کاربرد یادگیری ماشین در فیزیک ذرات بنیادی تجربی

CML

QML

محمدحسین کرم‌سیچانی (ارشد)

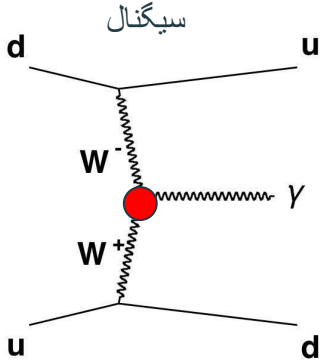
محمد مهدی حاجی مقصود (ارشد)

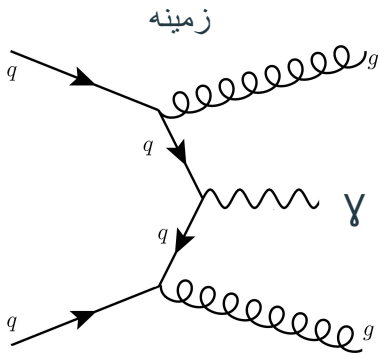
زهره بهاریون (ارشد)

سعید قاسمی (کارشناسی کامپیوتر)

پریچهر کنگازیان (دکتری) (ارائه دهنده)

استفاده از یادگیری ماشین در تشخیص فوتون ناشی از همجوشی الکتروضعیف





اهمیت فرآیند:

- فرآیندی کاملا از مدل استاندارد که به انحراف از آن بسیار حساس است
  - احتمال رخ داد بسیار کم اما در دسترس
  - برهمکنش سه گانه بوزون‌های پیمانه‌ای – حساس به فرای مدل استاندارد
- ذرات خروجی رایج اما منحصر به فرد
  - علامت مهم فرآیند: دو جت کوارکی، مستقل از بوزون نهایی

چالش‌ها:

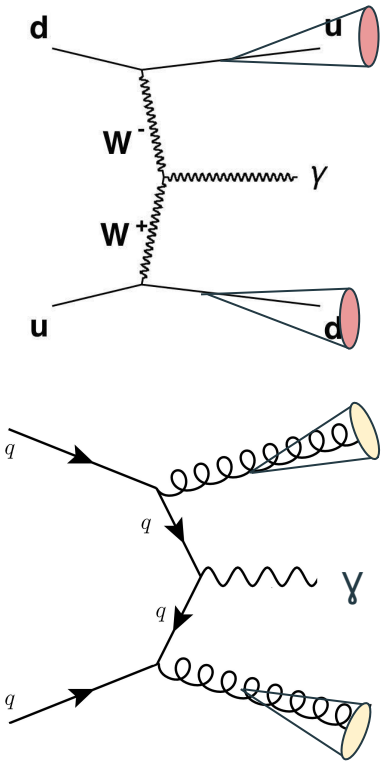
- پس زمینه‌ای چالش برانگیز، نیازمند شبیه سازی در مرتبه های بالاتر اختلال
- تفکیک فرآیند اصلی از پس زمینه با استفاده از کمیت‌های مناسب

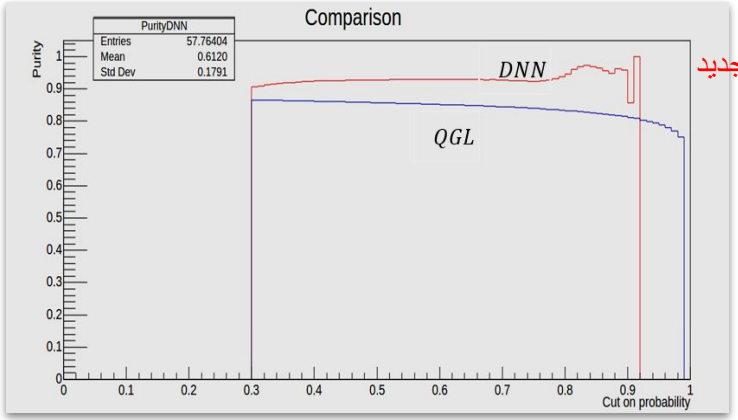
هدف:

- اندازه‌گیری سطح مقطع فرآیند در SM (همراه با عدم قطعیت)
- تعیین حساسیت به فیزیک جدید در راس γWW با توجه به عدم قطعیت این اندازه گیری

منشاء جت: یکی از عوامل قوی تفکیک سیگنال و زمینه

- در طراحی شبکه عصبی، یکی از عوامل بسیار موثر در تشخیص سیگنال تشخیص منشاء جت‌هاست.
- با توجه به اینکه در آشکارساز صرفا محصولات جت دیده می‌شوند، این کار پیشتر تقریبا غیرممکن بود
- اخیرا شبکه‌های عصبی عمیق و گرافیک توان ویژه‌ای در این زمینه ایجاد کرده‌اند.
- مطالعات ما نشان دهنده بهبود نتایج تشخیص سیگنال در صورت استفاده از روش‌های جدید تشخیص جت نسبت به روشهای گذشته است



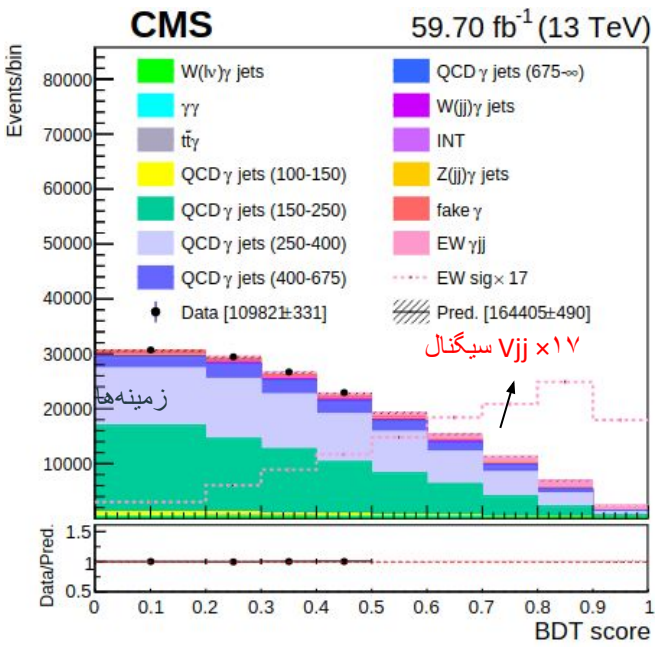


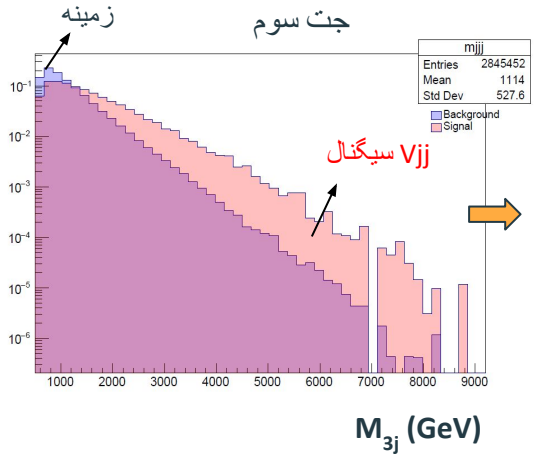
شبکه‌های عصبی در برابر شیوه‌های سنتی نظیر درخت تصمیم

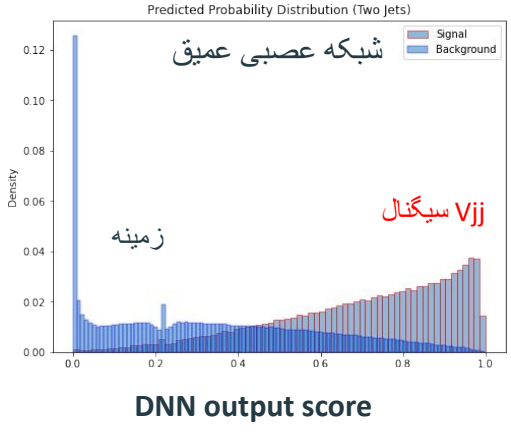
تفکیک نیازمند روش‌های **چند متغیره** (multivariate) است

- روش سنتی: درخت تصمیم
- روش جدید با امکان یادگیری بهتر همبستگی میان متغیرها
  - یادگیری ماشین
  - استفاده از ویژگیهای جت سوم
  - مقایسه قدرت تفکیک با شیوه درخت تصمیم

درخت تصمیم





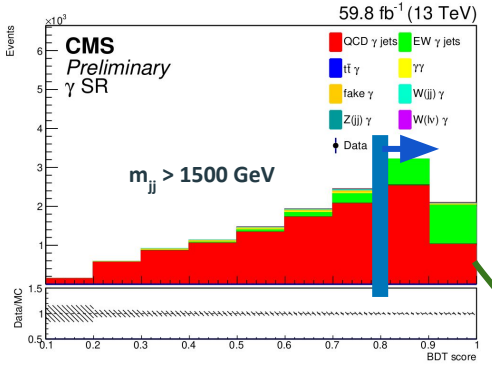


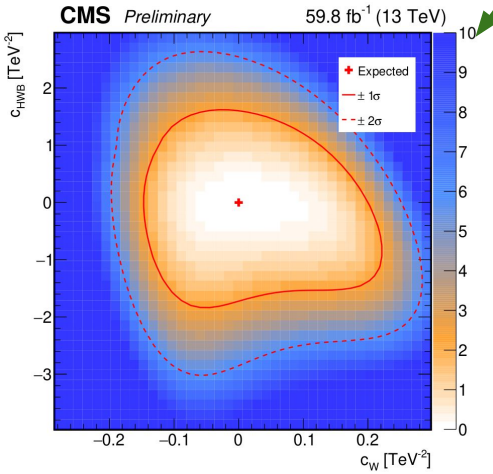
فیزیک جدید در برهمکنش WWγ با نظریه میدانهای موثر

توسعه لاگرانژی استاندارد راس WWV با ضرایب EFT

$$-ig_{WWV}\left[g_1^V\left(W_{\mu\nu}^+W^{-\mu}V^\nu - W_{\mu\nu}^-W^{+\mu}V^\nu\right) + \kappa_V W_\mu^+ W_\nu^- V^{\mu\nu}\right] - i\lambda_V V^{\mu\nu}W_\nu^{+\rho}W_{\rho\mu}^-$$

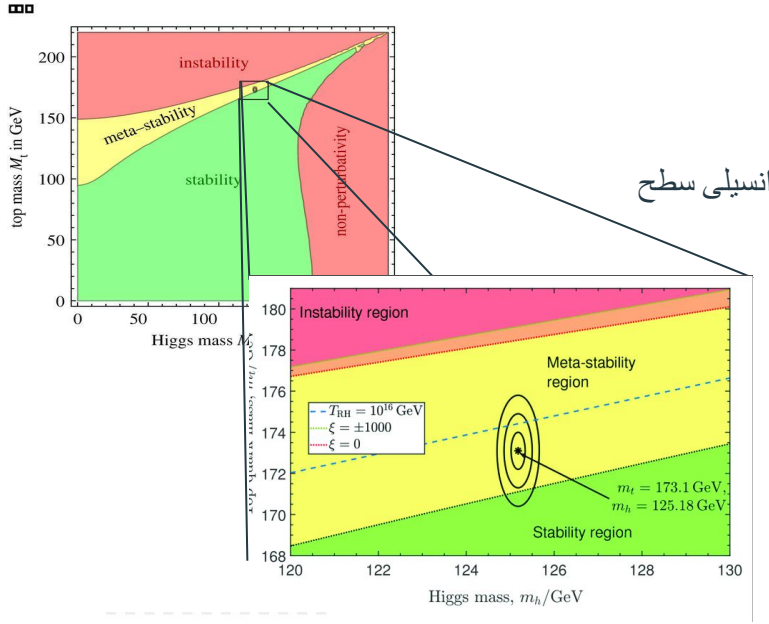
g_1^γ	1	g_1^Z	$1-\frac{v^2}{4c_{2\theta}}\left(C_{HD}+4C_{Hl}^{(3)}-2C_{ll}+4t_\theta C_{HWB}\right)$
κ_γ	$1+\frac{v^2}{t_\theta}C_{HWB}$	κ_Z	$1-\frac{v^2}{4c_{2\theta}}\left(C_{HD}+4C_{Hl}^{(3)}-2C_{ll}+4s_{2\theta}C_{HWB}\right)$
λ_γ	$6C_W s_\theta$	λ_Z	$6C_W c_\theta$

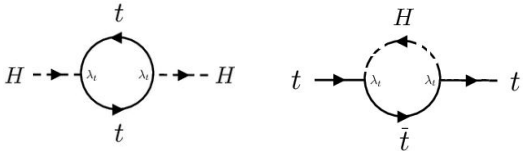




- بررسی جفت شدگی های C_W و C_{HWB}
- برش های EFT
  - جرم ناوردای دو جت m_{jj} >1500 GeV و BDT > 0.8
- **شبکه عصبی برای جدا سازی EFT از مدل استاندارد**
  - بررسی همزمان حساسیت به هردو جفت شدگی
  - قویترین حدها تا کنون روی C_{HWB}

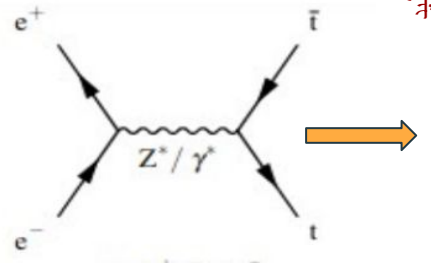
اندازه‌گیری دقیق جرم کوارک تاپ، انگیزه شتابگرهای آینده

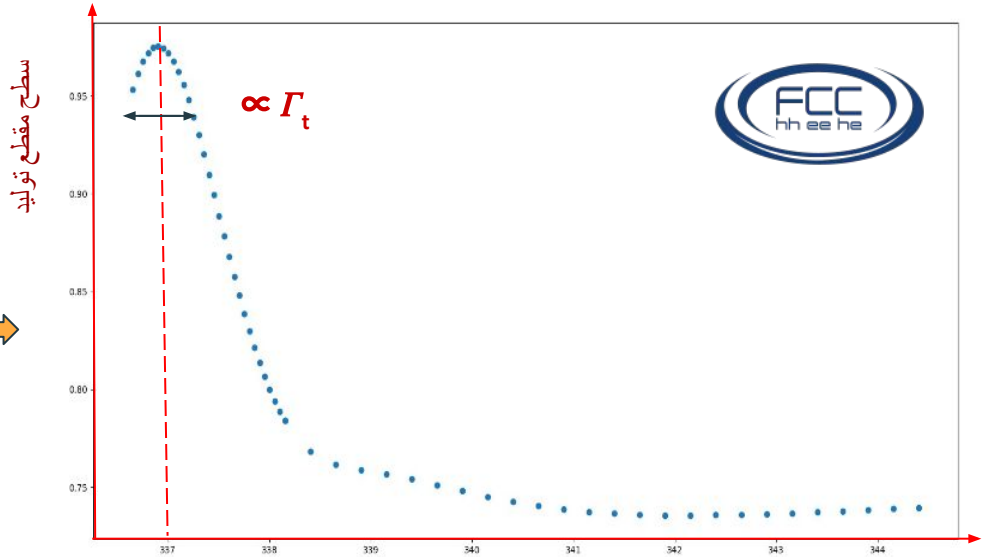




- کوارک تاپ قویترین جفتیدگی با بوزون هیگز را دارد
  - جرم اینو در تصحیحات کوانتومی برهم اثر زیادی دارند
- اندازه‌گیری جرم انتشارگری کوارک تاپ (pole mass) با استفاده از اندازه‌گیری دیفرانسیلی سطح مقطع میسر است
  - برهمکنش‌های رنگی: عدم قطعیت ذاتی این اندازه گیری در برخورد پروتونها
  - برخورد لپتون‌ها: محیطی بدون رنگ!
- انرژی مرکز جرم برخورد: دوبرابر جرم کوارک تاپ
  - امکان اندازه‌گیری همزمان جرم و پهنای واپاشی با تنظیم انرژی برخورد

اندازه‌گیری دقیق جرم کوارک تاپ، انگیزه شتابگرهای آینده





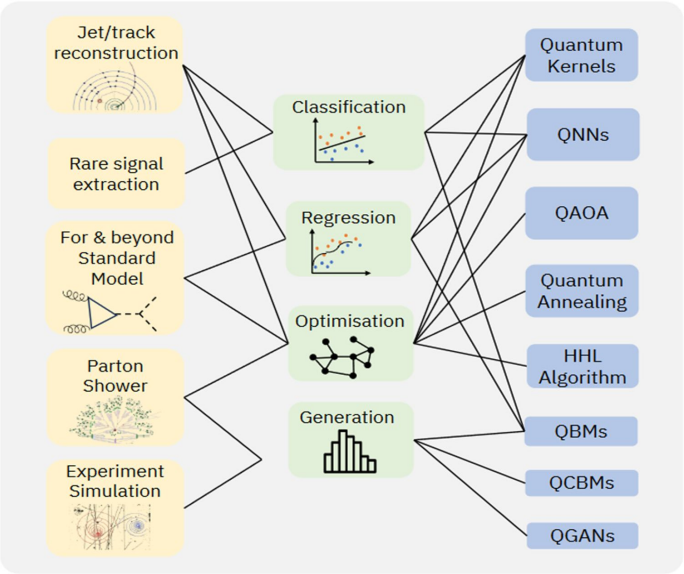
انرژی مرکز جرم در برخورد لپتونها

تعیین عدم قطعیت **جرم** و **پهنای** کوارک تاپ با مطالعات واقع‌گرایانه (با اثر آشکارساز) و در مرتبه سوم اختلال رنگی

جهت گزارش به کمیته اروپایی شتابگرهای آینده

زهره بهاریون (ارشد)

محاسبات کوانتومی در فیزیک انرژی‌های بالا



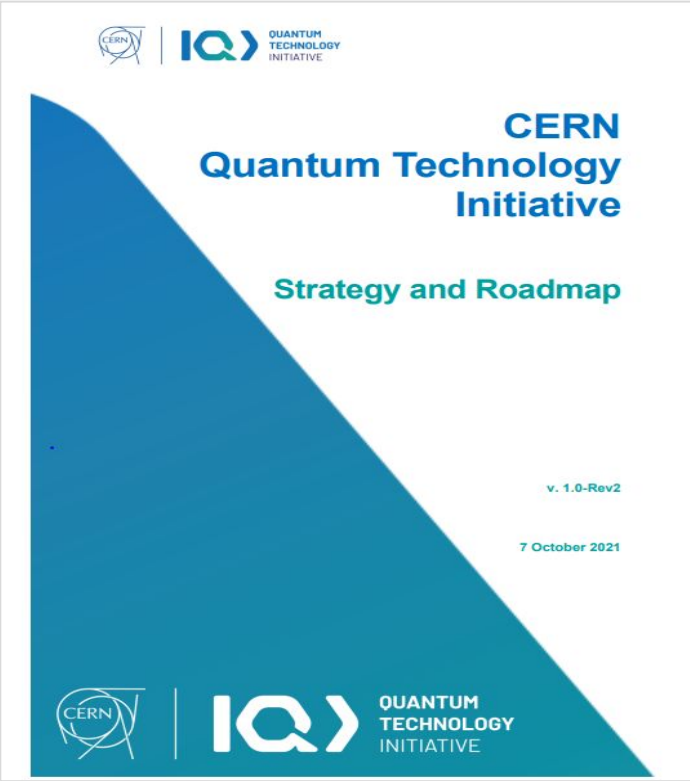
بخش نظری

- مطالعه‌ی عددی نظریه میدان های کوانتومی
- شبیه سازی همیلتونی
  - بررسی دینامیک های غیر تعادلی
  - بررسی ویژگی های مواد هسته ای با چگالی فرمیونی بالا
  - بررسی نظریه هایی با ترم توپولوژیک

بخش تجربی

- افزایش سرعت
- حساسیت بیشتر به همبستگی داده ها
  - کمک به آنالیز بهتر داده های آزمایشگاهی

محاسبات کوانتومی در فیزیک ذرات تجربی در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان

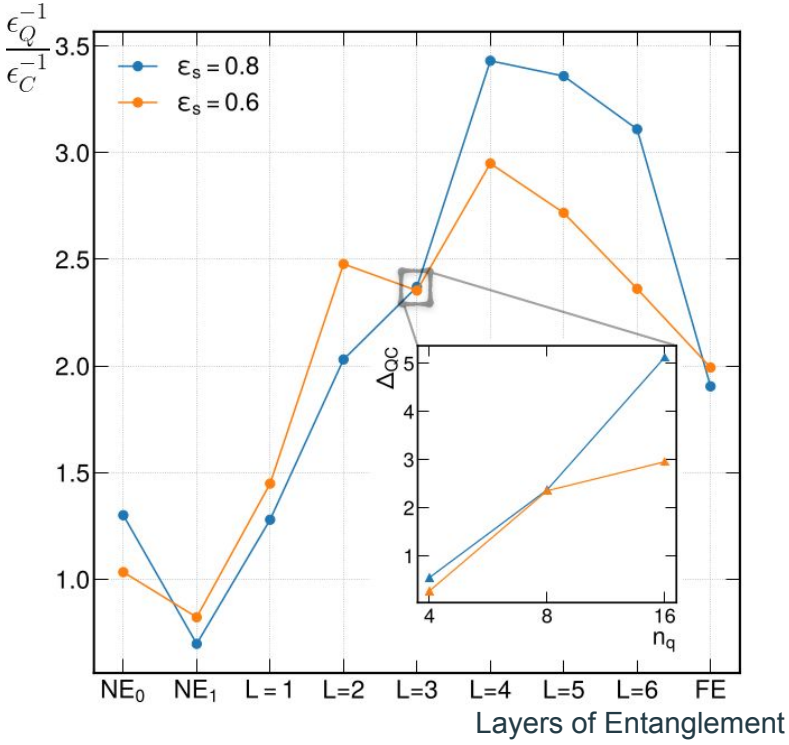


هدف گذاری سرن برای استفاده ار تکمولوژی کوانتومی

مطابق نقشه راه سرن برای فن‌آوری کوانتومی

- تشکیل گروه
- برگزاری جلسات هفتگی منظم
- تعریف پروژ‌های مرتبط و پیش‌برد آن‌ها

تشخیص ناهنجاری با یادگیری ماشین کوانتومی

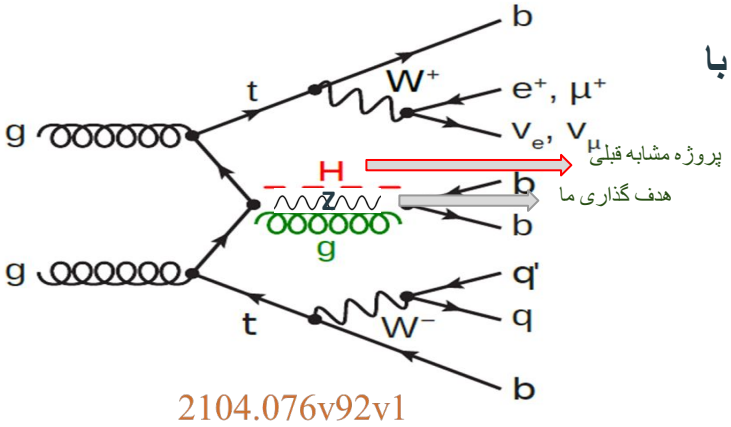


- تشخیص ناهنجاری های فرای مدل استاندارد(BSM) از پس‌زمینه QCD
- یادگیری بدون نظارت و عدم وابستگی تفکیک به مدل فرآیند
- بازتولید نتایج مقاله 2301.10780v2
- ارزیابی عملکرد با کدگذاری معنی‌دارتر در گام بعدی

مطالعه اثر QML برای تشخیص سیگنال $t\bar{t}Zb\bar{b}$ وقتی $Z \to b\bar{b}$

- در مقادیر بالای تکانه Z. بسیار به فیزیک جدید حساس است.
- $Z \to \bar{b}b$ بیشترین واپاشی شاخه‌ای را دارد.

استفاده از QML در جداسازی سیگنال از پس زمینه‌ی $t\bar{t}b\bar{b}$ بهینه‌سازی تشخیص جت پرانرژی $Z \to b\bar{b}$ با استفاده از QML



2104.076v92v1

- **برای شروع این پروژه در حال حاضر در حال آشنایی با پروژه‌های نسبتا مشابه قبلی هستیم**

از توجه شما سپاس‌گزاریم.

Backup

اندازه گیری درخشندگی ، بوسیله ی بوزون Z در واپاشی به الکترون

- تولید بوزون Z درLHC بسیار با اهمیت است از این جهت که با سطح مقطع بزرگ تولید میشود و واپاشی آن به دو الکترون یک فرآیند مشخص است چرا که در آشکارسازCMS به راحتی شناسایی میشود .

- حضور الکترون در قسمت TRACKER و Electromagnetic Calorimeter آشکار ساز CMS

- داده های مربوط به برخورد پروتون-پروتون(2022زمستان) در انرژی مرکز جرم 13Tev، و با شبیه سازی مونته کارلو در دسترس است.

- یکی از اهداف اصلی این کار اندازه‌گیری تعداد تصحیح شده بازده بوزون‌های Z تولید شده در یک بازه زمانی معین با دقت بالا است. که شامل بازده trigger (HLT) و بازده identification (ID) است .

- همچنین میتوانیم تابعیت بازده را بر اساس پارامتر های مهم رویداد مثل تعداد پایل آپ و تعداد رئوس اولیه بررسی کنیم . (با افزایش تعداد پایل آپ و رئوس اولیه میزان بازده کاهش میابد.)

- فاکتور همبستگی بین دو الکترون واپاشی شده ازZ نشان دهنده ی این موضوع است که انتخاب اینکه به طور مثال الکترون اولHLT را پاس کرده باشد ، چه میزان روی انتخاب الکترون دوم تاثیر گذار است.

یادگیری ماشین در شناخت منشاء جت ها به عنوان ابزاری مهم در اندازه گیری دقیق مدل استاندارد فیزیک ذرات

اهمیت شناخت منشا جت ها:

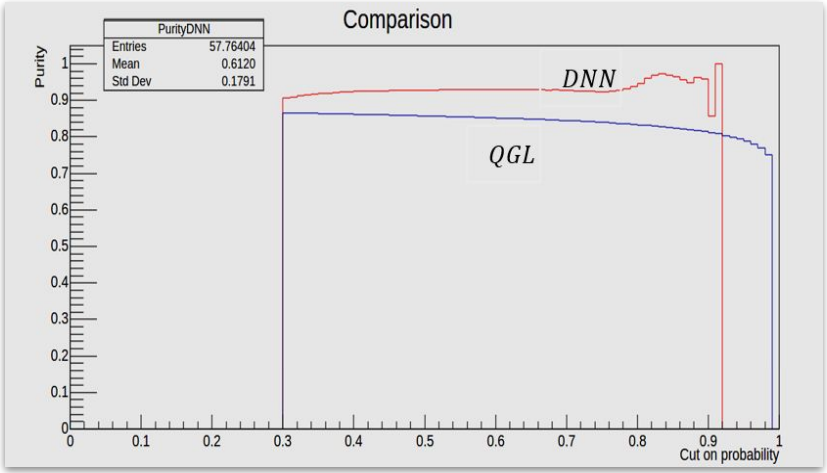
جت یکی از "همه جا حاضر ترین" اجرام در برخورد پروتون-پروتون در LHC است. یکی از مهم ترین سوالات در مورد جت این است که کدام نوع ذرات بنیادی آن را آغاز می کند.

رویکرد تکنیک مورد ارزیابی:

یکی از رویکردهای جدید با بهره گیری از شبکه‌های عصبی عمیق(DNN) این است که به جای سازماندهی ذرات تشکیل دهنده یک جت در یک ساختار منظم (مثلاً یک توالی یا یک درخت)، یک جت را به عنوان "مجموعه ای نامرتب" از ذرات (یک "ابر ذرات")در نظر می گیرند، و بر اساس شبکه عصبی کانولوشنال گراف پویا(DGCNN) ، الگوریتم ParticleNet طراحی شده است، که مستقیماً روی ابرهای ذرات برای برچسب‌گذاری جت کار می‌کند.

نتیجه ارزیابی:

الگوریتم ParticleNet در مقایسه با یک تکنیک متمایزکننده قدیمی Quark-Gluon likilhood (تکنیک qgl) عملکرد قابل توجهی دارد برای مثال دیاگرام زیر مربوط به مقایسه Purity(خلوص) این دو رویکرد مذکور است:



تعریف خلوص:

$$purity = m/M \times 100$$

M: احتمال کوارکی بودن منشا جت (یعنی جت منشا گلوئونی و غیره نداشته باشد.)

m : شمارگری که از بین M جت انتخاب شده آن هایی که آیدی کوارکی دارند را انتخاب می کند.

در واقع طبق تعریف انتظار میرود: وقتی احتمال کوارکی بودن یک جت توسط ماشین بالای 0.8 اندازه گیری می شود، ماشین بتواند به این جت آیدی کوارکی نیز نسبت دهد و در نهایت خلوص آن افزایش یابد، که طبق تصویر الگوریتم DNN عملکرد قابل قبولی دارد.