

# 新たなフレーバー・フロンティアを求めて Extending the flavor frontier

## — strange and charm quarks in nuclear matter —

フィリップ・グブラー

Philipp Gubler

ハドロン原子核物理研究グループ

Research Group for Hadron Nuclear Physics



2017年12月からハドロン原子核物理研究グループにおいて卓越研究員として採用されました。卓越研究員事業の目的は「安定かつ自立して研究を推進できるような環境を実現する」となっており、自分にそのような環境が与えられようとするこゝについて大きな喜びと感謝の気持ちでいっぱいです。

もともとはスイス出身ですが、高校生のとき交換留学生として初めて来日し、大学時代もずっと日本で過ごしていました。東工大で博士号を取得し、ポスドクとして理研、ECT\*（トレント、イタリア）、延世大学（ソウル、韓国）、慶応義塾大学に在籍した後、JAEA・先端基礎研究センター（ASRC）に着任することになりました。

素粒子であるクォークを結びつける強い相互作用（Quantum Chromo Dynamics: QCD）や、強い相互作用によって形成される粒子であるハドロンの物理を中心に理論的な研究を行っています。クォークは通常単体では存在せず、ハドロンの中においてのみ観測できるという「クォークの閉じ込め」と呼ばれる性質を持っています。そのハドロンは高温・高密度状態になると閉じ込め状態が破れ、クォークと、クォークを結びつけるグルーオンという粒子からなるガス状の状態になると考えられます。この状態はクォーク・グルーオン・プラズマと呼ばれますが、ビッグバン後の宇宙の初期状態や、中性子の高密度状態である中性子星内部で実現していると考え

From December 1, 2017, I have started working at the Advanced Science Research Center as part of the Leading Initiative for Excellent Young Researchers (LEADER) program. The aim of this program is to “create an environment in which young researchers can advance research with autonomy and stability”, and I am very delighted and thankful knowing that I will be provided with such an environment here at JAEA.

I am of Swiss origin, and came to Japan for the first time during my high-school years as an exchange student. Later, I continued to stay in Japan, where I received my whole academic education. After getting my PhD at the Tokyo Institute of Technology, I worked as a postdoc at RIKEN, ECT\* (Trento, Italy), Yonsei University (Seoul, South Korea) and Keio University, after which I started to work at JAEA.

I am a theoretical physicist and my physics interests center around the strong interaction (Quantum Chromo Dynamics, QCD), which binds together the elementary particles called quarks to form hadrons. Quarks have to property of “confinement”, which means that they usually do not exist alone, but can only be observed inside hadrons. However, in an extremely hot or dense environment, confinement is lost and a gas made of quarks and gluons, which are particles that mediate

られています。

このような高温・高密度状態中においてハドロンがどのような振る舞いを示すのか、そしてその振る舞いがどのような機構と関係にあるのかなどの問題に興味があり研究を行っています。このような問題を追及するためには、様々なクォークを持つハドロンを調べることが非常に有用な手段になっています。現在の素粒子物理学では6種類のクォークが確認されています。一方で私たちの世界を構成する物質は、基本的にu(アップ)クォークやd(ダウン)クォークという比較的軽い質量のクォークから構成されています。しかし、高温・高密度状態ではこの二つのクォーク以外のクォークが存在する状態が生まれます。

その一つであるs(ストレンジ)クォークは原子核中の核子を構成しているuクォークやdクォークよりも25倍も重い自然界にはそれほど多くは存在しません。しかしながらsクォークを含んだ状態であるハイパー核原子核やクォーク4個以上からなるエキゾチックな物質は中性子星のような宇宙物理学的な物体にも影響を与える可能性があります。c(チャーム)クォークはさらにsクォークよりも10倍も重いので、通常は原子核を光速の99.9%以上に加速させて、原子核に衝突させる高エネルギー衝突実験でのみ作られます。しかし、一度作ってしまえば、クォーク・グルーオン・プラズマ生成のプロープとして非常に有用で、盛んに研究されてきました。

上に挙げた例から分かるように、sクォークやcクォークといったクォークの種類(フレーバー)を考えることで、興味深い新たな現象が引き起こされるだけでなく、高温・高密度の環境にある物質の理解も深まります。そのため、フレーバーの詳細な性質や帰結を調べるのがハドロン物理学の一つの重要な課題となっています。

JAEAで研究する大きな利点としては自分の研究と関連するいくつかの実験が計画されているJ-PARC施設へ

the strong interaction between quarks, is formed. This state is known as the quark-gluon plasma and is believed to have existed in the early universe after the big bang or inside of neutron stars, where neutrons form a state of very high density.

I'm interested in the behavior of hadrons in such a hot or dense environment and in understanding to which mechanism this behavior is related. In this context, studying hadrons with various contents can be especially helpful. According our present understanding of elementary particle physics, 6 types of quarks exist in nature. While matter that constitutes our world is made mainly from u (up) and d (down) quarks, which have a relatively small mass, a state of high temperature or density will include particles with a larger variety of quarks.

The s (strange) quark for instance is about 25 times heavier than the u and d quarks and therefore is much less abundant in nature. However, states including strange quarks such as hyperons or exotic particles with 4 or more quarks can have consequences for the properties of astrophysical objects such as neutron stars. The c (charm) quark on the other hand is more than 10 times heavier than the strange quark and can thus normally only be produced in collider experiments, where nuclei are accelerated to velocities of more than 99.9% of the speed of light. Once it is produced, it can however be highly useful as a probe for the quark-gluon plasma formation and has therefore been studied intensively.

The above examples show that considering strange and charm quark types (flavor) can lead to novel and interesting phenomena and help not only to deepen our understanding of the theory of the strong interaction (QCD), but also to study the behavior of matter in an extremely hot or dense environment. It is therefore desirable and important to study their implications in

の近さにあります。特に私が注目しているのは、クォーク2個の複合状態である中間子の核物質における変形です。私の最近の研究の一つでは、中間子の核物質中の質量変化と「核子が持つsクォーク数」の間に強い相関があることを示しました [1]。これは宇宙のダークマター探索において重要パラメータとなっています。さらに、詳細な変形パターンも調べました [2,3]。自分の理論的計算がどれくらい正しいのかが J-PARC 実験の結果で確かめられることとなりますが、この実験にかかわっている実験研究者との盛んな議論を非常に楽しみです。

上に述べた研究課題以外には、海外の共同研究者を招聘したり、国際会議を開いたりすることで ASRC の国際化にも貢献することが自分の一つの目標にしたいと考えています。

最後になりましたが、ASRC ではたくさんの面白い物理に出会えること、また皆様との楽しい会話や活発な議論ができること、心から感謝いたします。

## 参考文献 References

- [1] P. Gubler and K. Ohtani, Phys. Rev. D 90, 094002 (2014).
- [2] P. Gubler and W. Weise, Phys. Rev. Lett. B 751, 396 (2015).
- [3] P. Gubler and W. Weise, Nucl. Phys. A 954, 125 (2016).
- [4] E. Witten, Phys. Rev. D 30, 272 (1984).
- [5] K. Suzuki, P. Gubler and M. Oka, Phys. Rev. C 93, 045209 (2016).

detail and hence to extend the flavor frontier in hadron physics.

One of the great advantages of working at JAEA in Tokai-mura is the proximity to the J-PARC facility, at which a number of experiments, that are directly related to my theoretical research, will be performed. I'm particularly interested in the modification mesons, which are particles made of two quarks, in nuclear matter. In one of my recent work, I have shown that a potential mass shift of a particular meson is directly related to the number of strange quarks of the nucleon [1], which is an important parameter for dark matter searches. Furthermore, I have also studied the details of the spectral modification of this meson [2,3]. The accuracy of my theoretical prediction will be tested at an experiment at the J-PARC facility and I am very much looking forward to many fruitful discussions with the experimental colleagues at JAEA who are related to this experiment.

Besides doing research as described above, I am furthermore hoping to be able to expand and strengthen international collaborations between members of the Advanced Science Research Center and researchers from around the globe, by inviting international colleagues who work in the same field and helping to organize international workshops.

To conclude, I am looking forward to working at JAEA, to a lot of interesting physics and to many enjoyable and fruitful discussions!