



Etrangeté dans le nucléon; hadronisation des quarks en kaons à COMPASS

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 30/09/2022

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [KUNNE Fabienne](#)
+33 1 69 08 43 45
fabienne.kunne@cea.fr

Autre lien <http://wwwcompass.cern.ch/>

Résumé

Le stage consiste en une analyse de données de physique obtenues par l'expérience COMPASS au CERN. Le but est l'étude de l'hadronisation des quarks étranges en kaons, et l'extraction de fonctions de distribution et de fragmentation des partons dans le secteur de l'étrangeté.

Sujet détaillé

Les données inclusives de diffusion profondément inélastique (DIS) où un lepton (un muon par exemple) entre en collision avec un nucléon ($\mu p \rightarrow \mu' X$), sont depuis des années la source principale d'informations sur la structure du nucléon. Analysées dans le cadre de la QCD perturbative (pQCD), et avec l'ajout de seulement quelques données d'autres réactions, elles ont fourni une image complète de la distribution des différents saveurs de parton (up, down, strange...

Parton Distribution Functions, PDF). Cette image est remise en question par l'avènement de données précises du LHC, en particulier dans le secteur de l'étrangeté.

Les données DIS semi-inclusives (SIDIS), où, en plus du lepton diffusé, on détecte les hadrons sortant (par exemple : $\mu p \rightarrow \mu' p K$), ont le potentiel de fournir les éclaircissements requis. Ceci est possible grâce à " l'étiquetage " de la saveur des quarks par les hadrons (un kaon K dans l'exemple ci-dessus). La description du SIDIS dans pQCD nécessite la détermination expérimentale d'un autre ensemble de fonctions, les Fonctions de Fragmentation (FF) des quarks. Les multiplicités de hadrons (kaons, pions, protons) sont les observables requises. Elles sont ensuite analysées dans un fit pQCD simultané des PDF et FF.

L'expérience en cible fixe COMPASS au CERN a entrepris un programme de mesures de ces multiplicité, avec un accent particulier sur la production de kaons, porteurs de quarks de saveur "étrange". Le stagiaire se concentrera sur l'analyse

des données. Il se familiarisera avec les fondamentaux de la physique expérimentale: simulation du dispositif expérimental par les techniques modernes de Monte-Carlo, analyse statistique de données, comparaison avec des calculs théoriques.

Finalement, l'étudiant utilisera un logiciel existant pour extraire les Fonctions de Fragmentation des quarks et des gluons à partir des multiplicités de hadrons mesurées.

Le stagiaire sera intégré dans l'équipe COMPASS du DPhN à Saclay, qui est leader dans ce domaine de physique et a des responsabilités importantes au sein de la Collaboration à la fois dans les activités de construction de détecteurs et d'analyse de données. Du côté de la théorie, il recevra les conseils d'un théoricien du DPhN, expert des techniques pQCD utilisées entre autres par la Collaborationn NNPDF (Neural Network PDF).

Mots clés

physique hadronique, quarks, hadron, nucléon, quark étrange

Compétences

Méthodes fondamentales de la physique expérimentale: Simulation d'expérience par technique moderne de Monte-Carlo, traitement et analyse statistique de grandes quantités de données, comparaison à des calculs théoriques.

Logiciels

C++, Geant, environnement ROOT,

Strangeness in nucleon; quark hadronisation into kaons at COMPASS

Summary

We propose an internship focused on physics data analysis to extract the multiplicities of kaons produced in the COMPASS experiment at CERN. The goal is to study the hadronization of strange quarks into kaons, and extract parton distribution functions and fragmentation functions in the strange quark sector.

Full description

Inclusive Deep Inelastic Scattering (DIS) data where a lepton collides on a nucleon, have been for years the primary source of information on the structure of the nucleon. Analysed in the framework of perturbative QCD (pQCD), and with the addition of only few data from other reactions, they have provided a complete picture of the distribution of the various parton flavours (up, down, strange...) in terms of Parton Distribution Functions (PDFs). This picture is challenged by the advent of precise LHC data, in particular in the strangeness sector.

Semi-Inclusive DIS (SIDIS) data, where in addition to the scattered lepton, hadrons produced in the final state are measured, have the potential to provide the required clarification. This, thanks to the tagging of quark flavours by the outgoing hadrons. The description of SIDIS in pQCD requires the experimental determination of another set of functions, the parton Fragmentation Functions (FFs). Hadron multiplicities are the relevant observables. They are then put to best use in a simultaneous pQCD fit to PDFs and FFs.

The COMPASS fixed target experiment at CERN has undertaken a programme of measurements of these multiplicity observables, with a particular emphasis on the production of kaons, i.e. hadrons with open strangeness. The intern will focus on the analysis of data collected by COMPASS. He will learn and successfully use the fundamentals of the experimental physics: simulation of the experimental equipment by modern Monte-Carlo techniques, statistical analysis of big

samples of data, comparison with theoretical calculations. Finally, the student will use existing software to extract quark and gluon fragmentation functions from the measured hadron multiplicities.

The student will be integrated in the COMPASS DPhN Saclay team, who is a leader in this physics topics and has important responsibilities inside the collaboration both in hardware and analysis activities. On the theory side, he will receive guidance from a theoretician of DPhN Saclay, expert in the pQCD fitting techniques used by the NNPDF

(Neural Network PDF) collaboration.

Keywords

hadronic physics, quarks, hadron, nucleon, strange quark

Skills

Fundamentals methods of experimental physics: simulation of the experimental equipment by modern Monte-Carlo techniques, statistical analysis of big samples of data, comparison with theoretical calculations.

Softwares

C++, Geant, environnement ROOT,



Etude de la structure des kaons via la diffusion profondément inélastique sur de l'hydrogène

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 30/09/2022

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [KUNNE Fabienne](#)
+33 1 69 08 43 45
fabienne.kunne@cea.fr

Autre lien <http://wwwcompass.cern.ch/>

Résumé

Le stage consiste en une analyse de données de physique obtenues par l'expérience COMPASS au CERN, pour tenter d'étudier la structure des kaons via la diffusion profondément inélastique sur le "nuage de mésons" du proton, avec un "étiquetage" adéquat des particules de recul.

Sujet détaillé

Les distributions de partons (quarks 'up' et 'strange') dans le kaon, le méson étrange le plus léger, est actuellement très mal connue. La raison en est que le kaon étant instable, aucune cible de kaon n'existe. Cependant, dans des régions cinématiques spécifiques, le kaon est accessible via la diffusion inélastique profonde de leptons (ici des muons) sur des mésons kaons virtuels qui font partie du «nuage de mésons» du proton. La réaction peut être étiquetée par la détection de la particule de recul associée, ici un Lambda.

Pour un muon incident diffusé sur une cible d'hydrogène (proton p), la réaction est $\mu p \rightarrow \mu' p' \Lambda$, où le Lambda se désintègre en proton et pion ($\Lambda \rightarrow p \pi$). La détection des produits de désintégration p et pi en coïncidence avec le muon mu 'diffusé devrait donc fournir une signature du méson kaon insaisissable.

Des données acquises avec un faisceau de muons diffusé sur une cible d'hydrogène ont été collectées par l'expérience COMPASS au CERN. Les particules de recul ont été identifiées grâce à un détecteur de temps de vol. L'objectif du stage est d'utiliser les données disponibles afin d'identifier les proton et les pions de recul pour reconnaître une particule Lambda.

Mots clés

physique hadronique, quarks, hadron, nucléon, quark étrange

Compétences

Méthodes fondamentales de la physique expérimentale: Simulation d'expérience par technique moderne de Monte-Carlo, traitement et analyse statistique de grandes quantités de données, comparaison à des calculs théoriques.

Logiciels

C++, Geant, environnement ROOT,

Accessing the kaon structure using 'recoil tagged' deep-inelastic muon scattering on hydrogen

Summary

We propose an internship focused on physics data analysis to study the structure of kaons via deeply inelastic scattering on the proton 'meson cloud', with an adequate tagging of recoil particles.

Full description

The structure function of the kaon, the lightest strange meson, accounting for the momentum distribution of its up and strange quarks, is presently unknown. There is a simple reason for that: the kaon being unstable, no kaon target exists. However, in specific kinematic regions, the kaon can be accessed through the deep inelastic scattering of leptons (here muons) on virtual kaon mesons which are part of the 'meson cloud' of the proton. The reaction can be tagged by the detection of the associated recoiling particle, here a Lambda.

For an incident muon scattered on an hydrogen (proton p) target, the reaction is $\mu p \rightarrow \mu' p' \Lambda$, where the Lambda decays into a proton and pion ($\Lambda \rightarrow p \pi$). Detecting the p and pi decay products in coincidence with the scattered muon μ' should therefore provide a clear signature of the elusive kaon meson.

Data with muon beam and hydrogen target have been collected by the COMPASS experiment at CERN. Recoiling particles were detected and identified using a large Time-Of-Flight recoil detector. The objective of the internship is to use the available data in order to identify first the recoiling protons, then the recoiling pions and finally the coincidence between protons and pions that combine into a Lambda particle.

Keywords

hadronic physics, quarks, hadron, nucleon, strange quark

Skills

Fundamentals methods of experimental physics: simulation of the experimental equipment by modern Monte-Carlo techniques, statistical analysis of big samples of data, comparison with theoretical calculations.

Softwares

C++, Geant, environnement ROOT,



Détection robuste d'ondes gravitationnelles et atténuation des artefacts de prise de données

Spécialité Mathématiques appliquées

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 23/12/2022

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOUTARDE Herve](#)

+33 1 69 08 73 88

herve.moutarde@cea.fr

Résumé

Le travail proposé consiste à évaluer l'impact des artefacts présents dans le signal acquis sur l'exploitation physique des mesures du futur observatoire gravitationnel LISA.

Sujet détaillé

En 2016, l'annonce de la première détection directe d'ondes gravitationnelles a ouvert une ère durant laquelle l'univers sera sondé d'une manière inédite. Simultanément, le succès complet de la mission LISA Pathfinder a validé certaines technologies retenues pour le projet LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Cet observatoire spatial sera constitué de trois satellites éloignés de 2.5 millions de kilomètres et écoutera l'univers gravitationnel à des longueurs d'ondes cent mille fois plus grandes que celles auxquelles sont sensibles les observatoires terrestres actuels. Son lancement est prévu par l'ESA pour 2035.

A la différence des observatoires au sol, sensibles à de rares signaux d'ondes gravitationnelles et soumis à un bruit de mesure dominant, un interféromètre spatial sera en permanence alimenté par un grand nombre de signaux distincts et caractérisés théoriquement à divers degrés de précision. Les estimations actuelles des quantités et types de source envisagent entre autres 60 millions de systèmes binaires galactiques émettant de manière continue, 10 à 100 signaux annuels provenant de trous noirs supermassifs, et de 10 à 1000 signaux annuels issus de systèmes binaires avec des rapports de masses extrêmes.

Comme dans toute expérience, les données réelles seront soumises à un certain nombre de bruits et d'artefacts à prendre en compte pour optimiser le potentiel scientifique de la mission. Des périodes d'interruption de prises de données sont en effet attendues, par exemple à cause de perturbations liées à la réorientation des antennes de communication avec la Terre ou de pertes de télémétrie. Des transitoires instrumentaux dits « glitches » peuvent aussi perturber le signal mesuré et potentiellement affecter la détection d'ondes gravitationnelles.

Un enjeu clé de la préparation de la mission LISA consiste à évaluer l'impact des artefacts présents dans le signal sur l'exploitation physique des mesures. Cette étude peut avoir des conséquences pratiques sur le dimensionnement de

la mission, par exemple dans la planification des interruptions de prises de données.

Les LISA data challenges (LDC) constituent un effort collectif pour résoudre des problèmes d'analyse de données associés à LISA, stimuler le développement d'algorithmes et de codes de calcul, et démontrer la faisabilité de l'exploitation scientifique des données. Les LDC sont le cadre idéal pour évaluer sur des données simulées l'impact de la présence d'artefacts. Une attention particulière sera accordée au LDC2b dit « Spritz » contenant 1 an de pseudo-données, 36 systèmes binaires galactiques, et une certaine quantité de glitches distribués aléatoirement. Ce travail s'organisera en deux étapes :

1. L'utilisation des méthodes développées pour la gestion des données lacunaires dans LISA . Il s'agit d'identifier les glitches et de supprimer les blocs de données affectés, créant ainsi des lacunes. Deux méthodes différentes ont été proposées mais leurs performances n'ont pas encore été comparées.

2. L'étude de méthodes non-paramétriques basées sur l'apprentissage automatique de formes d'ondes en s'appuyant sur le catalogue des glitches mesurés sur LISA Pathfinder. Cette approche considère glitches et ondes gravitationnelles émises par des systèmes physiques comme deux types de signaux différents qu'on distinguera par leurs formes respectives.

Les mérites respectifs de chacune des deux étapes ci-dessus devront être évalués et comparés. En principe, la seconde approche permettrait de séparer glitches et signatures des binaires galactiques, et limiterait la perte de signal exploitable dans l'analyse des données. Une extension naturelle de ce programme de travail consisterait à traiter le cas de la fusion de trous noirs super massifs.

Dans l'ensemble, il faut préciser que si ce sujet comporte une part importante de traitement du signal et des aspects de programmation soignée, un effort devra être porté sur la physique, la compréhension fine des caractéristiques des différents signaux, et les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs de physique de la mission LISA.

Contacts :

- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
- Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Mots clés

Ondes gravitationnelles, statistiques, apprentissage automatique, représentation parcimonieuse

Compétences

Logiciels

Python

Robust detection of gravitational waves and mitigation of data acquisition artifacts

Summary

The proposed work consists in evaluating the impact of the artifacts present in the acquired signal on the physical exploitation of the measurements of the future LISA gravitational observatory.

Full description

In 2016, the announcement of the first direct detection of gravitational waves ushered in an era in which the universe will be probed in a way never before possible. Simultaneously, the complete success of the LISA Pathfinder mission validated some of the technologies selected for the LISA (Laser Interferometer Space Antenna) project. This space observatory will consist of three satellites 2.5 million kilometers apart and will listen to the gravitational universe at wavelengths one hundred thousand times greater than those to which current ground-based observatories are sensitive. Its launch is planned by ESA for 2035.

Unlike ground-based observatories, which are sensitive to rare gravitational wave signals and subject to dominant measurement noise, a space-based interferometer will be permanently fed by a large number of distinct signals, theoretically characterized to varying degrees of accuracy. Current estimates of source quantities and types envision, among other things, 60 million continuously emitting Galactic binary systems, 10 to 100 annual signals from supermassive black holes, and 10 to 1000 annual signals from binary systems with extreme mass ratios.

As with any experiment, the actual data will be subject to a number of noises and artifacts that must be taken into account to maximize the scientific potential of the mission. Periods of interruption of data taking are indeed expected, for example because of disturbances related to the reorientation of the communication antennas with the Earth or losses of telemetry. Instrumental transients called "glitches" can also disturb the measured signal and potentially affect the detection of gravitational waves.

A key issue in the preparation of the LISA mission is to assess the impact of artifacts in the signal on the physical exploitation of the measurements. This study can have practical consequences on the mission design, for example in the planning of data collection interruptions.

LISA data challenges (LDC) are a collective effort to solve LISA-related data analysis problems, stimulate the development of algorithms and computational codes, and demonstrate the feasibility of scientific exploitation of the data. LDCs are the ideal framework for evaluating the impact of artifacts on simulated data. Particular attention will be paid to the LDC2b called "Spritz" containing 1 year of pseudo-data, 36 galactic binary systems, and a certain amount of randomly distributed glitches. This work will be organized in two steps:

1. The use of the methods developed for the management of gapped data in LISA . This involves identifying glitches and removing the affected data blocks, thus creating gaps. Two different methods have been proposed but their performance has not yet been compared.
2. The study of non-parametric methods based on the machine learning of waveforms using the catalog of glitches measured on LISA Pathfinder. This approach considers glitches and gravitational waves emitted by physical systems as two different types of signals that will be distinguished by their respective shapes.

The respective merits of each of the above two steps will have to be evaluated and compared. In principle, the second approach would allow to separate glitches and signatures of galactic binaries, and would limit the loss of exploitable signal in the data analysis. A natural extension of this work program would be to treat the case of supermassive black hole mergers.

Overall, it should be noted that if this subject includes an important part of signal processing and aspects of careful programming, an effort should be made on the physics, the fine understanding of the characteristics of the various signals, and the means to be implemented for the realization of the physics objectives of the LISA mission.

Contacts:

-
- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
 - Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Keywords

Gravitational waves, statistics, machine learning, sparse representation

Skills

Softwares

Python



Détection par ondes gravitationnelles des systèmes binaires à rapport de masses extrême

Spécialité Mathématiques appliquées

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 23/12/2022

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOUTARDE Herve](#)

+33 1 69 08 73 88

herve.moutarde@cea.fr

Résumé

Le travail proposé consiste à définir des méthodes robustes de détection des systèmes binaires à rapport de masses extrême à partir de certaines de leurs caractéristiques génériques.

Sujet détaillé

En 2016, l'annonce de la première détection directe d'ondes gravitationnelles a ouvert une ère durant laquelle l'univers sera sondé d'une manière inédite. Simultanément, le succès complet de la mission LISA Pathfinder a validé certaines technologies retenues pour le projet LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Cet observatoire spatial serait constitué de trois satellites éloignés de 2.5 millions de kilomètres et permettrait la détection directe d'ondes gravitationnelles indétectables par les interféromètres terrestres. Son lancement est prévu par l'ESA pour 2035.

Les systèmes binaires à rapport de masses extrême (« extreme mass ratio inspiral » ou EMRI) consistent en un couple de trous noirs dont les masses diffèrent d'au moins 4 ordres de grandeur. Il s'agit typiquement d'un trou noir d'une dizaine de masses solaires orbitant autour d'un trou noir d'un million de masses solaires. Le corps léger agit comme une masse test sondant la géométrie de l'espace-temps au voisinage du corps le plus massif. La gamme de fréquences à laquelle l'observatoire spatial LISA sera sensible permettra de suivre cette évolution orbitale pendant des dizaines de milliers d'orbites. De telles configurations ouvrent donc la voie à des tests uniques de relativité générale en couplage fort, faisant de ces systèmes une observable d'intérêt spécifique.

A la différence des observatoires au sol, sensibles à de rares signaux d'ondes gravitationnelles et soumis à un bruit de mesure dominant, un interféromètre spatial sera en permanence alimenté par un grand nombre de signaux distincts et caractérisés théoriquement à divers degrés de précision. Le calcul précis de la signature gravitationnelle des EMRI pose encore de nombreux problèmes théoriques, mais leurs caractéristiques qualitatives générales sont connues. Définir des méthodes robustes de détection des EMRI à partir de ces caractéristiques est un enjeu important d'analyse de données pour la mission LISA.

Les LISA data challenges (LDC) constituent un effort collectif pour résoudre des problèmes d'analyse de données

associés à LISA, stimuler le développement d'algorithmes et de codes de calcul, et démontrer la faisabilité de l'exploitation scientifique des données. Les LDC sont le cadre idéal pour développer de nouvelles méthodes de détection d'EMRI et les évaluer sur des données simulées. Cet objectif peut être atteint en deux étapes :

1. L'étude des méthodes utilisées avec succès dans les LDC passés et leur reproduction sur des jeux de données récents. Ces algorithmes reposent sur l'estimation des paramètres physiques décrivant le signal émis par un EMRI.
2. L'étude de méthodes non-paramétriques utilisées pour la détection d'autres types de signaux par LISA et l'évaluation de leur pertinence dans le cas des EMRI.

Dans la mesure où la forme d'onde des EMRI n'est qu'imparfaitement connue, une approche en deux étapes, dissociant détection du signal et estimation des paramètres physiques sous-jacents, pourrait être particulièrement adaptée. De telles méthodes n'ont pas encore été explorées pour les EMRI. Elles requièrent au préalable une compréhension des caractéristiques qualitatives à rechercher pour détecter les EMRI, et l'identification des limites des méthodes paramétriques précédemment utilisées. Une difficulté supplémentaire est que LISA détectera de nombreux types de sources, ouvrant la possibilité de mélange voire de confusion entre sources.

Dans l'ensemble, il faut préciser que si ce sujet comporte une part importante de traitement du signal et des aspects de programmation soignée, un effort devra être porté sur la physique, la compréhension fine du contenu des signaux, et les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs de physique de la mission LISA.

Contacts :

- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
- Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Mots clés

Ondes gravitationnelles, statistiques, MCMC, EMRI

Compétences

Logiciels

Python

Gravitational wave detection of binary systems with extreme mass ratio

Summary

The proposed work consists in defining robust methods for the detection of binary systems with extreme mass ratio based on some of their generic characteristics.

Full description

In 2016, the announcement of the first direct detection of gravitational waves ushered in an era in which the universe will be probed in a way never before possible. Simultaneously, the complete success of the LISA Pathfinder mission validated some of the technologies selected for the LISA (Laser Interferometer Space Antenna) project. This space observatory would consist of three satellites 2.5 million kilometers apart and would allow the direct detection of gravitational waves undetectable by ground-based interferometers. Its launch is planned by ESA for 2035.

Binary systems with extreme mass ratio (EMRI) consist of a pair of black holes whose masses differ by at least 4 orders of magnitude. It is typically a black hole of about ten solar masses orbiting a black hole of one million solar masses. The light body acts as a test mass probing the geometry of space-time in the vicinity of the more massive body. The range of frequencies to which the LISA space observatory will be sensitive will allow to follow this orbital evolution during tens of thousands of orbits. Such configurations thus open the way to unique tests of general relativity in strong coupling, making these systems an observable of specific interest.

Unlike ground-based observatories, sensitive to rare gravitational wave signals and subject to a dominant measurement noise, a space interferometer will be permanently fed by a large number of distinct signals and theoretically characterized at various degrees of accuracy. The precise calculation of the gravitational signature of EMRIs still poses many theoretical problems, but their general qualitative characteristics are known. Defining robust methods for detecting EMRIs from these characteristics is an important data analysis challenge for the LISA mission.

The LISA data challenges (LDCs) are a collaborative effort to solve LISA-related data analysis problems, stimulate the development of algorithms and computational codes, and demonstrate the feasibility of scientific exploitation of the data. LDCs are the ideal setting to develop new EMRI detection methods and evaluate them on simulated data. This goal can be achieved in two steps:

1. Studying methods successfully used in past LDCs and replicating them on recent datasets. These algorithms are based on the estimation of physical parameters describing the signal emitted by an EMRI.
2. The study of non-parametric methods used for the detection of other types of signals by LISA and the evaluation of their relevance in the case of EMRI.

Since the EMRI waveform is only imperfectly known, a two-step approach, dissociating the detection of the signal and the estimation of the underlying physical parameters, could be particularly suitable. Such methods have not yet been explored for EMRI. They require an understanding of the qualitative characteristics to look for in order to detect EMRI, and the identification of the limitations of the parametric methods previously used. An additional difficulty is that LISA will detect many types of sources, opening the possibility of mixing or even confusing sources.

Overall, it should be noted that while this subject includes a significant amount of signal processing and careful programming aspects, an effort will have to be made on the physics, the fine understanding of the content of the signals, and the means to be implemented for the realization of the physics objectives of the LISA mission.

Contacts :

- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
- Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Keywords

Gravitational waves, statistics, MCMC, EMRI

Skills**Softwares**

Python