



Techniques novatrices de suppression du bruit de fond pour l'étude de la production des dileptons de prééquilibre et de Drell-Yan dans des collisions pp au LHC

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhN/LQGP](#)

Candidature avant le 04/03/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [WINN Michael](#)
+33 1 69 08 55 86
michael.winn@cea.fr

Résumé

Le Plasma de quarks et de gluons est un état de la matière sous des conditions extrêmes de température, de l'ordre de quelques centaines de MeV, qui peut être produit dans les collisions ions lourds au LHC au CERN.

L'évolution de ces collisions est décrite par l'hydrodynamique presque parfaite après une courte durée temporelle. Néanmoins, l'échelle temporelle de l'émergence de l'hydrodynamique depuis l'état initial lui-même est seulement connu approximativement à partir de considérations théoriques.

La production des dileptons au dessus d'une masse invariante de $1.5 \text{ GeV}/c^2$ est une opportunité unique pour étudier les phases initiales des collisions d'ions lourds. A des masses au delà de $5 \text{ GeV}/c^2$ dans des collisions d'ions lourds et au delà de $1.5 \text{ GeV}/c^2$ dans les collisions proton-proton, le processus Drell-Yan domine. L'étude différentielle de la production nous permet d'obtenir des informations uniques sur la structure des particules projectiles à haute énergie de collision.

Au LHC, le Drell-Yan et les dileptons du prééquilibre sont enterrés en dessous d'un bruit de fond des désintégration semi-leptoniques des particules de saveur lourde. Cette circonstance a évité toute mesure jusqu'à présent.

Le stage proposé consiste à étudier la faisabilité des techniques novatrices pour la suppression du bruit de fond rendues accessibles par la géométrie vers l'avant de LHCb et son détecteur de vertex, le Velo, dans des simulations complètes et, si disponibles, dans des données réelles.

Sujet détaillé

Au grand collisionneur de hadrons (LHC) à Genève, des collisions de noyaux de plomb sont utilisées pour créer un système thermodynamique décrit par la dynamique des fluides sous des conditions extrêmes. La température du système est suffisamment grande pour relâcher les blocs fondamentaux de la matière à une échelle subnucléonique, les quarks et les gluons. Cet état de la matière est nommé le plasma de quarks et de gluons (PQG).

Le laboratoire PQG au sein du département de physique nucléaire du CEA Saclay est fortement impliqué au LHC à

tous les niveaux de l'exploration expérimentale du PQG avec l'expérience ALICE, l'expérience dédiée aux ions-lourds au LHC, et l'expérience LHCb, l'expérience dédiée à l'étude des hadrons de saveur lourde: cas de physique, conception du détecteur, ingénierie de hardware et software et analyses de physique.

L'évolution dans l'espace-temps des collisions d'ions lourds au LHC est décrit par hydrodynamique presque parfait après une durée très courte. Néanmoins, des aspects clés des phases initiales de ces collisions sont largement inconnus. Ces caractéristiques sont cruciales pour la compréhension de l'applicabilité de l'hydrodynamique et pour la compréhension de la thermalisation de la matière en interaction forte. En particulier, l'échelle temporelle nécessaire pour l'équilibration cinétique requise pour l'applicabilité de l'hydrodynamique n'est pas contrainte par des mesures expérimentales. En plus, le processus de l'équilibre chimique qui crée des quarks à partir d'un état initial hautement dominé par des quarks n'est pas non plus contraint par des données expérimentales. Les deux processus peuvent être seulement estimés en termes d'ordre de grandeur par des considérations théoriques informées indirectement par des données expérimentales.

Dans des publications récentes, il a été mis en évidence que la production des dileptons dans la gamme de masse intermédiaire entre $1.5 \text{ GeV}/c^2$ et $5 \text{ GeV}/c^2$ est hautement sensible à l'échelle temporelle de l'hydrodynamisation et de l'équilibration chimique [1]. C'est le seul accès expérimental à la phase d'hydrodynamisation des collisions d'ions lourds.

En plus, le LHC fournit des faisceaux de protons et d'ions lourds de haute énergie. Ils permettent d'accéder à la structure hadronique des projectiles à des fractions d'impulsion très petites et, en même temps, à des échanges de quadri-impulsions relativement grands. Cette configuration permet donc de conduire des calculs perturbatifs qui nous autorisent à accéder à l'information de la structure hadronique à très basse impulsion longitudinale.

Le processus théoriquement le mieux compris dans des collisions hadroniques est la production des paires de dileptons, le processus Drell-Yan. A l'échelle de la resonance Z, des mesures de précision ont déjà permis de contraindre la distribution des partons à l'intérieur du proton. Par contre, jusqu'à présent, il n'y a pas eu de mesure descendant jusqu'à $3 \text{ GeV}/c^2$ à un collisionneur de hadrons, malgré la motivation théorique de tester les partons avec des fraction d'impulsion longitudinale faible.

En effet, à des masses en dessous d'environ $30 \text{ GeV}/c^2$, des désintégrations semileptoniques de hadrons de saveur lourde commencent à dominer la production de dileptons. Ce processus a occulté chaque tentative d'extraire la production de Drell-Yan descendant jusqu'à $3 \text{ GeV}/c^2$ et de mesurer la production des dileptons prompts produits par le PQG et par le prééquilibre aux collisionneurs de hadrons.

Dans ce stage, la faisabilité des techniques novatrices de suppression du bruit de fond basées sur la séparation de vertex par LHCb grâce à son détecteur de vertex Velo et au boost longitudinal fournit par la géométrie vers l'avant seront étudiées dans les collisions proton-proton. Des simulations réalistes du détecteur et, si disponibles, des données réelles seront utilisées.

Ce travail constituera le point de départ de l'analyse des données proton-proton en 2024 avec l'objectif d'une première mesure de Drell-Yan jusqu'aux basses masses. Cette mesure est une première étape pour l'exploitation des mêmes techniques dans des collisions d'ions lourds et proton-ion avec LHCb.

[1] Intermediate mass dileptons as pre-equilibrium probes in heavy ion collisions Maurice Coquet(IRFU, Saclay, DPHN), Xiaojian Du(Bielefeld U.), Jean-Yves Ollitrault(IPhT, Saclay), Soeren Schlichting(Bielefeld U.), Michael Winn(IRFU, Saclay, DPHN), Phys.Lett.B 821 (2021) 136626, arXiv:2104.07622 [nucl-th]

Mots clés

Physique des particules; QGP, hadron structure, LHC, Drell-Yan, electromagnetic radiation

Compétences

Cinématique relativiste, programmation, simulations de MC

Logiciels

C++

Novel techniques of background rejection for the study of preequilibrium dileptons and low-mass Drell-Yan production in pp collisions with LHCb at the LHC

Summary

Novel techniques of background rejection for the study of preequilibrium dileptons and low-mass Drell-Yan production in pp collisions with LHCb at the LHC

The Quark Gluon Plasma is a state of matter under extreme conditions of temperature of the order of few hundreds of MeV, which can be created in heavy-ion collisions at the LHC at CERN. The evolution of these collisions is described by close-to-ideal hydrodynamics after a short lapse of time. However, the time scale of the emergence of hydrodynamics from the initial state itself is only known approximately from theoretical considerations.

Dilepton production above an invariant mass of $1.5 \text{ GeV}/c^2$ is a unique window into the early stages of heavy-ion collisions. At higher masses, above about $5 \text{ GeV}/c^2$ in heavy-ion collisions and above about $1.5 \text{ GeV}/c^2$ in proton-proton collisions, the Drell-Yan process dominates. The investigation of its differential production can provide unique information on the structure of the projectiles at high collision energies.

At the LHC, the Drell-Yan and the preequilibrium dileptons are buried below a large background from semileptonic decays of heavy-flavour hadrons, preventing, so far, any measurement.

The proposed internship consists of studying the feasibility of novel techniques of background rejection, enabled by the forward geometry of LHCb and its vertex detector, in full simulations and, if available by the time of the internship, in real data.

Full description

At the Large Hadron Collider (LHC) at Geneva, collisions of lead nuclei are used to create a thermodynamic system described by fluid dynamics under extreme conditions. The temperature of the short-lived system is sufficiently large in order to release the building blocks of matter at a subnucleonic scale, quarks and gluons. This state of matter is commonly called Quark Gluon Plasma (QGP).

The QGP laboratory inside the department of nuclear physics of CEA Saclay is actively involved at all levels of experimental exploration of the QGP with the ALICE experiment, the dedicated heavy-ion experiment at the LHC, and the LHCb detector, the dedicated experiment for the study of heavy-flavour hadrons: physics case, detector conception for future upgrades, hardware and software engineering, and physics analysis.

The space-time evolution of heavy-ion collisions at the LHC is described by close-to-ideal hydrodynamics after a short lapse of time. However, key features of the early stages of these collisions are largely unknown. These characteristics are crucial to understand the applicability of hydrodynamics and to understand thermalisation of a strongly interacting system. In particular, the time scale necessary for kinetic equilibration, required for the applicability of hydrodynamics, is not constrained by direct experimental measures. In addition, the chemical equilibration process creating quarks from an initially largely gluon dominated system is largely unconstrained by experimental data. Both processes time scales can be only estimated by order of magnitude from theoretical considerations informed indirectly by experimental data.

In recent publications, it was pointed out that the dilepton production in the intermediate mass scale between 1.5 and $5 \text{ GeV}/c^2$ is highly sensitive to the hydrodynamisation time scale and the chemical equilibration process [1]. This is the only direct experimental access to the hydrodynamisation stage of heavy-ion collisions.

In addition, the LHC provides highly energetic proton and heavy-ion beams. They allow to access the hadronic structure of the projectiles at very small fractional longitudinal momenta and at the same time still relatively large four momentum transfers. This configuration enables, hence, perturbative calculations to extract hadron structure information at very small fractional longitudinal momenta.

The theoretically best understood process in hadronic collisions is the production of dilepton pairs, the so-called Drell-

Yan process. At the Z resonance, precision measurements already allowed precise constraints of parton distributions inside the proton. However, so far, no measurement down to 3 GeV/c² at a hadron collider has been published despite its theoretical motivation to test the lowest fractional momenta.

In fact, at masses below around 30 GeV/c², semileptonic decays of heavy-flavour hadrons start to dominate the dilepton production. This process has obscured any attempt to extract Drell-Yan production down to 3 GeV/c² as well as prompt dileptons produced by the QGP and the preequilibrium at hadron colliders.

In this internship, the feasibility of novel background rejection techniques employing the vertex separation power of LHCb via its vertex locator and the longitudinal boost given by the forward geometry of LHCb will be studied in the dimuon channel in proton-proton collisions. Realistic detector simulations and, if available, real data will be used to study the sensitive observables.

This work will constitute the starting point for the analysis of the proton-proton data that will be taken in 2024 with the goal of a first Drell-Yan measurement down to low masses. This measurement is a first step towards the exploitation of the same techniques in proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions with LHCb.

The student will familiarise himself with the physics of hadron structure, the QGP, basic c++ and python programming, the fundamentals of detector physics, simulation, data analysis, and uncertainty estimation. The work will be based on Monte Carlo simulations and analysis tools provided within the LHCb collaboration.

[1] Intermediate mass dileptons as pre-equilibrium probes in heavy ion collisions Maurice Coquet(IRFU, Saclay, DPHN), Xiaojian Du(Bielefeld U.), Jean-Yves Ollitrault(IPhT, Saclay), Soeren Schlichting(Bielefeld U.), Michael Winn(IRFU, Saclay, DPHN), Phys.Lett.B 821 (2021) 136626, arXiv:2104.07622 [nucl-th]

Keywords

Particle physics; QGP, hadron structure, LHC, Drell-Yan, electromagnetic radiation

Skills

Relativistic kinematics, programming, MC simulations

Softwares

C++