Laboratoire de physique subatomique et des technologies associées
Unité Mixte de Recherche 6457
IMT Atlantique – CNRS / Nucléaire & Particules – Nantes Université

Proposition de stage de Master 2

2026-2027

(English version below)

Title : Investigation de la double diffusion des partons avec la mesure simultanée d'un jet et d'un quarkonium avec l'expérience ALICE

Responsable du stage : Kara Mattioli – Maître de Conférences à Nantes Université

Adresse : 4 rue Alfred Kastler - La Chantrerie - BP 20722 - 44307 Nantes Cedex 3

Téléphone : +33 (0)2 51 85 84 85

Mail : mattioli@subatech.in2p3.fr

Durée de stage : 4 à 6 mois

Description du stage :

La plupart des mesures dans les collisions hadroniques sont basées sur l'hypothèse que seuls deux partons, un provenant de chaque proton ou ion entrant en collision, interagissent pour créer l'état final mesuré. Dans de nombreux cas, cette hypothèse, appelée la diffusion à un seul parton (Single Parton Scattering ou SPS) est valide. Cependant, il est possible et même attendu que plusieurs partons puissent interagir simultanément, menant à la formation du même état final. Cette contribution est appelée la double diffusion de partons (Double Parton Scattering ou DPS)[1,2].

Le DPS est intéressant pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit de la première étape dans l'étude plus générale des interactions multi-partoniques en chromodynamique quantique (QCD), la théorie quantique de l'interaction forte. Ces interactions simultanées entre plusieurs partons (quarks et gluons) sont attendues en grand nombre dans les collisions d'ions lourds, puisque ces dernières présentent de hautes densités partoniques menant à la formation d'un état unique de la matière, le plasma de quarks et de gluons (QGP). Ainsi, une meilleure compréhension des processus DPS dans les collisions proton-proton et proton-noyau contribuera à caractériser les interactions multi-partons dans un milieu nucléaire froid (où en principe aucune formation du QGP n'est attendu) mais constituera également une base à l'étude de ces interactions dans le QGP. L'étude du DPS offre également l'opportunité d'approfondir notre compréhension de la structure complexe des hadrons. En mesurant les hadrons produits dans ces processus, il est possible d'accéder aux corrélations entre les partons ayant interagi, lesquelles sont décrites théoriquement par les fonctions appelées Double Parton Distributions (DPDs) et Double Parton Transverse Momentum Distributions (DTMDs)[3,4]. Ces distributions doivent être contraintes avec les mesures expérimentales.

Afin d'étudier efficacement les processus DPS, il est nécessaire d'éviter autant que possible d'être contaminé par les processus SPS. Pour cela, il faut identifier une sonde ou un état final dont la production est peu probable via le SPS, mais qui survient plus facilement en présence de deux interactions partoniques simultanées. Ce stage propose une étude d'un nouvel état final pour étudier le DPS, celle d'un jet en coïncidence avec un quarkonium. Un jet est un groupe de particules créées lorsqu'un quark s'hadronise à haute énergie, et un quarkonium est un hadron composé d'un quark et de son anti-quark. L'étude sera réalisée avec les données du Run 3 de l'expérience ALICE, où le jet est reconstruit dans le détecteur central de l'expérience et le quarkonia dans la région avant grâce au spectromètre à muon.

Le candidat sélectionné travaillera sur le développement du code d'analyse permettant le calcul des distributions cinématiques du jet et du quarkonia, ainsi que des observables sensibles pour distinguer la contribution SPS de celle du DPS. Le candidat pourra ainsi comparer ces distributions entre les données et la simulation afin d'estimer les contributions relatives du SPS et DPS. Les évènements issus du processus SPS sont intéressants pour mieux comprendre le mécanisme de formation des quarkonia, qui reste encore une question ouverte en QCD. Les évènements issus du processus DPS sont intéressants pour mieux comprendre les interactions multi-partons en QCD et d'approfondir notre compréhension de la structure des hadrons. Cette étude servira d'étape importante pour une future mesure avec les données Run 3 d'ALICE.

[1]Nuov. Cim. A **70**, 215 (1982) [2]PRD **83**, 016012 (2011) [3]PRD **83**,114047 (2011) [4]JHEP **01**,044 (2018)

Laboratoire de physique subatomique et des technologies associées
Unité Mixte de Recherche 6457
IMT Atlantique – CNRS / Nucléaire & Particules – Nantes Université

Proposal for a Master 2 internship

2026-2027

Title : Investigating double parton scattering with the simultaneous measurement of a jet and a quarkonium with the ALICE detector

Internship supervisor : Kara Mattioli – Assistant Professor at Nantes Université

Address : 4 rue Alfred Kastler - La Chantrerie - BP 20722 - 44307 Nantes Cedex 3

Telephone : +33 (0)2 51 85 84 85

Mail : mattioli@subatech.in2p3.fr

Internship duration : 4 to 6 months

Description of the internship project:

The majority of measurements in hadronic collisions are based on the assumption that only two partons, one originating from each proton or ion entering the collision, interact to create a measured final state. In many cases, this hypothesis, known as Single Parton Scattering (SPS) is valid. However, it is possible and even expected that multiple partons can interact simultaneously, leading to the formation of the same final state. This second contribution is known as Double Parton Scattering (DPS) [1,2].

DPS is interesting for several reasons. First of all, it constitutes the first step towards a more general understanding of multi-partonic interactions in Quantum Chromodynamics (QCD), the quantum field theory of the strong interaction. These simultaneous interactions between multiple partons are expected to happen frequently in heavy ion collisions, since these collisions have very large partonic densities which result in the formation of a unique state of matter, the Quark Gluon Plasma (QGP). A better understanding of DPS in proton-proton and proton-nucleus collisions would therefore not only lead to an improved knowledge of multi-parton interactions in cold nuclear matter (where in principle no QGP formation is expected) but would also serve as a reference for the study of these interactions in QGP. Studying DPS also allows for the opportunity to deepen our knowledge of hadron structure. By measuring hadrons produced in DPS, it is possible to access information about the correlations between the partons that interacted, which are theoretically described by functions called Double Parton Distributions (DPDs) and Double Parton Transverse Distributions (DTMDs) [3,4]. These functions are poorly known at present and must be constrained from experimental data.

In order to study DPS, it is necessary to avoid as much as possible any contamination from the SPS contribution. This means in practice that one must find a probe, or final state, whose production is unlikely via SPS, but would be more likely to occur with two simultaneous partonic interactions. This internship proposes a study of a new channel expected to be sensitive to DPS, that of a jet measured in coincidence with a quarkonium. A jet is a group of particles produced when a quark hadronizes at high energy, while a quarkonium is a hadron composed of a quark and its anti-quark. The study will be performed using Run 3 data from the ALICE experiment, where the jet is reconstructed in the central ALICE detector and the quarkonium in the forward region with the muon spectrometer.

The successful candidate will work on the development of an analysis code to calculate kinematic distributions of the jet and the quarkonium, as well as observables sensitive to distinguishing between the SPS and DPS processes. The candidate will then be able to compare the distributions measured in data and Monte Carlo simulation in order to obtain an estimate of the relative SPS and DPS contributions in the data sample. The SPS contribution is of interest for better understanding the mechanisms of quarkonium production, which is still an open question and active area of research in QCD. The DPS contribution is of interest for better understanding hadron structure and simultaneously advancing our knowledge of multi-partonic interactions in QCD. The study performed during this internship will serve as a crucial step for a future measurement using ALICE Run 3 data.

[1]Nuov. Cim. A **70**, 215 (1982) [2]PRD **83**, 016012 (2011) [3]PRD **83**,114047 (2011) [4]JHEP **01**,044 (2018)