

MIAI-Cluster

Stage de Master 2 : Intelligence Artificielle et recherche d'anomalies dans les données de physique de particule au LHC

Contexte

Le **Grand collisionneur de hadrons (LHC)** au CERN est le plus grand accélérateur de particules au monde. L'expérience **ATLAS** y enregistre d'immenses volumes de données issues de collisions proton–proton à très haute énergie. Ces données permettent de tester les modèles fondamentaux de la physique des particules et de rechercher des phénomènes encore inconnus.

Une des pistes les plus prometteuses pour découvrir de la **nouvelle physique** est la recherche de **particules à longue durée de vie (LLP, Long-Lived Particles)**. Ces particules exotiques pourraient laisser dans les détecteurs des signatures atypiques, difficiles à identifier par les méthodes classiques. Ce défi exploite des **techniques avancées d'apprentissage automatique**, capables de repérer des motifs rares et complexes dans des données de grande dimension.

Objectif du stage

Le stage portera sur l'exploration d'une méthode récente appelée **DarkCLR** ([arXiv:2312.03067](https://arxiv.org/abs/2312.03067)), une approche d'apprentissage contrastif (*contrastive learning*) adaptée à la recherche d'anomalies dans les données du LHC. L'objectif sera :

1. De **reprendre et comprendre la méthode DarkCLR**, basée sur des modèles de type *transformer* et sur l'apprentissage auto-supervisé.
2. D'**appliquer cette méthode à des jeux de données publiques** en physique des particules et d'évaluer ses **performances**.
3. De **proposer et tester des améliorations** méthodologiques, par exemple en modifiant l'architecture du réseau, la fonction de contraste ou le schéma d'entraînement.

Le stagiaire travaillera dans un environnement interdisciplinaire, à l'interface entre **IA, analyse de données et physique fondamentale**. Le stage est financé par le MIAI-Cluster.

Compétences requises

De solides bases en programmation Python sont demandées, ainsi qu'une expérience pratique avec des bibliothèques de **deep learning** (PyTorch, TensorFlow, etc.). La connaissance des **transformers** ou des approches d'**apprentissage contrastif** est appréciée. **Aucune** connaissance préalable en physique des particules n'est requise : les concepts nécessaires seront introduits pendant le stage.

Encadrement

Vincent BARRA (LIMOS): vincent.barra@isima.fr, +33 4 73 40 74 92
Julien DONINI (LPCA): julien.donini@uca.fr, +33 4 73 40 73 02
Université Clermont Auvergne / INP

MSc Internship – Artificial Intelligence and anomaly detection for New Physics Searches at the LHC

Context

The **Large Hadron Collider (LHC)** at CERN is the world's largest particle accelerator. The **ATLAS experiment** records enormous volumes of data from high-energy proton–proton collisions. These data allow scientists to test the foundations of particle physics and to search for phenomena that go beyond the **Standard Model**.

One particularly promising avenue is the search for **long-lived particles (LLPs)** — exotic particles that could travel a measurable distance before decaying, leaving unusual signatures in the detector. Detecting such rare and complex patterns is a major challenge, and it motivates the use of **advanced machine learning techniques** capable of uncovering subtle anomalies in high-dimensional data.

Objective of the internship

The internship will focus on exploring a recent approach called **DarkCLR** (arXiv:2312.03067), which applies **contrastive learning** methods to anomaly detection in LHC data.

The main goals are:

1. **Understand and reproduce the DarkCLR method**, which is based on self-supervised learning and transformer-like architectures.
2. **Apply the method to publicly available particle physics datasets**.
3. **Propose and evaluate improvements** to the original approach, such as modifying the model architecture, the contrastive loss, or the training strategy.

The intern will work in an interdisciplinary environment at the intersection of **artificial intelligence**, **data analysis**, and **fundamental science**.

Required skills

- Strong programming skills in **Python**. Experience with **machine learning / deep learning libraries** (e.g., PyTorch, TensorFlow). Familiarity with **transformers** or **contrastive learning** is an asset.
- **No prior knowledge of particle physics** is required — all necessary concepts will be introduced during the internship.

Supervision

Vincent BARRA (LIMOS): vincent.barra@isima.fr, +33 4 73 40 74 92
Julien DONINI (LPCA): julien.donini@uca.fr, +33 4 73 40 73 02
Université Clermont Auvergne / INP