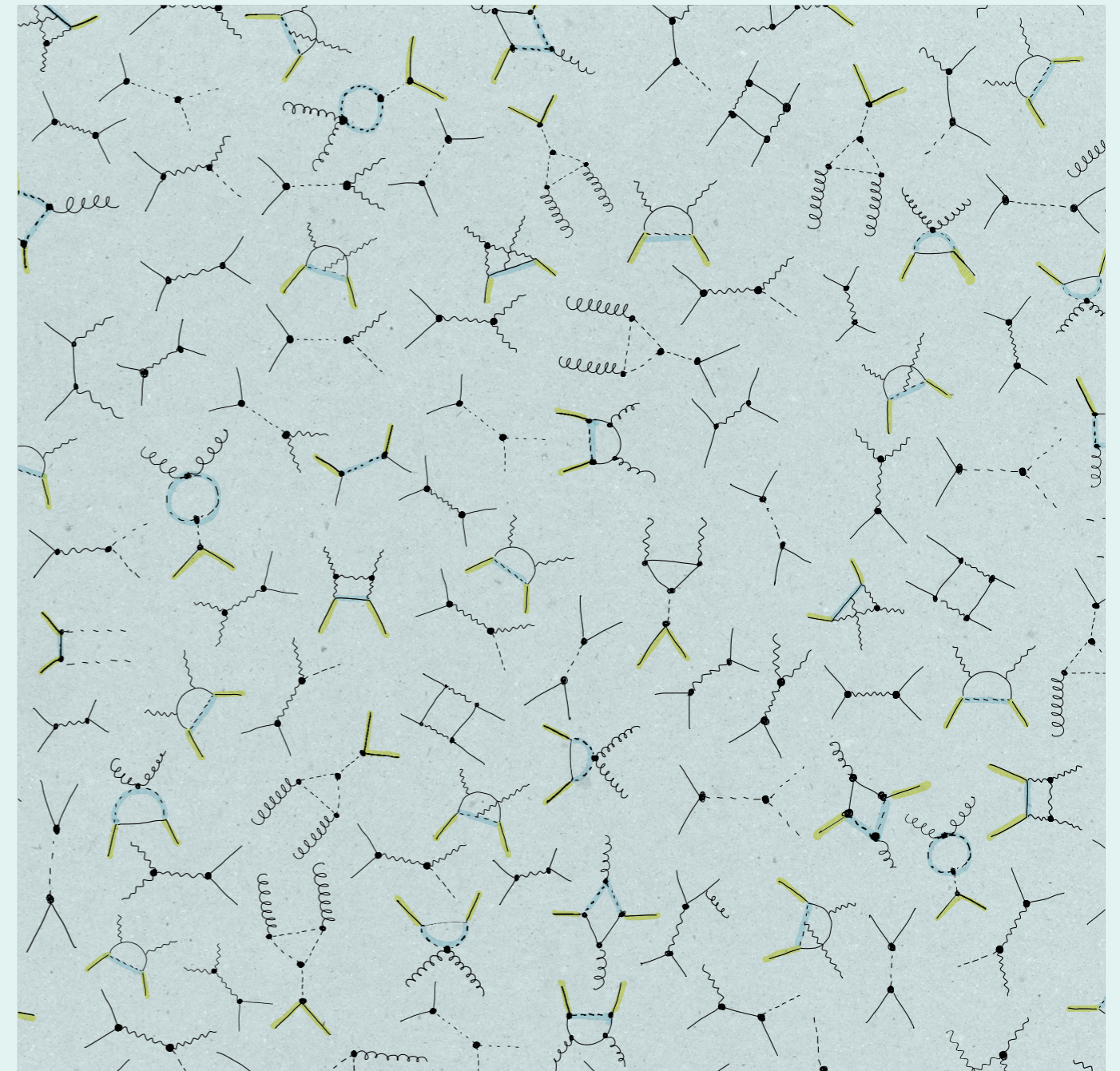
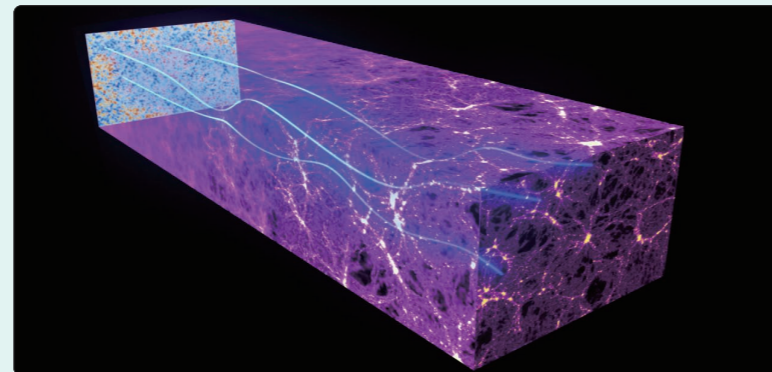
Since the formation of the universe 14 billion years ago, various hierarchical structures have evolved. By theoretically elucidating the structure of the universe based on the latest observational data, we are getting closer to understanding the nature of the universe and the gravitational and particle theories behind it. Recently, space observation technologies have rapidly improved. Observational cosmology quantitatively studies the evolution of the universe, based on the rich observational data. We take theoretical approaches towards understanding data, making further predictions, and optimizing observation strategies. We also perform numerical experiments to study the structure formation of our universe.

過去の光が重力レンズ効果により歪むイメージ図
Deflecting light from the Big Bang (artist's impression)
©ESA and the Planck Collaboration

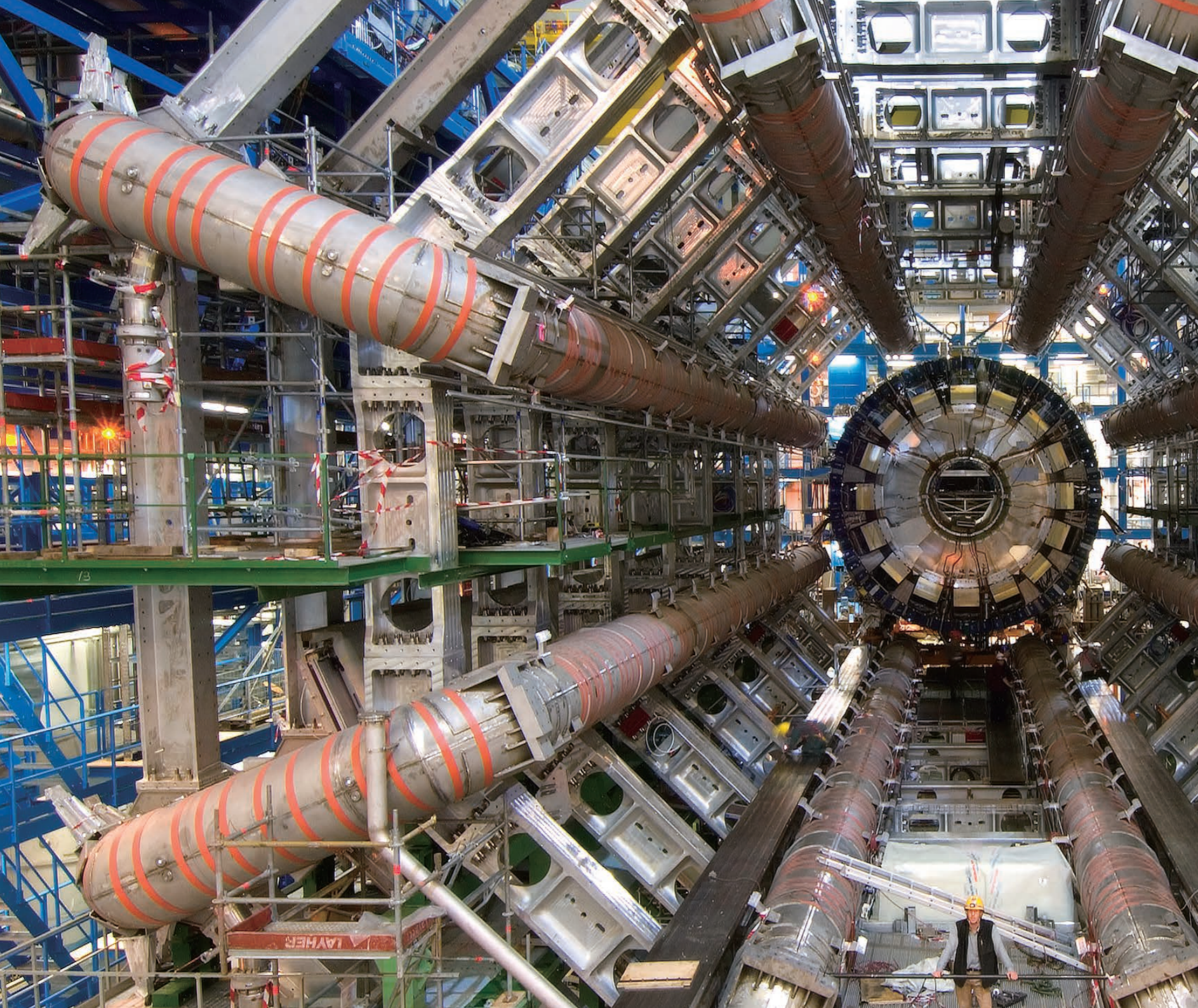
観測的宇宙論の手法や重力理論の研究により、
宇宙物理学と素粒子物理学の融合研究を行なっています。
We study observational cosmology
as well as theories of gravity,
with the aim of addressing fundamental issues
in astrophysics and particle physics.

素粒子と宇宙は、それぞれ極微と極大の世界でありながら、お互いに有機的なつながりを持っています。その発見に2011年度ノーベル物理学賞が与えられた現在の宇宙の加速膨張は、素粒子理論の視点から見ると異常な現象であり、量子重力理論との関連も指摘されています。また、素粒子物理学において、自然界の基本的な4つの相互作用、電磁気力・弱い力・強い力・重力のうち、重力だけは対応する素粒子物理学の理論(場の量子論)が分かっていません。観測的宇宙論によって、宇宙大規模構造の進化のより深い理解を得ることは、一般相対性理論を超えた重力理論を探る有力な手立てであり、素粒子論と宇宙論にまたがる問題に迫ることができると期待されています。

Particle physics and cosmology study respectively the microscopic and macroscopic scales, however they are closely connected. The accelerated expansion is an unexpected phenomenon from the viewpoint of particle theory, and is considered to have connections with quantum gravity. Out of the four fundamental interactions of nature, only gravity is yet to be described within the framework of quantum field theory. Observational cosmology is a powerful means of exploring gravity theories that go beyond general relativity, and is expected to shed light on mysteries that span from particle physics to cosmology.



暗黒物質素粒子が暗黒になる瞬間
The moment dark matter becomes dark



現象解析研究部門 Division of Experimental Studies

現象解析研究部門は、極微の世界で起きる素粒子現象から、広大な宇宙で起きている時空構造に関わる現象まで、我々が住む世界の起源に迫る現象の解明を目指しています。これまでに、小林・益川理論の検証の場となったBファクトリー実験や、ヒッグス粒子を発見したLHC-ATLAS実験、タウニュートリノ出現事象の検出によってニュートリノ振動の最終検証を行ったOPERA実験、最高エネルギーでのハドロン反応を調べるLHCf実験、ブラックホールなどの時空構造を調べるX線観測で数々の成果をあげてきました。

現在は、これらの研究を発展させたスーパーBファクトリー実験や、エネルギーを増強したLHC-ATLAS実験、LHCf実験での研究を拡張したRHICf実験に加えて、中性子基礎物理実験、独自の原子核乾板技術を駆使した暗黒物質探索、高エネルギーガンマ線の観測や新しいX線観測衛星プロジェクトなどを推進しています。こうした実験・観測研究により、標準理論を超える新物理の発見とともに、なぜ宇宙から反物質が消えたのか？暗黒物質の正体は何か？といった謎の解明につなげたいと考えています。

当部門は、最先端の実験・観測研究を支える基盤として、加速器実験で得られた大量のデータを高速に解析できる独自の計算機システム(タウレプトンデータ解析室)や、実験・観測研究に必要な機器の独自開発研究を目的とした実験観測機器開発室も備えています。

The Division of Experimental Studies aims to elucidate phenomena related to the origin of the universe, ranging from elementary particles to the large-scale structure of spacetime. Since its foundation, we have made a number of advances in the B-factory experiment to verify the Kobayashi–Maskawa theory, the LHC-ATLAS experiment to discover the Higgs boson, the OPERA experiment to confirm the neutrino oscillation with detection of τ neutrino appearance, the LHCf experiment to study hadron interactions at extremely high energy, and X-ray observations to study black hole phenomena. Currently, we further develop these studies with the Super B Factory experiment, the LHC-ATLAS experiment with increased energy, and the RHICf experiment to further extend the studies made by LHCf. Furthermore, we promote fundamental physics experiments with neutrons, a direct search for dark matter using the original nuclear emulsion technique, high-energy gamma-ray observation, and a new X-ray observation satellite project. With these experimental and observational studies, we aim to find new physics beyond the Standard Model, and to unravel the mysteries of why antimatter disappeared from the universe and the nature of dark matter.

The Division of Experimental Studies also has two laboratories. To produce cutting-edge research results in a timely fashion, a powerful dedicated computer facility (Tau-Lepton Data Analysis Laboratory) promptly analyzes data collected by accelerator experiments. Additionally, the Instrument Development Laboratory can develop the innovative instruments required for our observations and measurements.

CERNのATLAS検出器 / The ATLAS detector at CERN / ©CERN



宇宙線・暗黒物質・ニュートリノなどの実験観測を通して、
宇宙物理学と素粒子物理学の融合研究を推進します。
Through experimental observations of cosmic rays,
dark matter, neutrinos, etc.,
we will promote interdisciplinary research
between astrophysics and particle physics.

LHC加速器トンネル内に設置されたLHCf検出器
Detector for the LHCf experiment installed at the LHC tunnel

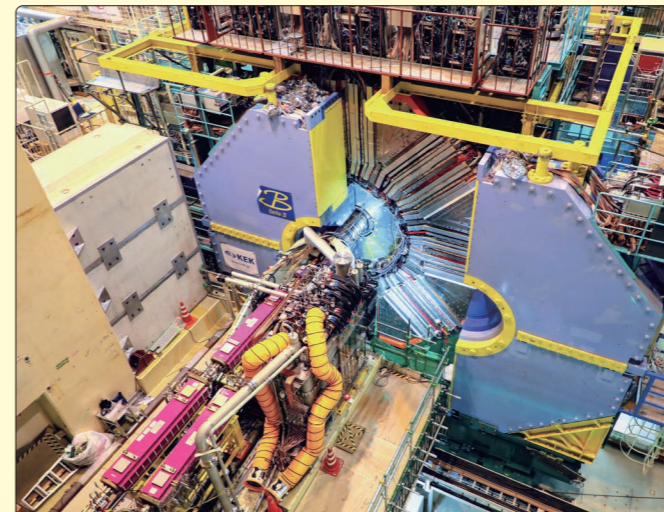
宇宙から地球に降り注ぐ宇宙線には、素粒子物理と宇宙物理にまたがる様々な謎が潜んでいます。宇宙線の中には、加速器で人類が作り出せる最高エネルギーよりも8桁も高いエネルギーに達するものがありますが、このような超高エネルギー宇宙線が、宇宙のどこでどのように生成されるかはわかっていません。LHCf実験・RHICf実験では、加速器による粒子衝突で最前方に放出される粒子に特化した測定により、超高エネルギー宇宙線が大気中で引き起こす「空気シャワー」現象の理解と宇宙線観測精度の向上に貢献しています。また、ニュートリノの性質は、宇宙の進化や物質の成り立ちの理解に重要です。名古屋大学の牧・中川・坂田により提唱された「ニュートリノ振動現象」を通じてニュートリノ

Cosmic rays reveal various mysteries, ranging from particle physics to astrophysics. Some cosmic rays reach an energy that is eight orders of magnitude higher than the maximum energy produced in accelerators, but how and where such very high-energy cosmic rays are generated is unknown. By measuring particles emitted at accelerators at the LHCf and RHICf experiments, we are studying the mechanism of the air shower phenomenon caused by very high-energy cosmic rays in the atmosphere and improving the accuracy of cosmic ray observations. Neutrinos are important for understanding the evolution and formation of the universe. Although

the neutrino oscillation phenomenon proposed by Maki-Nakagawa-Sakata at Nagoya University predicted a finite neutrino mass, the origin of this mass is still unknown. In the OPERA experiment, we directly captured tau neutrinos generated by neutrino oscillation for the first time in the world with nuclear emulsion detectors developed at Nagoya University. Dark matter and dark energy are the keys to the origin of the universe. We are advancing various experimental approaches to search for dark matter using accelerators, liquid xenon detectors, and ultra-high-resolution nuclear emulsions, and to search for dark energy using neutrons.

素粒子加速器実験では、巨大な加速器で光速近くまで加速した粒子を衝突させ、ビッグバン直後の高エネルギー状態を再現し、宇宙の始まりや未知の現象を調べます。KMIのメンバーは、国際的な加速器実験プロジェクトで重要な役割を果たしています。
茨城県の高エネルギー加速器研究機構KEKで行われているスーパーBファクトリー実験(SuperKEKB/Belle II実験)では、電子・陽電子衝突で生成されたタウレプトンやB中間子の崩壊データにより、世界最高感度で新物理の探索を行っています。前身のBファクトリー実験は小林・益川理論の検証測定を行い、小林・益川両氏のノーベル物理学賞受賞に直接貢献しました。名古屋大学はタウレプトンに注目した研究を軸に、スーパーBファクトリーでも中心的な役割を果たし、小林・益川理論

Colliding particles at near-light-speed, we reproduce very high-energy states to investigate the beginning of the universe and unknown phenomena. KMI plays an important role in international accelerator experimental projects.
The SuperKEKB/Belle II Experiment at KEK in Tsukuba aims to find new physics using data on tau leptons and B mesons generated by electron-positron collisions at the world's highest luminosity. Its predecessor, the KEKB/Belle Experiment, verified the Kobayashi-Maskawa theory, and led them to the Nobel Prize in Physics. Members of Nagoya have played a central role in the experiment since the time of the KEKB/Belle, and are exploring new physics



を超える新物理に迫ります。
2012年にヒッグス粒子を発見した、スイスのCERN(欧州原子核研究機構)でのLHC-ATLAS実験では、世界最高エネルギーの陽子衝突による研究を進めています。ヒッグス粒子の精密測定により、素粒子の質量獲得メカニズムの解明を目指すとともに、超対称性粒子や暗黒物質など新粒子の直接探索およびトップクォークの測定により新物理の探索を進めています。
さらに、これらの高エネルギー加速器実験に加え、茨城県那珂郡東海村のJ-PARCでは低エネルギー中性子を用いた精密測定によって標準理論を超える新現象を探求する実験も行っています。

beyond the Kobayashi-Maskawa theory.
The LHC-ATLAS experiment at CERN, where the Higgs boson was discovered in 2012 using proton-proton collisions at the world's highest energy, elucidates the mechanism of particles acquiring their masses by precisely measuring the properties of the Higgs boson. We search for new particles, such as supersymmetry and dark matter, and explore new physics by measuring top quark properties. In addition to these high-energy experiments, at the J-PARC facility in Tokai, we are conducting experiments using low-energy neutrons to explore new phenomena beyond the Standard Model.

Belle II 測定器 / The Belle II detector
©KEK/Belle II

加速器実験により、素粒子標準理論の精密な検証と、
未知の物理現象の探索を行います。
We conduct particle accelerator experiments
for the ultimate test of the Standard Model and
for the search for new physics beyond.

アインシュタインの相対性理論が予言した究極の天体「ブラックホール（BH）」は、光をも飲み込む、文字通り宇宙一の暗黒天体です。2015年に検出された重力波は、太陽質量の30倍ほどのBHの合体の証拠であり、2019年には電波干渉系でM87銀河の巨大BHの「黒い穴」の撮像に成功し、その質量が太陽の7×10⁹倍に達することを確認しました。BHは強大な重力で周りの時空構造を極端に歪めるため、一般相対性理論をはじめとする基礎物理法則を検証する貴重な実験場です。星間物質をかき集めて加速することでBH周辺に莫大なエネルギーを生み、可視光やX線を強く放射し、ジェットと呼ばれる高速の物質流を噴出します。銀河の中心に鎮座する巨大BHは、星間ガスを弾き飛ばして銀河

The ultimate object predicted by Einstein's theory of relativity, the black hole (BH), is literally the darkest body in the universe, swallowing even light. BHs are a valuable experimental field for verifying fundamental physical laws, including general relativity theory, because they severely distort the space-time structure owing to their powerful gravity. By gathering and accelerating interstellar matter, enormous energy is generated around a BH and bright visible light and X-rays are emitted. In addition, a high-speed flow of matter called a jet is produced. The giant BH located in the center of the galaxy has the power to stop the growth of the galaxy by blowing

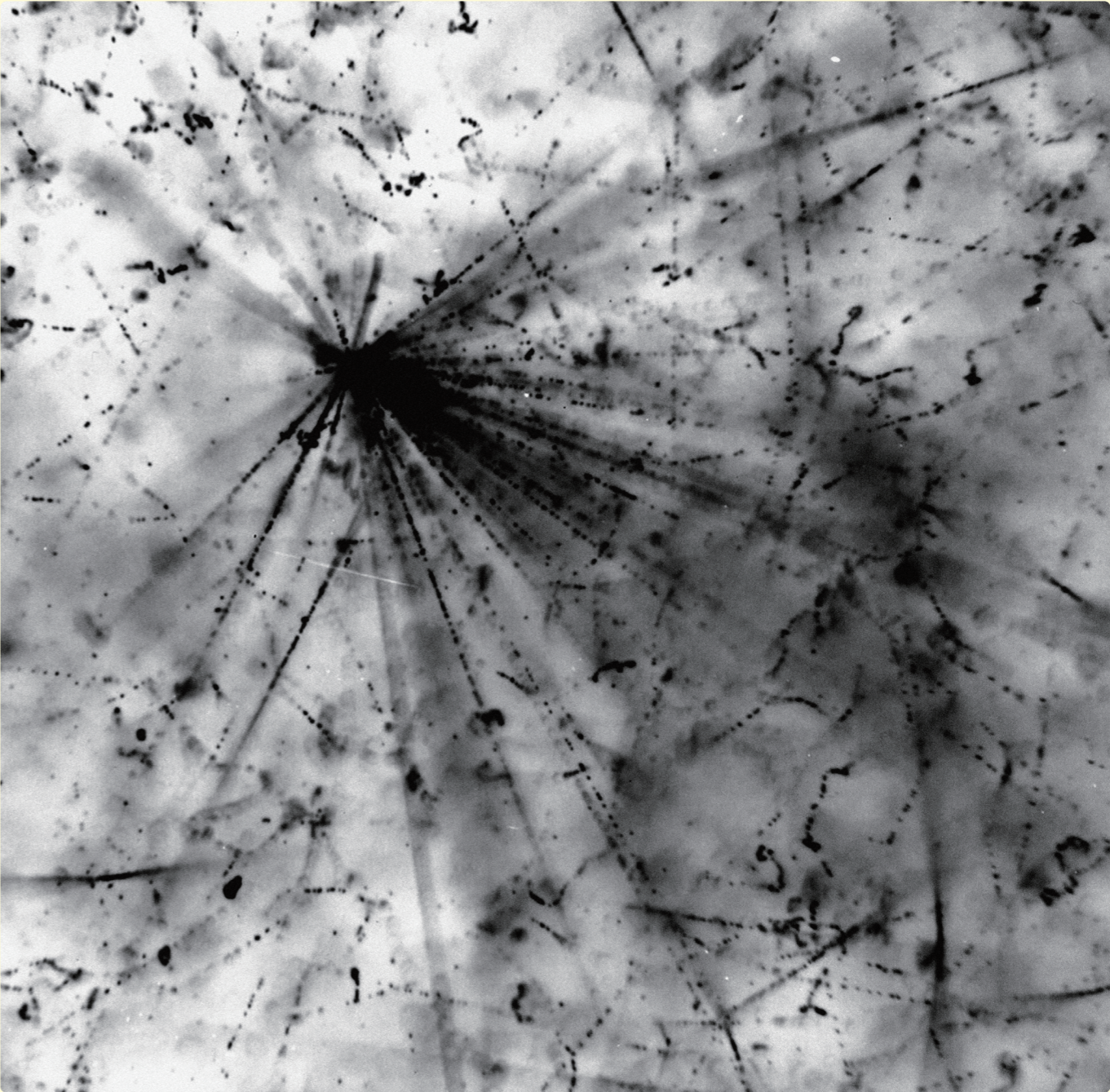
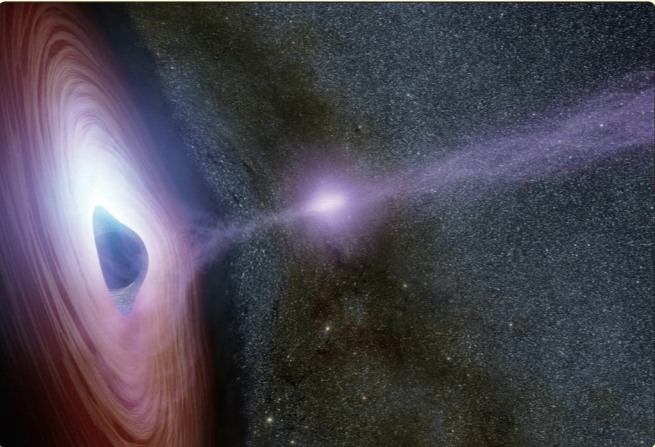
ブラックホール周辺の高温コロナやジェットの想像図
An artistic impression image of hot corona and jets around a BH
©NASA/JPL-Caltech

最新機器による飛翔体観測および独創的な理論研究により、ブラックホールの素顔を暴く研究を行っています。
Our group aims to reveal the nature of black holes by developing new generation X-ray observatories and by innovative theoretical approaches.

の成長そのものを止める力を持ち、137億年の宇宙の成長史を理解する上でも、最も重要な研究対象の一つです。

私たちは、人工衛星によるX線観測を軸とし、BHに飲み込まれる直前の物質が発するX線を捕らえ、強度変動やスペクトル情報からBH近傍の時空構造や成長メカニズム解明に直結する物理量の導出を行います。電波やγ線の観測データも組み合わせ、粒子加速の探査も行います。また理論的なアプローチとして、BHからのエネルギー抽出の基本的メカニズムを検討し、放射メカニズムの理論的モデルを構築して観測と比較します。その他にも、流体系を用いた擬似的BHの研究により、BH蒸発現象を実験室内で検証する可能性を探っています。

away interstellar gas, and is one of the most important subjects for understanding the 13.7 billion year evolution of our universe. Using satellite X-ray observations, we investigate the strongly curved spacetime and evaluate the growth mechanism and speed of BHs in the universe. Intensive particle acceleration occurs within the jet, and it becomes bright in radio and gamma-ray bands. Theoretical research on the energy extraction mechanism and resultant emission models is also performed, as well as an innovative hydrodynamical approach to “reproduce” a BH in the laboratory and verify its evaporation.

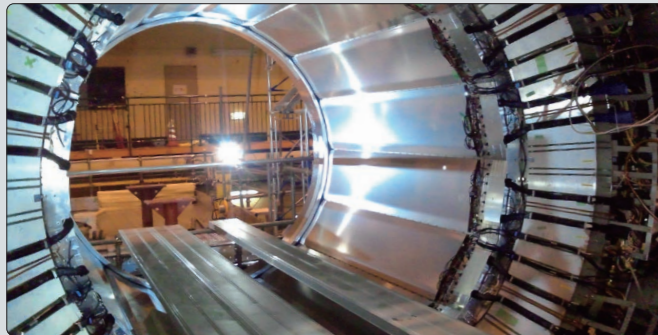


名古屋大学の技術による原子核乾板で捉えた宇宙線による高エネルギー現象
Cosmic rays captured with nuclear emulsion detectors developed at Nagoya University / ©Fundamental Particle Physics Laboratory, Nagoya University

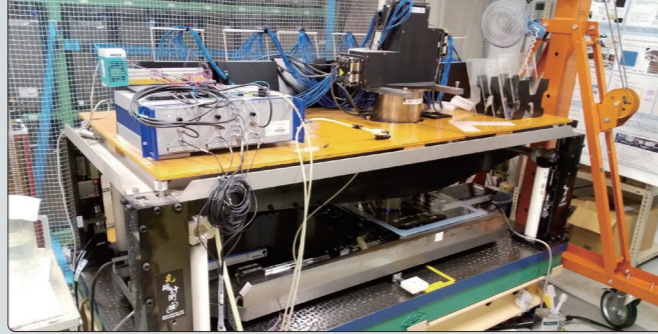
実験観測機器開発室 Instrument Development Laboratory



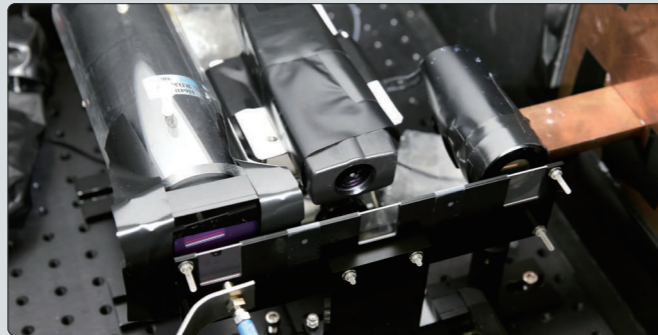
硬X線望遠鏡。多層膜で高エネルギーX線を集光結像する。
「ひとみ」衛星にも搭載。性能向上型や検出器も開発中。
A hard X-ray telescope, which is a grazing incident angle optical device,
that focuses hard X-rays. A higher resolution version is under development.



名古屋大学発の新型チェレンコフ検出器、Belle II実験TOPカウンター。
The Belle II TOP counter, a novel Cherenkov detector developed
at Nagoya University.



世界最高速の原子核乾板飛跡読み取り装置。
毎時0.45m²の処理能力を実現した。
Implementation of the world's fastest nuclear emulsion readout system,
achieving a readout throughput of 0.45 m²/h.



LHCf実験で用いられる超小型サンプリングカロリメータ較正試験。
A test bench built for ultra-small sampling calorimeter elements
for the LHCf experiment.

新物理の開拓を目指す最先端の研究には、新しい技術の開発が不可欠です。
KMIには技術開発のためのプロジェクト室があり名古屋大学の「ものづくり」精神に則り素粒子や宇宙の謎を解明すべく、
最新の実験観測機器を開発しています。中には素粒子物理実験にとどまらず新用途にも道を開く新技術もあります。
Investigating the unknown world also means technological innovation for conducting research studies.
In accordance with the “manufacturing spirit” of Nagoya,
KMI has a project room for technological development and is developing the latest experimental observation equipment
to unravel the mysteries of elementary particles and the universe.
Some of these new technologies will pave the way for new applications beyond particle physics experiments.

タウレプトン データ解析室・理論計算物理室 Tau-Lepton Data Analysis Laboratory / Computational Theoretical Physics Laboratory

現象解析研究部門のタウレプトン データ解析室、
基礎理論研究部門の理論計算物理室では、
大規模なコンピュータ・ネットワークで
国際的な実験プロジェクトや理論計算を支えています。
Tau-Lepton Data Analysis Laboratory and
Computational Theoretical Physics Laboratory
support international experimental projects
using a large-scale network of computers
and numerical calculations of theoretical researches.



素粒子実験において、加速器・検出器と並んで重要な役割を果たすのがコンピュータです。近年、素粒子実験の大型化とともに、実験の遂行に必要な計算機資源も莫大なものとなっています。Belle II実験では、ストレージが数100PB、CPUが10万core以上も必要になります。Belle IIではそのような莫大な計算機資源を得るために、世界中の共同機関・大学のコンピュータをネットワークで繋ぎ、1つの巨大なコンピュータとして用いる分散コンピューティングと呼ばれる技術を用いています。タウレプトンデータ解析室では、250TB、500coreのCPUを有し世界中の計算機と高速ネットワークで繋がりBelle IIデータ解析の一翼を担うとともに、分散コンピューティングの技術開発や運用を進めています。理論研究においても大規模数値計算が必須となる分野があります。

Computers are integral for performing particle physics experiments, and the computing resources required have increased owing to the growing size of experiments. The Belle II experiment requires a storage of several hundred PB and approximately 100,000 CPU cores; therefore, it operates a “distributed computing system” that connects the computing resources prepared in universities and institutes worldwide. KMI's Tau-Lepton Data Analysis Laboratory contributes Belle II data analysis using its computer resources of 250 TB disks and 500 CPU cores, as well as is developing and operating the distributed computing for Belle II. Numerical calculations are also essential to theoretical research.

2012年にスーパーコンピュータ「φ」が導入され、名古屋大学を中心に日本中で素粒子物理の大規模数値計算に使われました。2015年のシャットダウンの後は、KMIのクラスタシステムがφやその他の計算機で生成された一部のファイルのバックアップシステムとして使われており、それに基づく研究成果が現在でも論文として発表されています。また、KMIでは、クォークやグルーオンの高温・高密度下での性質や量子色力学(QCD)の相転移現象を解明することを目標に、計算機を用いた研究を行っています。高エネルギー原子核衝突実験で得られた高精度の結果、理論の発展、計算機の向上によって、QCDの様々な性質を定量的に明らかにすることが今まさに可能になり、精力的に取り組んでいます。

The supercomputer “Phi,” introduced at KMI in 2012, was used for large-scale numerical calculations in particle physics throughout Japan. After its shutdown in 2015, a cluster system in KMI was used as backup, and even at present, research results based on these data are published. We plan to investigate the properties of quarks and gluons under conditions of high temperature and density and mechanism of phase transition in quantum chromodynamics (QCD) using PC clusters. High-precision experimental data of high-energy heavy-ion collisions, development of theory, and advancement in the performance of computers enable us to quantitatively understand various aspects of QCD.

重フレーバー素粒子物理学国際研究ユニット

World Research Unit for Heavy Flavor Particle Physics

本研究ユニットでは、名古屋大学の素粒子研究の特徴となっているタウレプトンおよびトップ、ボトム、チャームクォークに注目した加速器実験と理論研究により、標準理論を超える新しい物理世界の探索を進めています。質量の大きさから「重フレーバー素粒子」と総称されるこれらの素粒子は、新物理への感度が高いと考えられています。

本ユニットでは、高エネルギー衝突により新粒子を直接探索する「エネルギーフロンティア」のLHC-ATLAS実験と、精密測定データから量子ループに出現する新粒子の証拠を探る「ルミノシティフロンティア」のSuperKEKB/Belle II実験の相補的なデータを統合し、理論的な考察

The World Research Unit for Heavy Flavor Particle Physics is exploring new physics beyond the Standard Model through accelerator experiments and theoretical research focusing on the tau lepton as well as top, bottom, and charm quarks. These elementary particles, collectively called “heavy flavor particles,” have large masses. Therefore, they are sensitive probes for new physics. We participate to the LHC-ATLAS experiments at the “energy frontier” and the SuperKEKB/Belle II experiment at the “luminosity frontier,” which explore new physics by direct search using high-energy particle collisions, and by indirect search using very precise measurements, respectively. We then aim to extract information on

重フレーバー素粒子に注目した高エネルギー加速器実験と理論研究の国際連携により新物理の発見を目指しています。

Exploring new physics through international collaboration between high-energy accelerator experiments and theoretical research focusing on heavy flavor particles.

によって新物理の情報を引き出してゆきます。

LHC-ATLAS実験ではエネルギーと衝突性能の増強が進む一方、2019年からはSuperKEKB/Belle II実験が本格的に始まり、「重フレーバー素粒子物理学」はエキサイティングな時期を迎えています。

こうした研究により、宇宙の物質優勢や暗黒物質問題に代表される宇宙の謎の解明を目指しています。

ユニット構成員：飯嶋徹、戸本誠、久野純治、Peter Krizan (ヨゼフ・ステファン研究所)、Alessandro Gaz、松岡廣大

new physics by conducting a theoretical investigation of experimental data. We are entering an exciting time of “heavy flavor particle physics.” The LHC-ATLAS experiment is progressing by enhancing the energy and collision performance, while the SuperKEKB/Belle II experiment has just started in 2019. Through such research studies, we aim to elucidate the mysteries of the universe: Why did antimatter disappear from the universe? What is dark matter?

Unit members: Toru Iijima, Makoto Tomoto, Junji Hisano, Peter Krizan (Jozef Stefan Institute), Alessandro Gaz, Kodai Matsuoka



宇宙、そして私たちの存在の起源を解明するため、世界中から才能が集まる場所、それがKMIです。

KMI is a place where talents gather from all over the world to find out the origin of the universe and our existence.



KMI

名古屋大学 素粒子宇宙起源研究所

Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe, Nagoya University

〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya Aichi 464-8602, JAPAN

www.kmi.nagoya-u.ac.jp





素粒子宇宙起源研究所

Kobayashi-Maskawa Institute
for the Origin of Particles and the Universe