

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة



ميدان: علوم المادة
فرع: الفيزياء.
تخصص: الفيزياء النظرية

كلية: العلوم.
قسم: الفيزياء.
رقم Ph\TH/04/2021

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالبة: بوديسة سكيينة

تحت عنوان

دراسة ظواهرية لفيزياء الجسيمات في المصادمين

LHC و FCC

تمت المناقشة يوم 2021/06/23 أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة المسيلة	د. بوفراش كريم
مشرفا و مقرا	جامعة المسيلة	د. رضوان صالح أسماء
مناقشا	جامعة المسيلة	د. مجدل صهيب

السنة الجامعية: 2021/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر ومحرفان

الحمء لله والشكر لله لإتمام هذه المءكرة، ولا يسعنا في هذا المقام العلمى إلا أن أتقدم بخالص الشكر إلى الوالءىن الكرىمىن و العائلة الفاضلة وإلى الأستاذة المشرفة رضوان صالح أسماء. والسادة مجءل صهىب و بوفراش كرىم على قبولهم مناقشة المءكرة وأىضا الشكر موصول للطلاب حراىز مروان وإلى كل من مءء العون فى انجاز هذه المءكرة من قرىب أو بعىء

الفهرس

01	مقدمة عامة
	الفصل I: النموذج المعياري والمصادم FCC
04	I-مقدمة
04	I-1-1-دراسة النظرية
04	I-1-1-1-النموذج المعياري للجسيمات الأولية (SM) Standard Model
05	I-2-1-1-الكروموديناميك الكمي QCD
08	I-3-1-1-دالة لاجرانج للنموذج المعياري
10	I-4-1-1-حدود النموذج المعياري
10	I-1-4-1-1-مشكلة الطاقة المظلمة والمادة المظلمة
10	I-2-4-1-1-كتلة النوتريينو
10	I-3-4-1-1-تذبذب النيوترينو
11	I-2-دراسة التجريبية
11	I-1-2-1-المصادم FCC (Future Circular Collider)
12	I-1-1-2-1-المصادم (هادرون / هادرون) FCC-hh
12	I-1-1-1-2-1-خصائص الهادرونات للمصادم FCC-hh
12	I-2-1-1-2-1-الانارة (\mathcal{L}) Luminosity
13	I-3-1-1-2-1-كاشف FCC-hh
14	I-2-1-2-1-المصادم (إلكترون / إلكترون) FCC-ee
16	I-1-2-1-2-1-كاشف CLD ل FCC-ee
16	I-3-1-2-1-المصادم (ليبتون / هادرون) FCC-eh

17	FCC-eh كاشف 1-3-1-2-I
	الفصل II: التطبيقات الحديثة لتفاعل Drell-yan
19	II -1-مقدمة
19	II-2-تفاعل Drell-Yan وأهميته
20	II-2-1- حساب المقطع الفعال Drell-yan لإنتاج زوج لبتوني عند طاقة 100 Tev
20	II-2-1-1- حساب سعة التفاعل
21	II-2-1-2- حساب مربع السعة
26	II -2-1-3- حساب المقطع الفعال البارونوني
27	II -2-1-4- المقطع الفعال الهادروني الكلي
28	II -2-2- دوال توزيع البارونون PDF's
29	II -2-3- أهمية المصادم المستقبلي FCC(Future circular collider) للبحث عن المادة المظلمة DM
	الفصل III : دراسة ومحاكاة تفاعل Drell-Yan في المصادميين LHC و FCC
31	III -1-مقدمة
	III -1-دراسة محاكاة لتفاعل Drell-Yan في المصادميين LHC و FCC
31	III-1-1- تحميل و تثبيت برنامج MadGraph
32	III -1-1-1- استكشاف النموذج
32	III -1-3- عمليات التصادم وتوليد الأحداث Events Generation
33	III -1-3- a- الحساب الرقمي للمقطع الفعال لتفاعل Drell-Yan
37	III -1-3- b- حساب الكتلة اللامتغايرة للبوزون W
42	الخاتمة
43	قائمة المصادر والمراجع.
	الملخص

قائمة الجداول

- 05 الجدول (1-I): الجسيمات الأولية في النموذج المعياري [8]
- 06 الجدول (2-I): الخصائص الأساسية للجسيمات الأولية [3]
- 11 الجدول (3-I): خصائص تصادم الهادرونات في المصادم FCC و LHC [24]
- 13 لجدول (4-I): الخصائص الأساسية المتعلقة بالكاشف FCC hh في مصادمات مختلفة [27]
- 17 الجدول (5-I): الخصائص الأساسية المتعلقة بالكاشف e h في مصادمات مختلفة [27].
- 34 الجدول (1-III): التصادمات المحتملة ومخططات فينمان للتفاعل المدروس
- 37 الجدول (4-III): قيم المقاطع الفعالة للتصادم المدروس في مصادمات مختلفة

قائمة الأشكال

- الشكل (2-I): الكاشف المرجع FCC-hh [23] 12
- الشكل (3-I): المقطع العرضي لنفق FCC-hh [23] 13
- الشكل (4-I): دالة الإنارة $Luminosity (L)$ لمختلف المصادمات [27] 14
- الشكل (5-I): رسم تخطيطي للمصادم FCC-ee [28] 15
- الشكل (6-I): رسم تخطيطي للكاشف CLD [29] 15
- الشكل (7-I): رسم تخطيطي للكاشف $e p$ المستقبلي [24] 16
- الشكل (1-II): مخططات فينمان لتفاعل Drell-Yan [16] 17
- الشكل (2-II): منحني بياني يمثل معدلات الإنتاج الكبيرة للبوزونات Z و W عند طاقة 100TeV [31] 19
- الشكل (3-II): دوال توزيع البارتون في المصادم LHC والمصادم FCC [16] 28
- الشكل (4-II): مخطط فينمان يمثل إنتاج نيوترينو ماجورانا من خلال تفاعل Drell-Yan [25] 29
- الشكل (1-III): كيفية تحميل برنامج MadGraph 30
- الشكل (2-III): تثبيت MadGraph 31
- الشكل (3-III): حزمة الجسيمات المحملة تلقائيا في برنامج MadGraph 33
- الشكل (4-III): كيفية التعديل على بطاقات (Cards) التشغيل 36
- الشكل (5-III): جدول يوضح نتائج حساب المقطع الفعال 36
- الشكل (6-III): مخطط يوضح كيفية تلقي المعطيات من أجل رسم البيانات باستخدام برنامج Rivet و YOD [32] 39
- الشكل (7-III): رسم بياني يبين كتلة بوزون W باستخدام برنامج Rivet عند الطاقة 8 TeV 39
- الشكل (8-III): رسم بياني يبين كتلة بوزون W باستخدام برنامج Rivet عند الطاقة 13 TeV 40
- الشكل (9-III): رسم بياني يبين كتلة بوزون W باستخدام برنامج Rivet عند الطاقة 20 TeV 40
- الشكل (10-III): رسم بياني مقارن يوضح كتلة البوزون W عند طاقات مختلفة 41

مقدمة عامة

يعتبر النموذج المعياري من بين النظريات الأساسية التي تصف التفاعلات الأولية بناءً على خصائص زمر الاختيار $U(1)_Y$ و $SU(2)_L$ و $SU(3)_C$, حيث ترتبط المجموعة $U(1)_Y \otimes SU(2)_L$ بالتفاعلات الكهروضعيفة, ويتم تفسير R على أنها تبادل البوزونات المشحونة W^\pm أو المحايدة Z و γ بين الفرميونات [1, 2, 4].

بينما ترتبط الزمرة $SU(3)_C$ بالتفاعلات القوية بين الكواركات والغليونات, نقوم بدراسة خصائص هذه التفاعلات في إطار نظرية الكروموديناميك الكمي الإضطرابي Quantum Chromodynamics (QCD), تمت دراسة QCD انطلاقاً من التشابه المفترض مع نظرية الإلكتروديناميك الكمي (Quantum Electrodynamics (QED), تتميز هذه النظريات بتناظر الصمود المعياري (Gauge invariance) الذي يلعب دوراً مهماً في استنتاج التفاعلات بشكل مفصل في كل من QED و QCD, ولذا تسمى بالنظريات العيارية أو القياسية (Gauge) [5] Theories.

بناءً على ذلك فقد أثبت النموذج المعياري للجسيمات الأولية Standard Model (SM) نجاحه الملحوظ في وصف مختلف مكونات المادة, وتفسير التفاعلات الضعيفة والكهرومغناطيسية وحتى التفاعلات القوية, إلا أنه فشل في معالجة بعض المسائل الأخرى التي لوحظت في التجارب الحديثة (كتلة النيوتريينو [6], أصل المادة المظلمة [7], طبيعة الطاقة المظلمة, توحيد القوى... إلخ), مما يشكل تحدياً جديداً للفيزيائيين وحافزاً لظهور العديد من الأفكار والنظريات, محاولين بذلك توسيع فهمنا حول الفيزياء ما بعد النموذج المعياري [8, 9, 10, 11, 12], ولذا تم اقتراح المصادم المستقبلي Futur Circular Collider (FCC) بعد المصادم الهادروني Large Hadron Collider (LHC), بثلاث نسخ ممكنة FCC-hh\FCC-ee\FCC-eh وبطاقة أعلى بكثير لتقديم حلول للمسائل السابقة, عن طريق اكتشاف الجسيمات المقترحة من طرف النماذج والنظريات ما بعد النموذج المعياري (BSM). [13, 14, 15].

تعد البروتونات من أهم الجسيمات التي يتم تسريعها ثم تصادمها في كل من FCC أو LHC في سبيل [19, 20, 21, 22] فهم أعمق لخصائص المادة, إكتشاف جسيمات جديدة, قياسات الدقة وتقليص الارتبايات لمختلف المقادير الفيزيائية التي تميز الجسيمات الأولية. يعتبر Drell-Yan من بين أهم التفاعلات الرئيسية الناتجة عن تصادم بروتون-بروتون, وهو تفاعل كهرومغناطيسي أين يتم إفناء كوارك وكوارك مضاد لإعطاء زوج من اللبتونات (لبتون ولبتون مضاد), هذا التفاعل تم إقتراحه من طرف العالمين Sid Drell و Tung-Mow Yan منذ أكثر من 50 عام [16], حيث لعب دوراً مهماً في التحقق من QCD كنظرية صحيحة للتفاعل القوي والتي أدت أيضاً لاكتشاف جسيمات جديدة (beauty و charm و J/ψ وأيضا W و Z) [17], وسيظل هذا التفاعل ذو أهمية كبيرة للبحث عن فيزياء جديدة ما بعد النموذج المعياري

BSM في مصادم الجسيمات المستقبلي FCC عند طاقة عالية تصل إلى 100 TeV, للكشف عن مكونات المظلمة وهوية النيوتريونات.

في هذا العمل سنسلط الضوء على تفاعل Drell-Yan من خلال دراسة نظرية ودراسة محاكاة باستخدام بيانات حقيقية, لفهم أعمق للفيزياء التي ينطوي عليها هذا التفاعل الرئيسي, وذلك عبر ثلاث فصول مقسمة كالتالي:

في الفصل الأول سنتطرق إلى مدخل لفيزياء الجسيمات الأولية والكروموديناميك الكمي, بالإضافة إلى دالة لاجرانج للنموذج المعياري و أهميتها في فهم التفاعلات الأساسية, كما سنتطرق لمشاكل النموذج المعياري وكذا عرض حال للمسرّع المستقبلي FCC ونسخه الممكنة.

في الفصل الثاني نركز دراستنا على تفاعل Drell-Yan مشيرين بذلك إلى أهميته مع حساب المقاطع الفعالة في الإطار النظري, ودوال توزيع البارتون PDF's في كلا المصادمين FCC و LHC وصولاً إلى أهمية المصادم المستقبلي للبحث عن المادة المظلمة. [18]

في الفصل الثالث من هذه المذكرة سنتم دراسة محاكاة المقطع الفعال البارتوني المفصل لتفاعل Drell-Yan المدروس في كلا المصادمين FCC و LHC والتحقق من الكتلة اللامتغايزة للبويزون W باستخدام برنامج MadGraph5_aMC@NLO. [27, 28, 29, 30]

الفصل الأول

النموذج المعياري والمصادم FCC

I-مقدمة:

لفهم الكون من حولنا من المهم فهم جميع الخصائص الأساسية المكونة للمادة والتعرف على الجسيمات الأولية وتفاعلاتها، لهذا تطرقنا في هذا الفصل إلى التعريف بالجسيمات الأولية وطريقة تفاعلها الواردة في نظرية النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات كما تطرقنا أيضا لنظرية الكروموديناميك الكمي، وتم ذكر الأسئلة و المشاكل التي لم تتمكن نظرية النموذج المعياري من تفسيرها، ولأن محاولة الفيزياء للإجابة على هذه الأسئلة لا تزال متواصلة فقد تم اقتراح مصادم جديد مستقبلي ذو طاقة عالية، للبحث عن الأجوبة الممكنة.

I-1-الدراسة النظرية:

I-1-1-النموذج المعياري للجسيمات الأولية (SM) Standard Model:

وهو من بين أهم نظريات القياس التي تصف القوات الأساسية الثلاثة من أصل أربعة، والذي يجمع بين الكهرومغناطيسية والتفاعلات الضعيفة والقوية كما أن بنيته الرياضية تعتمد على كثافة لاغرانج \mathcal{L} الذي يصف لنا حركة الجسيمات بدلالة الاندفاع والطاقة، حيث تم تطوير النموذج المعياري انطلاقا من زمرة الاختيار (القياسية) Gauge معرفة ب :

$$G_{SM} = SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y \quad (1 - I)$$

حيث يمثل C الشحنة اللونية Color Charge

Y الشحنة المفرط الضعيف Weak Interaction Hypercharge.

L والتي تعني أن تحويل المقياس ينطبق فقط على الجسيمات اليسرى Left Handed Chirality

والمجموعة $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ تصف التفاعلات الكهروضعيفة .

والزمرة $SU(3)_C$ تصف التفاعلات القوية .

تصنف الجسيمات الأولية بشكل عام إلى :

الفرميونات والتي تتكون من ستة كواركات كوارك العلوي , كوارك السفلي , كوارك الساحر والكوارك الغريب وأيضا الكوارك القمي والكوارك القعري .

الليبتونات والتي تتكون أيضا من ستة جسيمات وهي الإلكترون والميون والتاو وأيضا النيوترينو الإلكتروني النترينو التاو و النيوترينو الميون ويمكن تمثيلها على شكل ثنائيات مقسمة على ثلاث عائلات كالتالي :

$$(e^{-}, \nu_e), (\mu, \nu_{\mu}), (\tau, \nu_{\tau})$$

و اثنا عشر بوزرنا حامل للقوى الأساسية, كما هو موضح في الجدول التالي :

	Particules de matière (fermions)			Particules d'interactions	boson de masse
	I	II	III		
QUARKS	2.4 MeV +2/3 1/2 u up	1.27 GeV +2/3 1/2 c charm	171.2 GeV +2/3 1/2 t top	0 0 1 γ photon	125 GeV 0 0 H boson de Higgs
	4.8 MeV -1/3 1/2 d down	104 GeV -1/3 1/2 s strange	4.2 GeV -1/3 1/2 b bottom	0 0 1 g gluon	
	<2.2 eV 0 1/2 ν _e neutrino électronique	<0.17 MeV 0 1/2 ν _μ neutrino muonique	<15.5 MeV 0 1/2 ν _τ neutrino tauique	91.2 GeV 0 1 Z ⁰ boson Z	
LEPTONS	511 KeV -1 1/2 e électron	105.7 MeV -1 1/2 μ muon	1.777 GeV -1 1/2 τ tau	80.4 GeV ±1 1 W [±] bosons W	
			BOSONS DE JAUGE		

nom spin charge électrique masse symbole

الجدول (I – 1): الجسيمات الأولية في النموذج المعياري.

I-1-2-الكروموديناميك الكمي QCD :

هي نظرية تصف التفاعلات القوية بين الغليونات والكواركات وفقا لنظرية قياس غير تبديلية على أساس الزمرة SU(3), والتي تنتج عن التحويل التالي :

$$\psi_f(x) \rightarrow \exp(-ig_s\theta_a(x)T^a)\psi_f(x) \quad (2 - I)$$

ψ_f يمثل حقل الكوارك ويتم على كل نكهات الكوارك (f) و على درجات الحرية

$$\psi_f = \begin{pmatrix} \psi_{f,r} \\ \psi_{f,g} \\ \psi_{f,b} \end{pmatrix}$$

نلخص الخصائص الأساسية للجسيمات الأولية في الجدول التالي :

	Spin	# bar.	# lept.	Q élec.	T, T_3 faible ¹	C fort
Leptons :						
$\bar{\nu}_L, \bar{\nu}_M, \bar{\nu}_H$	1/2	0	+1	0	+1/2, +1/2	0
e^+, μ^+, τ^+	1/2	0	+1	+1	+1/2, +1/2	0
Quarks :						
$\bar{u}, \bar{c}, \bar{t}$	1/2	+1/3	0	+2/3	+1/2, +1/2	$\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}$
$\bar{d}, \bar{s}, \bar{b}$	1/2	+1/3	0	+1/3	+1/2, +1/2	R, G, B
Bosons de jauge :						
γ	1	0	0	0	0	0
Z, W [±]	1	0	0	0, ±1	1, (0, ±1)	0
Gluons	1	0	0	0	0	$\bar{C}\bar{C}$
Vide :						
Higgs	0	0	0	0	0	0

الجدول (2 - I): الخصائص الأساسية للجسيمات الأولية.

α_s ثابت اقتران التفاعل القوي بين الكواركات و الغلوونات

$$\alpha_s = g_s^2/4\pi \quad \text{حيث}$$

$D_\mu \Psi$ بنفس أسلوب Ψ وذلك حتى يبقى تابع اللاغرانج غير متغير نتيجة التحويل المعياري :

يتحول

$$D_\mu \psi \rightarrow (D_\mu \psi)' = U\partial_\mu \psi + (\partial_\mu U)\psi - ig_s T^a U \quad (3 - I)$$

$$G_{\mu}^a(x) \rightarrow G'_{\mu}^a(x) = G_{\mu}^a(x) - \frac{1}{g_s} \partial^{\mu} \theta_a - f^{abc} \theta_b G_{\mu}^c(x) \quad (4 - I)$$

حيث f^{abc} ثوابت البنية وهي حقيقية عكسية التناظر بالكامل .

$a = \overline{1,8}$: هي مولدات التمثيل الأساسي للمجموعة SU(3) لثمانية غلونات المقابلة

G_{μ}^a يمثل مقياس ثابت موتر شدة حقل الغلونات .

ومنه فإن دالة لاغرانج تكتب على النحو التالي:

$$\mathcal{L}_{\text{QCD}} = i \sum_q \bar{\psi}_f^i \gamma^{\mu} (D_{\mu})_{ij} \psi_f^i - \sum_f m_f \bar{\psi}_f^i \psi_f^i \quad (5 - I)$$

مع:

$$(D_{\mu})_{ij} = \delta_{ij} \partial_{\mu} + i g_s \sum_a T_{i,j}^a A_{\mu}^a \quad (6 - I)$$

$$G_{\mu\rho}^a(x) = \partial_{\mu} A_{\rho}^a - \partial_{\rho} A_{\mu}^a - g_s f_{abc} A_{\mu}^b A_{\rho}^c \quad (7 - I)$$

$$i, j = \overline{1,3}$$

- تتميز التفاعلات القوية بثلاث خصائص أساسية :

- ظاهرة الحبس Color Confinement .

- الحرية المقاربة Asymptotic Freedom .

- كسر التناظر الديناميكي Dynamical Symmetry Breaking .

الحرية المقاربة و ظاهرة الحبس بسبب وجود تفاعلات تلقائية بين حقول الغلونات والتي

حيث : $\alpha_s = g_s^2 / 4\pi$ تساهم في مخططات فاينمان .

يمكن تحديد α_s بدلالة Q إنطلاقاً من إعادة تقنين مجموع المعادلات مع النشر الاضطرابي

للدالة β من الدرجة الأولى التالية:

$$Q \frac{d\alpha_s}{dQ} = 2\beta_0\alpha_s + \dots \quad (8 - I)$$

حل هذه المعادلة من الشكل :

$$\begin{aligned} \alpha_s(Q^2) &= \frac{\alpha_s(\mu^2)}{1 + \frac{\alpha_s(\mu^2)}{4\pi} \beta_0 \ln \frac{Q^2}{\mu^2}} \quad (9 - I) \\ &= \frac{4\pi}{\beta_0 \ln \frac{Q^2}{\Lambda_{QCD}^2}} \end{aligned}$$

مع

$$\Lambda_{QCD} = \mu \exp\left(-2\pi/\beta_0\alpha_s(\mu^2)\right) \quad (10 - I)$$

و

$$\beta_0 = \frac{11}{3}N_C - \frac{2}{3}N_f \quad (11 - I)$$

حيث N_C و N_f هما عدد الألوان وعدد النكهات من الكواركات وفي النموذج المعياري $N_C = 3, N_f = 6$

I-1-3- دالة لاجرانج للنموذج المعياري :

عبارة دالة لاجرانج للنموذج المعياري تعطى بالشكل التالي :

$$\mathcal{L}_{SM} = \mathcal{L}_{jauge} + \mathcal{L}_{fermion} + \mathcal{L}_{Higgs} + \mathcal{L}_{Yukawa} \quad (12 - I)$$

حيث:

\mathcal{L}_{jauge} تصف ديناميكيات مجالات البوزونات.

$$\mathcal{L}_{jauge} = -\frac{1}{4}G_{\mu\nu}^A G^{A\mu\nu} - \frac{\alpha_s}{8\pi} \theta \check{G}_{\mu\nu}^A G^{A\mu\nu} - \frac{1}{4}W_{\mu\nu}^a W^{a\mu\nu} - \frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} \quad (13 - I)$$

الحقول $G_{\mu\nu}^A, W_{\mu\nu}^a, B_\nu$ هي موترات مرتبطة بالزمرة $SU(3)_C$ و $S(2)_L$ و $U(1)_Y$ على التوالي.

$$G_{\mu\nu}^A = \partial_\mu G_\nu^A - \partial_\nu G_\mu^A + g_i f^{ABC} G_\mu^B G_\nu^C \quad W_{\mu\nu}^a \quad (14 - I)$$

$$= \partial_\mu W_\nu^a - \partial_\nu W_\mu^a + g \varepsilon^{abc} W_\mu^b W_\nu^c B_{\mu\nu} \quad (15 - I)$$

$$= \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu \quad (16 - I)$$

$\mathcal{L}_{\text{fermion}}$ يصف تفاعلات الفرميونات مع البوزونات .

$$\mathcal{L}_{\text{fermion}} = \sum i \bar{\psi} \not{D} \psi \quad (17 - I)$$

$$= -\bar{Q}_i D_\mu \gamma^\mu Q_i + \bar{u}_{Ri} i D_\mu \gamma^\mu u_{Ri} + \bar{d}_{Ri} i D_\mu \gamma^\mu d_{Ri}$$

$$+ \bar{L}_i D_\mu \gamma^\mu L_i + \bar{e}_{Ri} D_\mu \gamma^\mu e_{Ri} \quad (18 - I)$$

$$D_\mu = \partial_\mu - i g_s \frac{\lambda^a}{2} G_\mu^a - i g \frac{\sigma^a}{2} W_\mu^a - i g^i \frac{Y}{2} B_\mu \quad (19 - I)$$

$\mathcal{L}_{\text{Higgs}}$ هو الحد المسؤول عن آلية الإنكسار التلقائي للتناظر الكهروضعيف .

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs}} = \phi^\dagger \left(\partial^\mu - \frac{i}{2} (g^i Y_W B^\mu + g \vec{r} \vec{W}^\mu) \right) \left(\partial^\mu - \frac{i}{2} (g^i Y_W B^\mu + g \vec{r} \vec{W}^\mu) \right)$$

$$\phi - \frac{\lambda^2}{4} (\phi^\dagger \phi - v^2)^2 \quad (20 - I)$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \quad (21 - I)$$

$$\mathcal{L}_{\text{Yukawa}} = \bar{U}_L G_\mu U_R \phi^0 - \bar{D}_L G_\mu U_R \phi^-$$

$$+ \bar{U}_L G_d D_R \phi^+ + \bar{D}_L G_d D_R \phi^0 + hc \quad (22 - I)$$

I-1-4-4- حدود النموذج المعياري :

على الرغم من النجاح الهائل في وصف البيانات التجريبية المتاحة والمعروفة بالنموذج المعياري للتفاعلات القوية والكهروضعيفة ولكن لا يمكنها أن تصف القوة الأساسية الرابعة (قوة الجاذبية) والتي تتطلب فيزياء جديدة وطاقة عالية .

نذكر هنا بعض مشاكل النموذج المعياري :

I-1-4-1- مشكلة الطاقة المظلمة والمادة المظلمة :

إن النموذج المعياري قادر على تفسير 5% فقط من المادة في الكون وتشير الملاحظات الكونية إلى أن حوالي 26% من 95% من المادة يجب أن يمثل المادة المظلمة بينما الباقي يمثل الطاقة المظلمة.

المادة المظلمة تتفاعل بشكل ضعيف مع حقول النموذج المعياري.

ومن الناحية التجريبية لا يمكن للنموذج المعياري تفسير كمية المادة المظلمة بالرغم من أننا نعلم أن كثافة الطاقة المظلمة ثابتة بالنسبة للفراغ.

I-1-4-2- كتلة النيوترينو:

تمثل كتلة النيوترينو الغير المتوقعة انحرافا عن النموذج المعياري ومن القيود الأكثر صرامة على مقياس كتلة النيوترينو تأتي من القياسات الكونية وليست من تجارب النيوترينو.

I-1-4-3- تذبذب النيوترينو:

من بين الملاحظات المهمة التي لم يتم شرحها في نظرية النموذج المعياري مشكلة تذبذب النيوترينوات وبالتالي فإن أصغر امتداد للنموذج المعياري سيكون لإضافة النيوترينو اليميني وبذلك سنكون قادرين على كتابة شروط كتلة ماجورانا للنيوترينوات . ومشكلة توحيد القوى الأربعة وغيرها من المشاكل الأخرى.

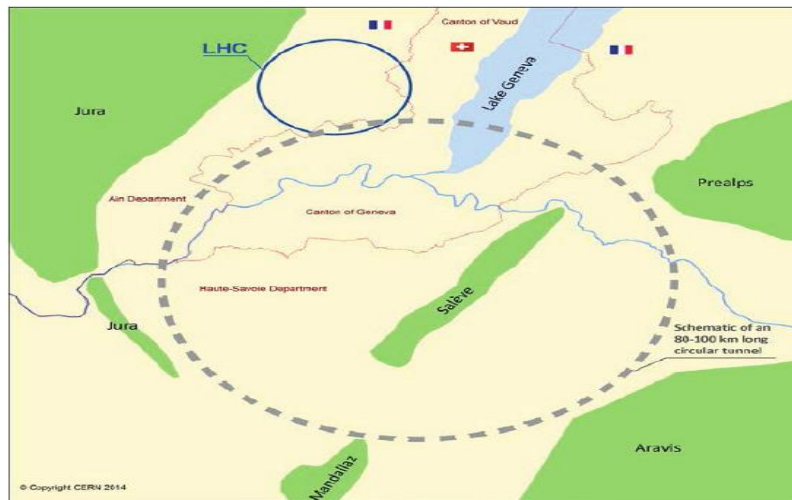
I-2- الدراسة التجريبية:

كان للمصادم LHC دراسات تفصيلية لخصائص بوزون هيغز حيث كان له دور كبير في فهم المادة والنموذج المعياري الهادروني والطرق التي يتفاعل بها مع جسيمات أخرى , ومع ذلك لاتزال هنالك مسائل لم يستطع أن يحلها كالمادة المظلمة وكتل النيوتريينو وغيرها من المسائل. وقد تم اقتراح المصادم FCC بعد المصادم الهادروني LHC بطاقة أعلى بكثير من المصادمات السابقة, وذلك لتعميق فهمنا للظواهر الجديدة وحل للمسائل السابقة التي يمكن أن تلمح لفيزياء جديدة.

I-2-1- المصادم FCC (Future Circular Collider):

سيسلط هذا المصادم على أسئلة المادة المظلمة وعدم التناسق بين المادة والمادة المضادة والطاقة المظلمة و كتلة النيوتريينو الغير معدومة, يعد هذا الأخير خيارا قابلا للتنفيذ في القرن الواحد والعشرون.

والذي يتطلب نفقا بطول 100 كلم يمتد على الحدود الفرنسية والسويسرية في منطقة جنيف.



الشكل (I – 1) : رسم تخطيطي يوضح أثر المصادم FCC بحوض جنيف بطول 100 Km.

حيث توجد ثلاث نسخ ممكنة للمصادم :

I-2-1-1-1- FCC-hh (هادرون / هادرون) المصادم :

سيكون للمصادم دورا كبيرا لاكتشاف ناقلات القوة لتفاعلات جديدة تصل إلى كتل تبلغ حوالي 30 TeV إن وجدت. حيث تعمل طاقة الاصطدام على توسيع نطاق البحث عن جسيمات المادة المظلمة , وبما أن معدل الطاقة و الاصطدام عالي سيتم إنتاج بلايين من بوزونات هيغز وتريليونات من الكواركات العلوية , مما يخلق فرصا جديدة لدراسة الإنحلال النادر وفيزياء النكهة.

I-2-1-1-1-2- خصائص الهادرونات للمصادم FCC-hh :

Parameter	LHC	FCC-hadron collider
c.m. Energy [TeV]	14	100
Circumference [km]	26.7	100 (83)
Dipole field [T]	8.33	16 (20)
Number of straight sections	8	12
Sector length [km]	3.3	8.3 (6.9)
Arc length [km]	2.8	7 (5.5)
Number of IPs	4	2 + 2
Peak luminosity [10^{34} cm ⁻² s ⁻¹]	1	5
Beam current [A]	0.584	0.5
RMS bunch length [cm]	7.55	8 (7.55)
Stored beam energy [GJ]	0.392	8.4 (7.0)
SR power per ring [MW]	0.0036	2.4 (2.9)
Arc SR heat load [W/m/aperture]	0.17	28.4 (44.3)
Dipole coil aperture [mm]	56	40
Beam aperture [mm]	~40	26

الجدول (I – 3) : خصائص الهادرونات في المصادم FCC و LHC.

I-2-1-1-2-2- الانارة (L) Luminosity :

هو أحد عوامل التسريع والذي يقوم بقياس عدد التصادمات التي يمكن إنتاجها في الكاشف لكل cm² على الثانية. حيث أنه كلما زادت قيمة L زاد عدد التصادمات, يتم الحصول على الأحداث في الثانية من خلال العلاقة التالية :

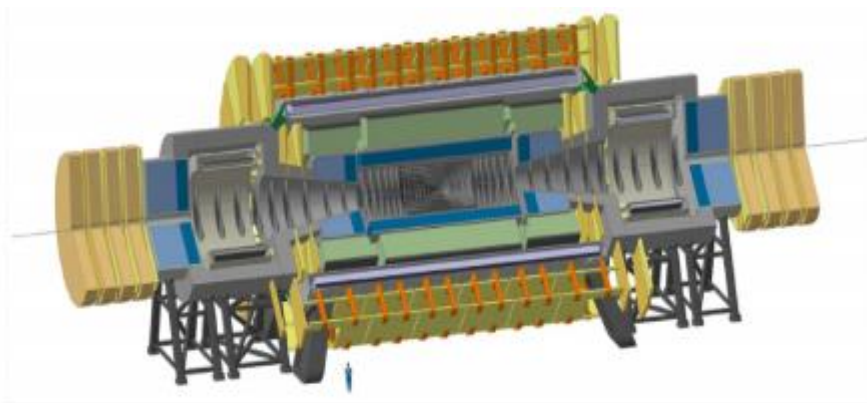
$$\text{الفعالاالمقطع} \cdot \text{الانارة} = \text{الثانية/الأحداث} N$$

$$\frac{N_{\text{الأحداث}}}{\text{الثانية}} = \mathcal{L} \cdot \sigma \quad (23 - I)$$

سيوفر المصادم FCC-hh ذروة إنارة قدرها $\mathcal{L} = 3.10^{35} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ في المرحلة الأخيرة.

I-2-1-1-3- كاشف FCC-hh :

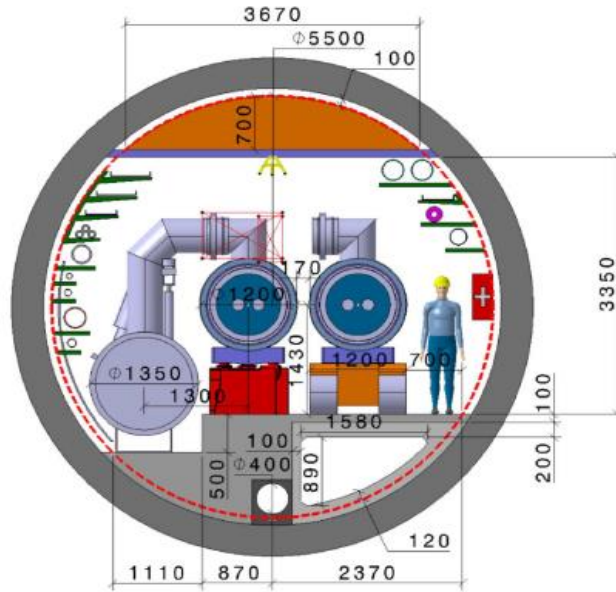
الكاشف المرجعي FCC-hh بطول إجمالي 50 مترا وقطره 20 مترا. وملف لولبي بقطر 10 أمتار وملفان لولبيان أماميان بقطر 5 أمتار.



الشكل (I – 2): الكاشف المرجع FCC-hh

Parameter	Unit	LHC	HL-LHC	HE-LHC	FCC-hh
E_{cm}	TeV	14	14	27	100
Circumference	km	26.7	26.7	26.7	97.8
Peak \mathcal{L} , nominal (ultimate)	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1 (2)	5 (7.5)	16	30
Bunch spacing	ns	25	25	25	25
Number of bunches		2808	2760	2808	10600
Goal $\int \mathcal{L}$	ab^{-1}	0.3	3	10	30
σ_{inel} [331]	mb	80	80	86	103
σ_{tot} [331]	mb	108	108	120	150
BC rate	MHz	31.6	31.0	31.6	32.5
Peak pp collision rate	GHz	0.8	4	14	31
Peak av. PU events/BC, nominal (ultimate)		25 (50)	130 (200)	435	950
Rms luminous region σ_z	mm	45	57	57	49
Line PU density	mm^{-1}	0.2	1.0	3.2	8.1
Time PU density	ps^{-1}	0.1	0.29	0.97	2.43
$dN_{ch}/d\eta _{\eta=0}$ [331]		6.0	6.0	7.2	10.2
Charged tracks per collision N_{ch} [331]		70	70	85	122
Rate of charged tracks	GHz	59	297	1234	3942
$\langle p_T \rangle$ [331]	GeV/c	0.56	0.56	0.6	0.7
Bending radius for $\langle p_T \rangle$ at B=4 T	cm	47	47	49	59

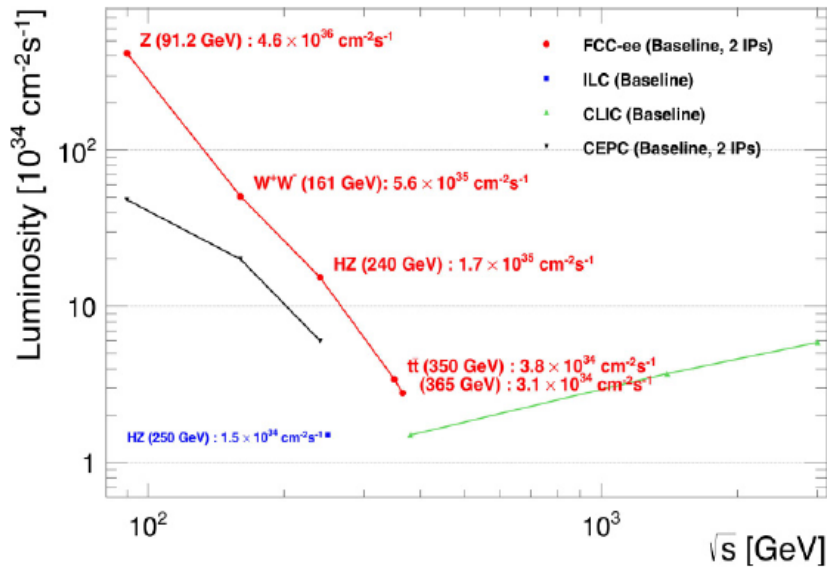
الجدول (I – 4): الخصائص الأساسية المتعلقة بالكاشف FCC hh في مصادمات مختلفة.



الشكل (I - 3): المقطع العرضي لنفق FCC-hh

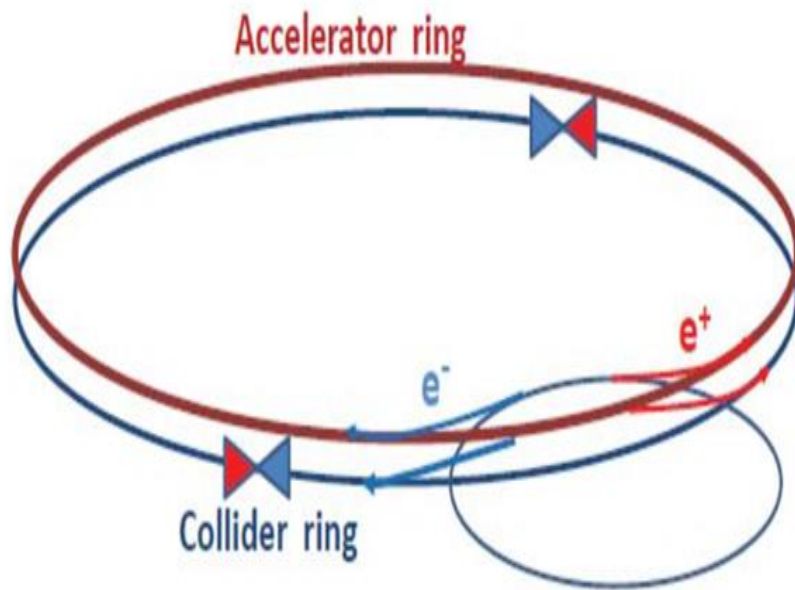
I-2-1-2- المصادم (إلكترون / إلكترون) FCC-ee :

يهدف المصادم FCC-ee (TLEP) لدراسة الكوارك العلوي و بوزونات هيغز Z/W على مقياس الكهروضعيفة والذي يحمل إنارة عالية التي تتمتع بإمكانية هائلة لقياسات دقيقة لبوزون هيغز الغير المسبوقة لذروة Z و عتبة كل من $t\bar{t}$, WW , حيث يمكن لبرنامج الفيزياء الخاص بها أن يمهد لإكتشاف فيزياء خارج النموذج المعياري .



الشكل (I - 4): دالة الإنارة **Luminosity (\mathcal{L})** لمختلف المصادمات

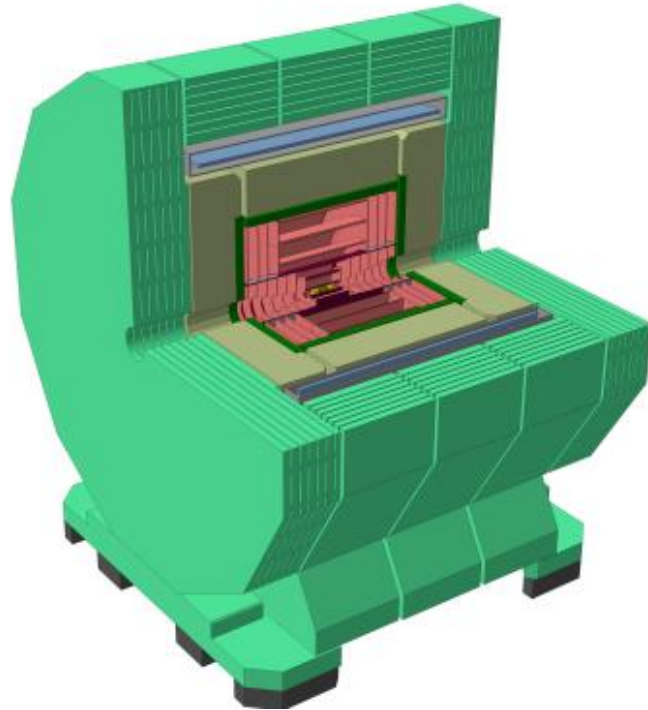
بدلالة مركز الكتلة $\sqrt{s} = 90 - 300 \text{ GeV}$ حيث تمثل النقاط الحمراء FCC-ee.



الشكل (I - 5): رسم تخطيطي للمصادم FCC-ee

: FCC-ee ل CLD كاشف 1-2-1-2-I

CLD إختصارا ل CLIC-like detector هو أحد الكواشف المقترحة ل FCC-ee

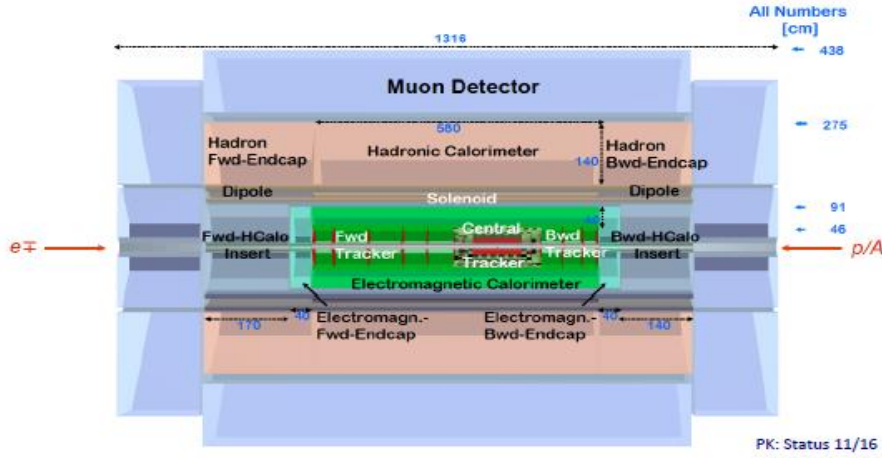


الشكل (I - 6): رسم تخطيطي للكاشف CLD.

: FCC-eh (ليببتون / هادرون) المصادم 3-1-2-I

يضيف المصادم FCC-eh تنوع برنامج البحث بالإضافة إلى الطاقة التي يوفرها شعاع البروتون والتي تصل إلى 50 TeV والتوافر المحتمل لحزمة إلكترونية بطاقة 60 GeV وهذا ما يؤدي لفتح آفاق جديدة لفيزياء التشتت العميق الغير المرن وسيكون هذا المصادم عبارة عن مصنع Higgs عالي الدقة مما يمكنه لإكتشاف جسيمات جديدة. وأيضا دراسة تفاعلات الكواركات والغليونات.

I-2-1-3-1- كاشف FCC-eh :



الشكل (I - 7): رسم تخطيطي للكاشف e p المستقبلي.

parameter [unit]	LHeC CDR	ep at HL-LHC	ep at HE-LHC	FCC-he
E_p [TeV]	7	7	12.5	50
E_e [GeV]	60	60	60	60
\sqrt{s} [TeV]	1.3	1.3	1.7	3.5
bunch spacing [ns]	25	25	25	25
protons per bunch [10^{11}]	1.7	2.2	2.5	1
$\gamma\epsilon_p$ [μm]	3.7	2	2.5	2.2
electrons per bunch [10^9]	1	2.3	3.0	3.0
electron current [mA]	6.4	15	20	20
IP beta function β_p^* [cm]	10	7	10	15
hourglass factor H_{geom}	0.9	0.9	0.9	0.9
pinch factor H_{b-b}	1.3	1.3	1.3	1.3
proton filling H_{coll}	0.8	0.8	0.8	0.8
luminosity [$10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	1	8	12	15

الجدول (I - 5) : الخصائص الأساسية المتعلقة بالكاشف e h في مصادمات مختلفة.

الفصل الثاني

التطبيقات الحديثة لتفاعل Drell-yan

II - 1 - مقدمة:

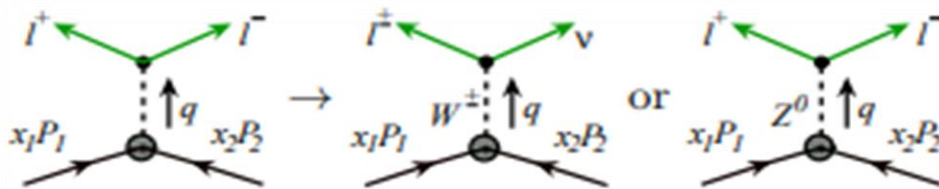
في هذا الفصل سنتطرق لتفاعل Drell-Yan مشيرين من خلاله إلى أهميته مع حساب المقطع الفعال للتفاعل المدروس, كما سنتطرق أيضا إلى التطبيقات الحديثة الناجمة عنه كدوال توزيع البارتون وصولا إلى أهميته في المصادم المستقبلي FCC (Future circular collider) للبحث عن المادة المظلمة DM.

II - 2 - تفاعل Drell-Yan وأهميته:

هو تفاعل كهرومغناطيسي حيث يتم إفناء كوارك وكوارك مضاد من زوج من الهادرونات المتصادمة لإعطاء زوج من اللبتونات (لبتون ولبتون مضاد), هذا التفاعل تم إقتراحه من طرف العالمين Sid Drell و Tung-Mow Yan منذ أكثر من 50 عام والذي يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

$$P_A + P_B \rightarrow l^+ + l^- + \text{anything} \quad (1 - II)$$

حيث لعبت أهميته دورا مهما في التحقق من QCD كنظرية صحيحة للتفاعل القوي والتي أدت أيضا لاكتشاف جسيمات جديدة (charm و beauty و J/ψ وأيضا W و Z), وسيظل هذا التفاعل ذو أهمية كبيرة للبحث عن فيزياء جديدة ما بعد النموذج المعياري في مصادم الجسيمات المستقبلي FCC عند طاقة عالية تصل إلى 100 TeV. بحيث يتميز هذا التفاعل بأنه من أفضل العمليات المدروسة نظريا في مصادم الهادرونات.



الشكل (II - 1): مخططات فينمان لتفاعل Drell-Yan.

II-2-1- حساب المقطع الفعال لتفاعل Drell-Yan لإنتاج زوج لبتوني عند الطاقة : 100 TeV

$$H_1(P_1) + H_2(P_2) \rightarrow \ell^+(l_1) + \ell^-(l_2) \quad (2 - II)$$

سنقوم بحساب المقطع الفعال للتفاعل التالي :

$$q + \bar{q} \rightarrow W^\pm \rightarrow \ell^+ + \nu_\ell \quad (3 - II)$$

II-2-1-1- حساب سعة التفاعل:

باستخدام قوانين فينمان التي تسمح بكتابة سعة التفاعل:

$$M = \bar{v}(p_2) \left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}} \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) \right) u(p_1) \frac{i}{(q^2 + M_w^2)} \\ \times \left[-g_{\mu\nu} + \frac{q_\mu q_\nu}{M_w^2} \right] \bar{u}(p_4) \left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}} \gamma_\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) \right) v(p_3) \quad (4 - II)$$

بحيث: $u(p_1)$ و $\bar{v}(p_2)$ سبينور كوارك وكوارك مضاد واردين على التوالي .

$v(p_3)$ و $\bar{u}(p_4)$ سبينور لبيتون وليبتون مضاد صادرين على التوالي.

تمثل القيمة $\left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}} \gamma_\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) \right)$ قمة التفاعل.

$$M_w \text{ وسيط إنتشار ل} \frac{i}{(q^2 + M_w^2)} \times \left[-g_{\mu\nu} + \frac{q_\mu q_\nu}{M_w^2} \right]$$

وبإهمال الحد $\frac{q_\mu q_\nu}{M_w^2}$ لأن $M_w \gg q_\mu q_\nu$

ومنه تصبح عبارة السعة :

$$M = \left[\frac{-ig_w^2}{2(q^2 + M_w^2)} \left\{ \bar{v}(p_2) \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) u(p_1) \right\} \right. \\ \left. \times \left\{ \bar{u}(p_4) \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) v(p_3) \right\} \right] \quad (5 - II)$$

$v(p, s), u(p, s)$ سبينور ديراك رمزه الأصلي $v(p), u(p)$

2-1-2-II - حساب مربع السعة :

$$|M|^2 = MM^+ \quad (6 - II)$$

ومنه:

$$M^+ = \left[\frac{-ig_w^2}{2(q^2 + M_w^2)} \left\{ \bar{v}(p_2) \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) u(p_1) \right\} \right. \\ \left. \times \left\{ \bar{u}(p_4) \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) v(p_3) \right\} \right]^+ \quad (7 - II)$$

باستعمال خواص جبر Clifford التالية:

$$\bar{v}^+(p_2) = \gamma^0 v(p_2)$$

$$\gamma^0 \gamma^{\mu+} \gamma^0 = \gamma^\mu$$

$$u^+(p_1) \gamma^0 = \bar{u}(p_1)$$

$$[\bar{v}(p_2) \gamma^\mu (1 - \gamma^5) u(p_1)]^+ = \bar{u}(p_1) \gamma^\mu (1 - \gamma^5) v(p_2) \quad (8 - II)$$

$$\bar{v}^+(p_2) \gamma^0 = \bar{v}(p_2)$$

$$\gamma^0 \gamma^{\nu+} \gamma^0 = \gamma^\nu$$

$$\bar{u}^+(p_4) \gamma^0 = \bar{u}(p_4)$$

$$[\bar{u}(p_4)\gamma^\nu(1-\gamma^5)v(p_3)]^+ = \bar{v}(p_3)\gamma^\mu(1-\gamma^5)u(p_4)$$

ومنه تصبغ عبارة مرافق السعة :

$$M^+ = \frac{-ig_w^2}{2(q^2 + M_w^2)} \bar{u}(p_1)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_2) \bar{v}(p_3)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_4) \quad (9 - II)$$

وبالتالي :

$$|M|^2 = \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} \left[\bar{v}(p_2)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_1) \bar{u}(p_1)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_2) \right] \\ \times \left[\bar{u}(p_4)\gamma_\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_3) \bar{v}(p_3)\gamma_\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_4) \right] \quad (10 - II)$$

باستخدام خصائص Dirac spinor :

$$\sum_{\text{spin}} u(p)\bar{u}(p) = \not{p} + m \quad (11 - II)$$

$$\sum_{\text{spin}} v(p)\bar{v}(p) = \not{p} - m \quad (12 - II)$$

يمكن التبسيط إلى :

$$\sum \bar{v}(p_2)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_1) \bar{u}(p_1)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_2) \\ = (\not{p}_2 - m)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) (\not{p}_1 + m)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) \quad (13 - II)$$

$$\begin{aligned} & \sum \bar{u}(p_4)\gamma_\mu\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)v(p_3)\bar{v}(p_3)\gamma^\nu\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)u(p_4) \\ &= (p_4 - m)\gamma_\mu\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right)(p_3 + m)\gamma_\nu\left(\frac{1-\gamma_5}{2}\right) \end{aligned} \quad (14 - II)$$

لدينا :

$$|\bar{M}|^2 = \sum_{\text{spin}} \sum_{\text{color}} |M|^2 \quad (15 - II)$$

$$\begin{aligned} |M|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \text{Tr}[(p_2 - m)\gamma^\mu(1 - \gamma^5)(p_1 + m)\gamma^\nu(1 - \gamma^5)] \\ &\quad \times \text{Tr}[(p_4 - m)\gamma_\mu(1 - \gamma_5)(p_3 + m)\gamma_\nu(1 - \gamma_5)] \end{aligned}$$

يمثل المقدارين $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$ متوسط معامل اللون الكوارك - ضد الكوارك و السبين الإبتدائيين على التوالي .

باستعمال الخاصية :

$$\begin{cases} \text{Tr}(\gamma_5) = 0 \\ \text{Tr}(\gamma^5) = 0 \end{cases}$$

تصبح السعة :

$$\begin{aligned} |M|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} \\ &\quad \times \text{Tr}[(p_2 - m)\gamma^\mu(p_1 + m)\gamma^\nu] \\ &\quad \times \text{Tr}[(p_4 - m)\gamma_\mu(p_3 + m)\gamma_\nu] \end{aligned} \quad (16 - II)$$

بإهمال الكتلة m أمام الطاقة وباستعمال خواص الأثر التالية :

$$\begin{aligned} \text{Tr}[\gamma^\mu\gamma^\nu] &= 4g^{\mu\nu} \\ \text{Tr}[\gamma^\alpha\gamma^\beta\gamma^\mu\gamma^\nu] &= 4[g^{\alpha\beta}g^{\mu\nu} + g^{\alpha\nu}g^{\beta\mu} - g^{\alpha\mu}g^{\beta\nu}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tr}[p_2 \gamma^\mu p_1 \gamma^\nu] &= \text{Tr}[p_2^\sigma \gamma_\sigma \gamma^\mu p_1^\rho \gamma_\rho \gamma^\nu] = p_2^\sigma p_1^\rho \text{Tr}[\gamma_\sigma \gamma^\mu \gamma_\rho \gamma^\nu] \quad (17 - \text{II}) \\ &= 4[p_2^\mu p_1^\nu + p_1^\mu p_2^\nu - g^{\mu\nu}(p_1 p_2)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tr}[p_4 \gamma_\mu p_3 \gamma_\nu] &= \text{Tr}[p_4^\vartheta \gamma_\vartheta \gamma_\mu p_3^\delta \gamma_\delta \gamma_\nu] = p_4^\vartheta p_3^\delta \text{Tr}[\gamma_\vartheta \gamma_\mu \gamma_\delta \gamma_\nu] \\ &= 4[p_{4\mu} p_{3\nu} + p_{3\mu} p_{4\nu} - g_{\mu\nu}(p_3 p_4)] \quad (18 - \text{II}) \end{aligned}$$

بضرب المعادلتين (17 - II) و(18 - II) نجد :

$$\begin{aligned} \text{Tr}[p_2 \gamma^\mu p_1 \gamma^\nu] \times \text{Tr}[p_4 \gamma_\mu p_3 \gamma_\nu] &= 4[p_2^\mu p_1^\nu + p_1^\mu p_2^\nu - g^{\mu\nu}(p_1 p_2)] \\ &\times 4[p_{4\mu} p_{3\nu} + p_{3\mu} p_{4\nu} - g_{\mu\nu}(p_3 p_4)] \\ &= 32[(p_2 p_4)(p_1 p_3) + (p_2 p_3)((p_1 p_4))] \quad (20 - \text{II}) \end{aligned}$$

وبذلك تصبح عبارة السعة :

$$\begin{aligned} |M|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} 32[(p_2 p_4)(p_1 p_3) \\ &+ (p_2 p_3)((p_1 p_4))] \quad (21 - \text{II}) \end{aligned}$$

باستخدام متغيرات *Mandelstam* :

$$\hat{s} = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2 \cong 2p_1 p_2 \cong 2p_3 p_4 \quad (22 - \text{II})$$

$$\hat{t} = (p_1 - p_3)^2 = (p_2 - p_4)^2 \cong -2p_1 p_3 \cong -2p_2 p_4 \quad (23 - \text{II})$$

$$\hat{u} = (p_1 - p_4)^2 = (p_2 - p_3)^2 \cong -2p_1 p_4 \cong -2p_2 p_3 \quad (24 - \text{II})$$

ومنه :

$$\begin{aligned}
& 32[(p_2 p_4)(p_1 p_3) + (p_2 p_3)((p_1 p_4))] \\
& = 8[2(p_2 p_4)2(p_1 p_3) + 2(p_2 p_3)2((p_1 p_4))] \\
& = 8(\hat{t}^2 + \hat{u}^2)
\end{aligned}$$

نكتب السعة بدلالة المتغيرات \hat{u} و \hat{t} و \hat{s}

$$\begin{aligned}
|\bar{M}|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} 8(\hat{t}^2 + \hat{u}^2) \\
&= \frac{1}{24} \frac{g_w^4}{q^2} (\hat{t}^2 + \hat{u}^2) \quad (25 - II)
\end{aligned}$$

تعطى عبارة ثابت البنية الدقيقة:

$$\alpha = \frac{g_w^2}{4\pi} \Rightarrow g_w^4 = (4\pi)^2 \alpha^2 = 16\pi^2 \alpha^2$$

$$q^2 = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2 = \hat{s} \quad \text{ولدينا أيضا:}$$

$$\Rightarrow q^4 = \hat{s}^2$$

ومنه :

$$|\bar{M}|^2 = \frac{2}{3} \pi^2 \alpha^2 \left(\frac{\hat{t}^2 + \hat{u}^2}{\hat{s}^2} \right) \quad (26 - II)$$

في نظام مركز الكتلة لدينا الأشعة الرباعية التالية:

$$p_1 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1,0,0,1) \quad (27 - II)$$

$$p_2 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, 0, 0, -1) \quad (28 - II)$$

$$p_3 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, \sin\theta, 0, \cos\theta) \quad (29 - II)$$

$$p_4 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, \sin\theta, 0, -\cos\theta) \quad (30 - II)$$

بحيث يمكننا كتابة متغيرات *Mandelstam* على الشكل التالي :

$$\begin{cases} \hat{t} \cong -2p_1p_3 = -\frac{\hat{s}}{2} (1, 0, 0, 1)(1, \sin\theta, 0, \cos\theta) \\ \hat{u} \cong -2p_1p_4 = -\frac{\hat{s}}{2} (1, 0, 0, 1)(1, \sin\theta, 0, -\cos\theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \hat{t} \cong -2p_1p_3 = \frac{\hat{s}}{2} (1 - \cos\theta) \\ \hat{u} \cong -2p_1p_4 = -\frac{\hat{s}}{2} (1 + \cos\theta) \end{cases} \quad (31 - II)$$

$$\begin{aligned} \hat{t}^2 + \hat{u}^2 &= \left[\frac{\hat{s}}{2} (1 - \cos\theta)\right]^2 + \left[\frac{-\hat{s}}{2} (1 + \cos\theta)\right]^2 \\ &= \frac{\hat{s}^2}{2} [1 + \cos 2\theta] \end{aligned} \quad (32 - II)$$

ومنه تصبح العلاقة النهائية لمربع السعة كالتالي :

$$|\bar{M}|^2 = \frac{2}{3} \pi^2 \alpha^2 [1 + \cos^2\theta] \quad (33 - II)$$

II-2-1-3 - حساب المقطع الفعال البارتنوني:

حسب القاعدة الذهبية ل Fermi (جداء مربع السعة وفضاء الطور) التي عبارتها من الشكل :

$$d\sigma = \frac{|M|^2}{F} d\varphi \quad (34 - II)$$

$d\varphi$ تمثل فضاء الطور لجسيمين :

$$\begin{aligned} d\varphi &= (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_1 + p_2 - p_3 - p_4) \frac{d^3 p_3}{(2\pi)^3 2E_3} \frac{d^3 p_4}{(2\pi)^3 2E_4} \\ &= \frac{d\cos\theta}{16\pi} \end{aligned} \quad (35 - II)$$

و

$$F = |v_1 - v_2| 2E_1 2E_2 = 4 \sqrt{(p_1 p_2)^2 + m_1^2 m_2^2} \quad (36 - II)$$

$$E_1 E_2 = p_1 p_2 = \frac{\hat{s}}{2} \quad (37 - II)$$

$$d\hat{\sigma} = (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_f - p_i) \frac{1}{|v_1 - v_2| 2E_1 2E_2} \left(\prod_f \frac{d^3 p_f}{(2\pi)^3 2E_f} |M|^2 \right) \quad (38 - II)$$

$$d\hat{\sigma} = \frac{1}{4E_1 E_2} |M|^2 d\varphi = \frac{1}{2\hat{s}} |M|^2 d\varphi \quad (39 - II)$$

بتعويض قيمة مربع السعة في المعادلة الأخيرة نجد عبارة المقطع الفعال التالية :

$$d\hat{\sigma} = \frac{1}{2\hat{s}} \frac{1}{3} \pi^2 \alpha^2 [1 + \cos^2\theta] \frac{d\cos\theta}{16\pi} \quad (40 - II)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\pi\alpha^2}{96\hat{s}} \int_{-1}^{+1} [1 + \cos^2\theta] d\cos\theta \quad (41 - II)$$

حيث:

$$\int_{-1}^{+1} [1 + \cos^2\theta] d\cos\theta = \frac{8}{3}$$

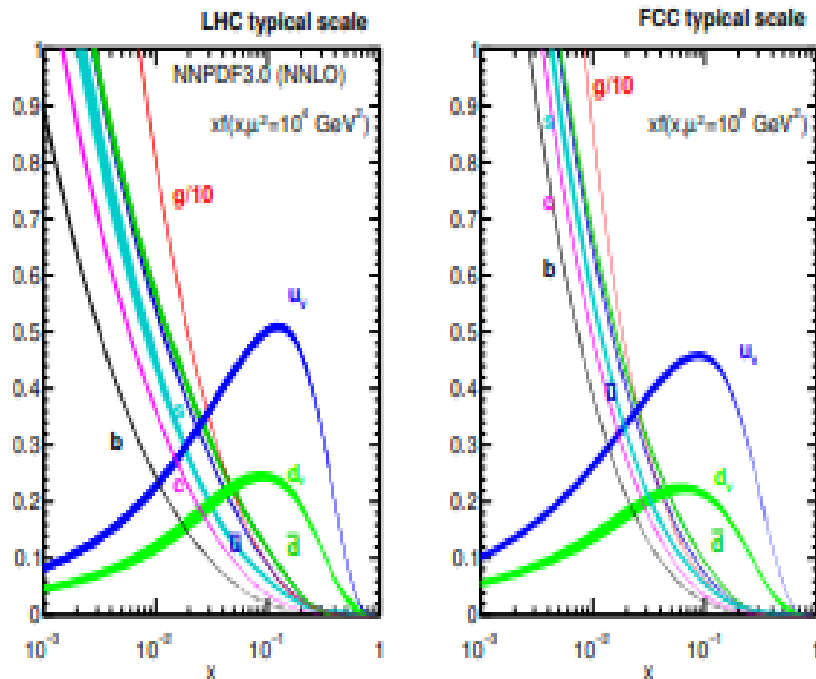
ومنه العبارة النهائية للمقطع الفعال Drell-Yan من الشكل:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{36} \frac{\pi\alpha^2}{\hat{s}} \quad (42 - II)$$

II -2-2- دوال التوزيع البارتنون PDF's:

للحصول على دوال توزيع البارتنون (Parton distribution function) PDF's عن طريق التنبؤات النظرية لمجموعات مختلفة من القياسات التجريبية استنادا إلى مجموعة من دوال توزيع البارتنون PDF , التي تم تحديد ضوابطها على " مقياس بدء "، وتطورت إلى أي مقياس عبر معادلات تطور DGLAP.

حيث نلاحظ في الشكل الموالي الاختلاف الطفيف وذلك راجع إلى الدقة الكبيرة في قياس PDF's في المصادم المستقبلي FCC مقارنة مع المصادم الهادروني LHC وذلك راجع إلى الطاقة والإنارة الكبيرة في المصادم FCC.



الشكل (II - 2): دوال توزيع البارتون في المصادم FCC والمصادم LHC.

II-2-1-4- المقطع الفعال الهادروني الكلي :

يمكننا الحصول على المقطع الفعال الهادروني بدلالة دوال التوزيع البارتوني PDF's والمقطع الفعال البارتوني يتم استخراج PDF's من ملائمة معطيات الانتشار غير المرن باستخدام معادلات التطور DGLAP ، تعطى عبارة التفاعل الهادروني من الشكل :

$$\sigma = \sum_{i,j} \int dx_i, \int dx_j f_j(x_j, Q^2) f_i(x_i, Q^2) \hat{\sigma}(x_i, x_j, Q^2) \quad (43 - II)$$

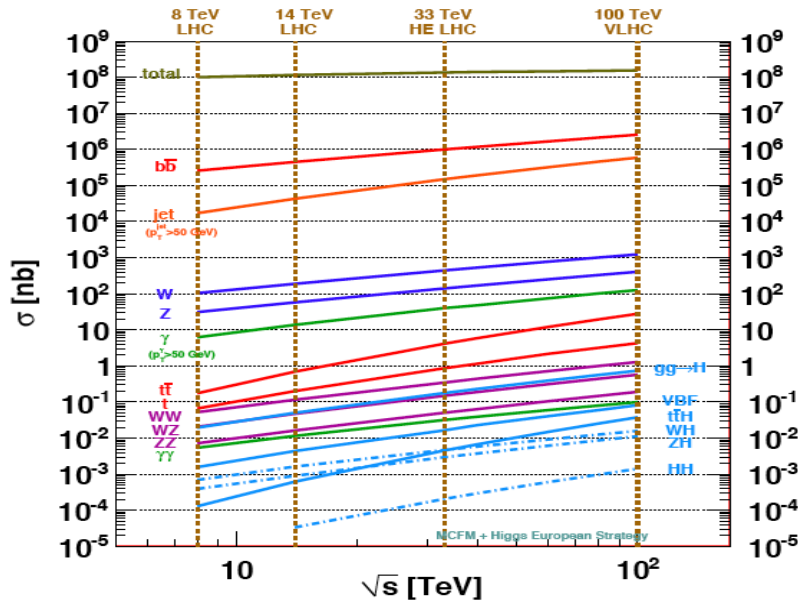
حيث تمثل كل من :

X : العزم الجزئي للبارتون (Parton momentum fraction) .

Q² : مقياس الطاقة المستعملة في التفاعل الرئيسي (Energy scale) .

$\hat{\sigma}(x_i, x_j, Q^2)$: المقطع الفعال البارتوني.

$f_i(x_i, Q^2)$: دالة كثافة الاحتمال للبارتون i في الهادرون.



الشكل (II - 3): منحنى بياني يمثل معدلات الإنتاج الكبيرة للبوزونات W و Z عند طاقة 100 TeV.

II-2-3- أهمية المصادم المستقبلي FCC (Future circular collider) للبحث عن المادة المظلمة DM :

إن من بين الجسيمات المقترحة لتمثل المادة المظلمة من النموذج ما بعد المعياري BSM تلك الجسيمات الضخمة ذات التفاعل الضعيف (WIMPs), كما أن هنالك فرضيات أخرى لاكتشاف طبيعة المادة المظلمة, وهي النيوترينوات العقيمة التي ترتبط بالنيوترينو اليميني وبالتالي فإن المصادم المستقبلي FCC ذو الإنارة العالي سيكون برنامجا مثاليا لحل لغز المادة المظلمة .

تعد آلية التآرجح نموذجا عاما لتفسير كتلة النيوترينوات , كما تم إثبات كتلة النيوترينو من

خلال دراسة تذبذباته بين ثلاث نكهات $\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$, في النموذج ما بعد المعياري تكون النيوترينوات

عبارة عن جسيمات ماجورانا نظرا لطبيعة ماجورانا الثقيلة حيث :

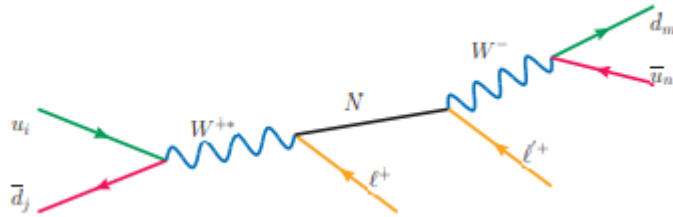
$$m_\nu \approx y_\nu^2 u^2 / m_N$$

m_ν كتلة النيوترينو.

M_N كتلة ماجورانا نيوترينو.

Y_ν^2 عبارة عن إقتران Yukawa للنيوترينو ν بحقل هيغز.

Y قيمة توقع فراغ هيغز في النموذج المعياري .



الشكل (II – 4): مخطط فينمان يمثل إنتاج نيوترينو ماجورانا من خلال تفاعل Drell-Yan.

في الفصل الموالي سنقوم بدراسة محاكاة حول تفاعل Drell Yan الذي من المحتمل جدا أن ينتج عنه نيوترينو ماجورانا في النماذج الفيزيائية ما بعد النموذج المعياري .

الفصل الثالث

دراسة ومحاكاة تفاعل Drell-Yan في المصادمين LHC و FCC

III - مقدمة:

عادة ما يتم اختيار النموذج المعياري SM للتحقق من صحة ما عجز عنه طريق

البحث ما وراء النموذج المعياري BSM, من خلال مقارنة النتائج المتحصل عليها تجريبيا والنتائج النظرية التي تتحقق عادة من قبل المحاكاة النهائية بإستخدام برامج محاكاة كالبرنامج المستعمل في هذا الفصل MadGraph الذي يعتمد على طريقة Monte Carlo الرقمية.

III-1- دراسة محاكاة لتفاعل Drell-Yan في المصادمين LHC و FCC:

يسمح برنامج MadGraph بالقيام بالمحاكاة بالإعتماد على الطريقة الرقمية Monte Carlo لتوليد الأحداث استنادا إلى بيانات حقيقية التي يتم تجميعها من المصادم لإنشاء مخططات فينمان وحساب المقطع الفعال عند مستوى الطاقة والإنارة المطلوبين (قمنا بتعريف الإنارة في الفصل الأول (I – 23) Eq. مع توفير نماذج مختلفة لتفسير مختلف الظواهر الناتجة عن التفاعلات الرئيسية أثناء التصادمات Hard process سواء في إطار النموذج المعياري SM أو ما بعد النموذج المعياري BSM.

يمكن تحميل هذا البرنامج بكل سهولة وبأحدث إصدار له من موقعه على الويب التالي

[https://launchpad.net/mg5amcnlo:](https://launchpad.net/mg5amcnlo)

الشكل (III – 1): موقع تحميل برنامج MadGraph.

III-1-1- تحميل و تثبيت برنامج MadGraph:

يتطلب تثبيت MadGraph نظام تشغيل linux, بعد ذلك نقوم بتنزيل ملف

MG5_aMC_v2.7.0.tar.gz

ثم نتبع الخطوات الموضحة في الشكل الموالي :

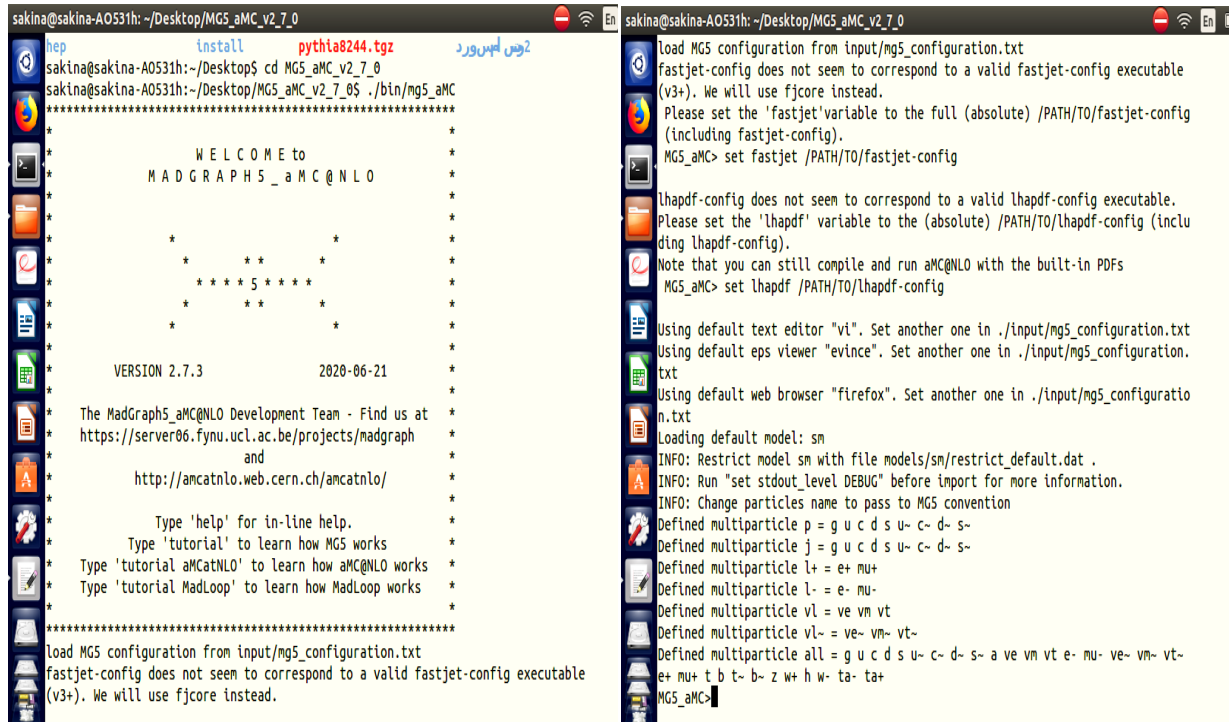
```

sakina@sakina-AO531h: ~/Desktop/MG5_aMC_v2_7_0
sakina@sakina-AO531h:~$ cd Desktop
sakina@sakina-AO531h:~/Desktop$ ls
fastjet_install  HepMC_build      MG5_aMC_v2_7_0      RIVET
fastjet_install s HepMC_install    MG5_aMC_v2.7.0.tar.gz sakina
hep              install          pythia8244          Untitled Document~
sakina@sakina-AO531h:~/Desktop$ cd MG5_aMC_v2_7_0
sakina@sakina-AO531h:~/Desktop/MG5_aMC_v2_7_0$
    
```

الشكل (III – 2): تثبيت برنامج MadGraph.

III-2-1- استكشاف النموذج :

بشكل تلقائي , يكون النموذج المستعمل في المحاكاة هو النموذج المعياري SM وهذا يشمل كل الجسيمات التي يتنبأ بها النموذج المعياري بما في ذلك بوزون هيغز, وتحافظ جميع الجسيمات على نفس تسميته / بإستثناء الفوتون الذي يكون رمزه a بدلا من γ كما هو موضح في الشكل (III – 3), كما يمكن لبرنامج MadGraph أن ينتج 56 تفاعلا.



الشكل (III – 3): حزمة الجسيمات المحملة تلقائياً في برنامج MadGraph.

III-1-3- عمليات التصادم وتوليد الأحداث Events Generation:

III-1-3-a- الحساب الرقمي للمقطع الفعال لتفاعل Drell-Yan:

لحساب المقطع الفعال ورسم البيات يجب تثبيت:

- Pythia6
- Delphes
- MadAnalysis5
- RIVET

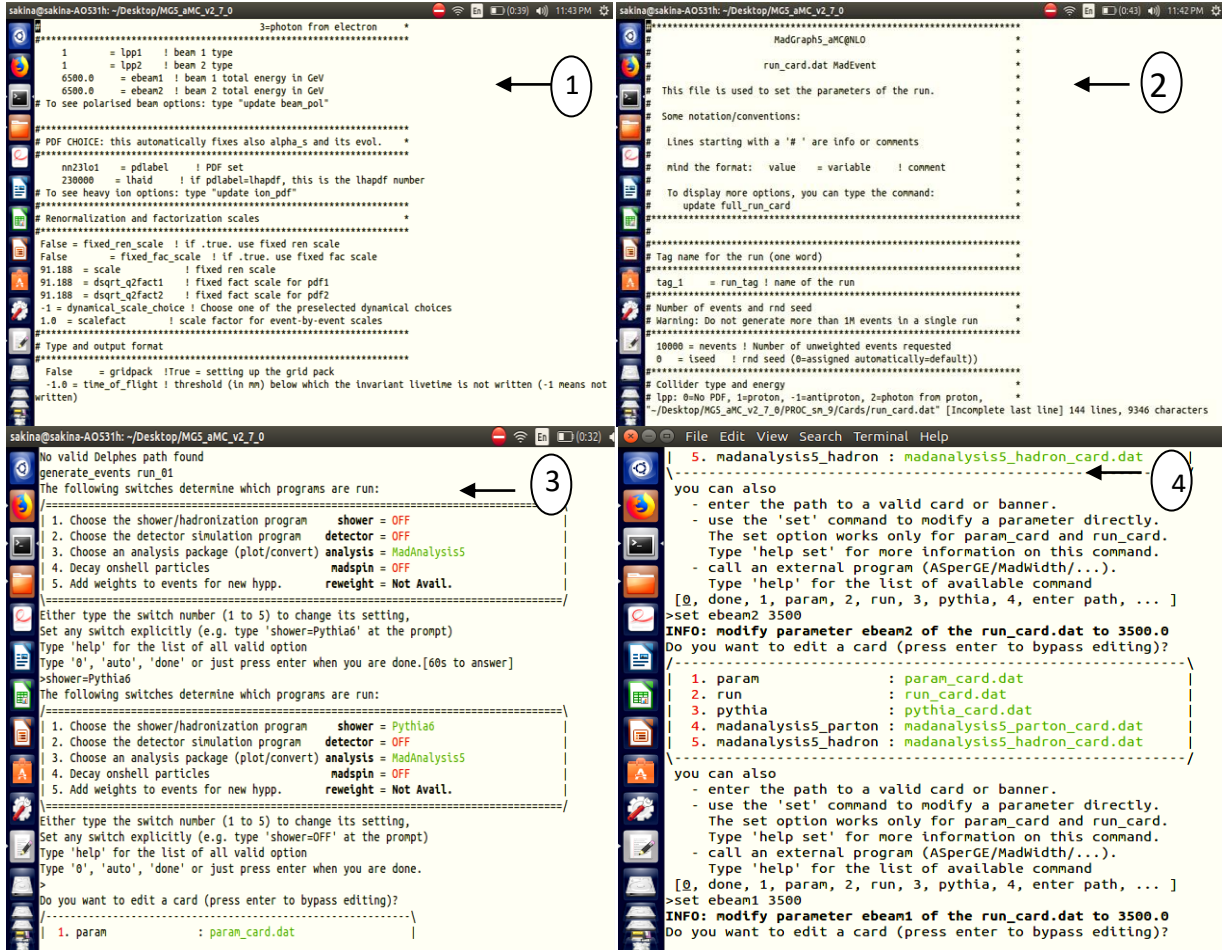
يمكن التأكد من نجاح تثبيت البرامج السابقة في الملف الرئيسي للـ HEPTools MadGraph يمكن للتصادم بروتون- بروتون ان ينتج عنه تفاعل Drell-Yan عن طريق تحلل بوزون W فيما بعد إلى لبتون ولبتون مضاد بحيث ينتج عن هذه العمليات 8 تفاعلات مع 16 مخطط فينمان كما هو موضح في الجدول التالي :

التفاعلات	التفاعلات الفرعية	مخططات فينمان
$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$	$s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$	<p>s c- > ve- e- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$	<p>d u- > ve- e- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$\mu + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	<p>u d- > ve e+ WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	<p>c s- > ve e+ WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$u + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	<p>u d- > mu+ vm WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	<p>c s- > mu+ vm WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>

$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	$s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	<p>s c- > mu- vm- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	<p>d u- > mu- vm- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$	$\mu + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$	<p>u d- > vt ta+ WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$	<p>c s- > vt ta+ WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$	$s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$	<p>s c- > vt- ta- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>
	$d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$	<p>d u- > vt- ta- WEIGHTED=4</p> <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p>

الجدول (III - 1): التفاعلات المحتملة ومخططات فينمان للتفاعل Drell-Yan. بعد التأكد من تثبيت جميع البرامج اللازمة نقوم بعملية المحاكاة لحساب المقطع الفعال في كل من المصادم المستقبلي FCC عند الطاقة 100 TeV والمصادم الهادروني LHC عند الطاقتيين 7TeV و 13TeV في مركز الكتلة.

بحيث اخترنا عدد الأحداث 10000 حدث مع اختلاف الإنارة في كلا المصادمين بطبيعة الحال , علما انه يمكن تغيير كل المعطيات التجريبية من طاقة الحزم وعدد الأحداث والإنارة في بطاقات التشغيل كما هو في الشكل (III – 4) :



الشكل (III – 4): كيفية التعديل على بطاقات (Cards) التشغيل.

Results in the sm for $p p > \nu e e^+$

Available Results

Run	Collider	Banner	Cross section (pb)	Events	Data	Output	Action
run_01	p p 3500.0 x 3500.0 GeV	tag_1	3621 ± 8.2	10000	parton madevent	LHE MA5_report_analysis1	remove run launch detector simulation
					pythia	LOG STDHEP	remove run launch detector simulation
					hadron MA5	analysis2_BasicReco	

الشكل (III – 5): جدول يوضح نتائج حساب المقطع الفعال.

في الجدول الموالي يمكننا تلخيص نتائج المحاكاة الرقمية للمقاطع الفعالة لتفاعل Drell-Yan في المصادمين FCC و LHC عند طاقات مختلفة :

المصادم	LHC		FCC
	7 TeV	13 TeV	100 TeV
الطاقة (TeV)	المقطع الفعال (pb)		المقطع الفعال (pb)
$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$	33750 ± 9.8	1993 ± 4.7	$2.570e4 \pm 77.0$
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	5937 ± 15.9	3621 ± 8.2	$2.810e4 \pm 76.9$
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	3661 ± 9.6	5937 ± 15.9	$2.815e4 \pm 90.0$
$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	3661 ± 8.3	3763 ± 10.0	$2.5521e4 \pm 74.1$
$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$	3618 ± 8.3	5918 ± 14.7	$2.819e4 \pm 65.0$
$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$	1992 ± 4.7	3763 ± 9.2	$2.547e4 \pm 64.8$

الجدول (III – 2): قيم المقاطع الفعالة لتفاعل Drell-Yan في المصادمين FCC و LHC.

مناقشة النتائج:

من خلال دراستنا هذه نلاحظ أن قيمة المقطع الفعال في المصادم المستقبلي FCC عالية جدا مقارنة بتلك المتحصل عليها في المصادم الهادروني LHC نظرا إلى الطاقة والإنارة العاليتين التي ستواجد بالمصادم FCC, يرجع ذلك في الواقع للعلاقة المباشرة للمقطع الفعال بقيم انتقال الاندفاع العرضي P_T والتي تزداد بزيادة الطاقة.

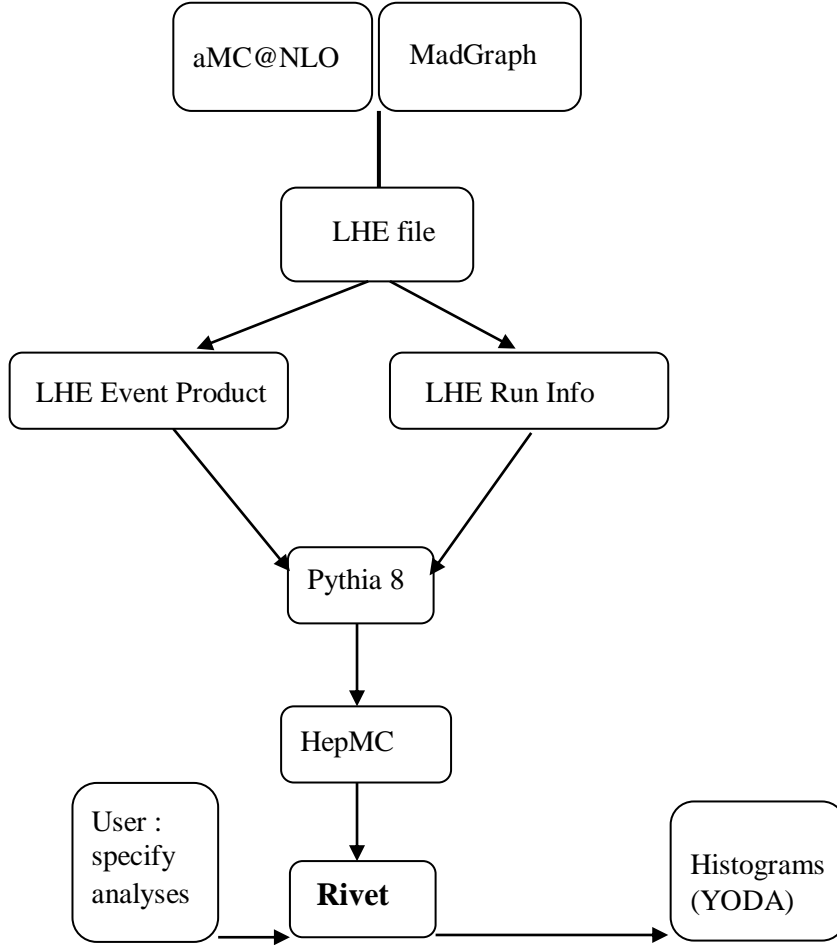
III-1-3-b- حساب الكتلة اللامتغايرة للبوزون W:

يتميز بوزون W بأهمية كبيرة في فيزياء ما بعد النموذج المعياري BSM لعلاقته المباشرة مع إنتاج النيوتريينو الذي يمكن أن يفسر الكثير من الظواهر ويجب على الأسئلة العالقة بخصوص

المادة المظلمة و عليه ارتأينا القيام بالمحاكاة للتأكد من الكتلة اللامتغايرة للبويزون W عند طاقات مختلفة, كما هو موضح في الأشكال (III - 7), (III - 8), (III - 9), (III - 10). من أجل الحصول على البيانات لحساب الكتلة اللامتغايرة للبويزون W يتعين علينا أولاً توليد الأحداث وحساب المقطع الفعال باستخدام MadGraph و تفعيل برنامج Pythia لتوليد شلال البارتنونات (Parton Shower).

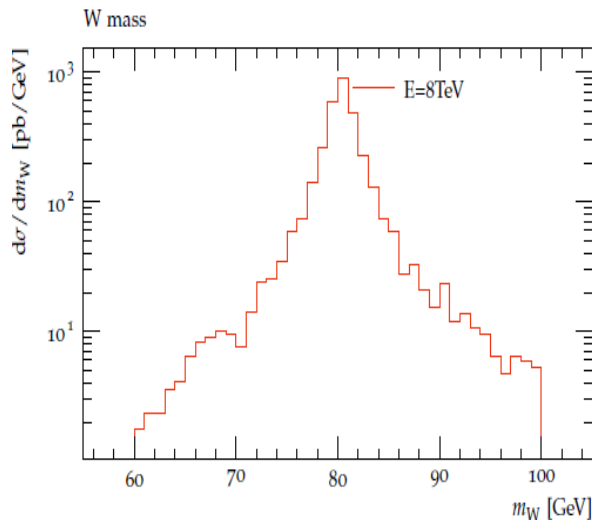
ثم نقوم باستدعاء نظام Rivet, والذي يتم من خلاله ترجمة مخرجات مولدات الأحداث للمصادم LHC وتجارب المصادمات عالية الطاقة كالمصادم المستقبلي وذلك من أجل مقارنة النتائج لتطويرها مستقبلاً.

يستخدم Rivet أيضاً كأرشيف لملفات البيانات المتحصل عليها من LHC على شكل ملفات HepMC, ولإظهار الرسومات البيانية نستخدم برنامج YODA. كما هو موضح في الشكل التالي:

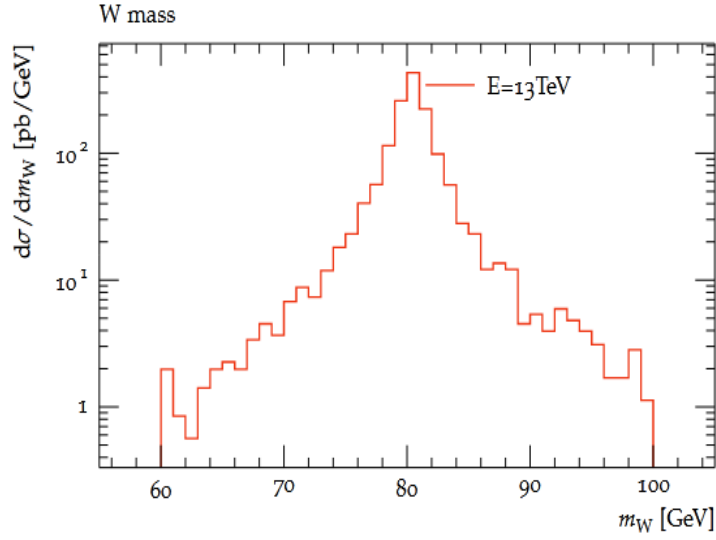


الشكل (III - 6): مخطط يوضح كيفية تلقي المعطيات من أجل رسم البيانات باستعمال برنامج Rivet و YOD.

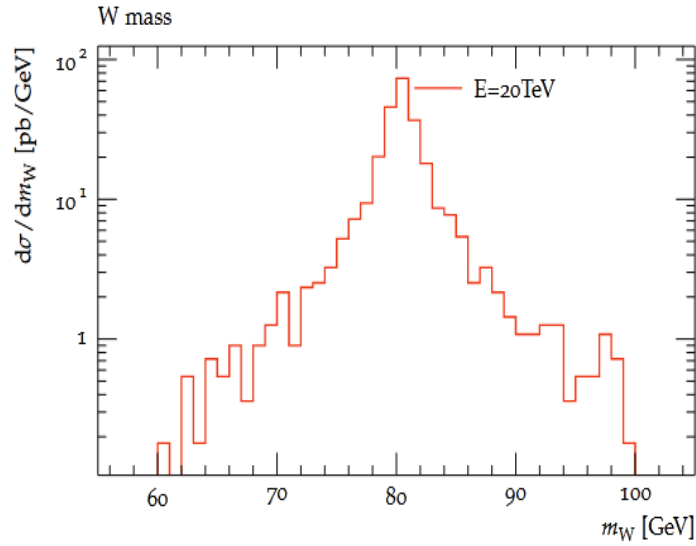
مناقشة النتائج:



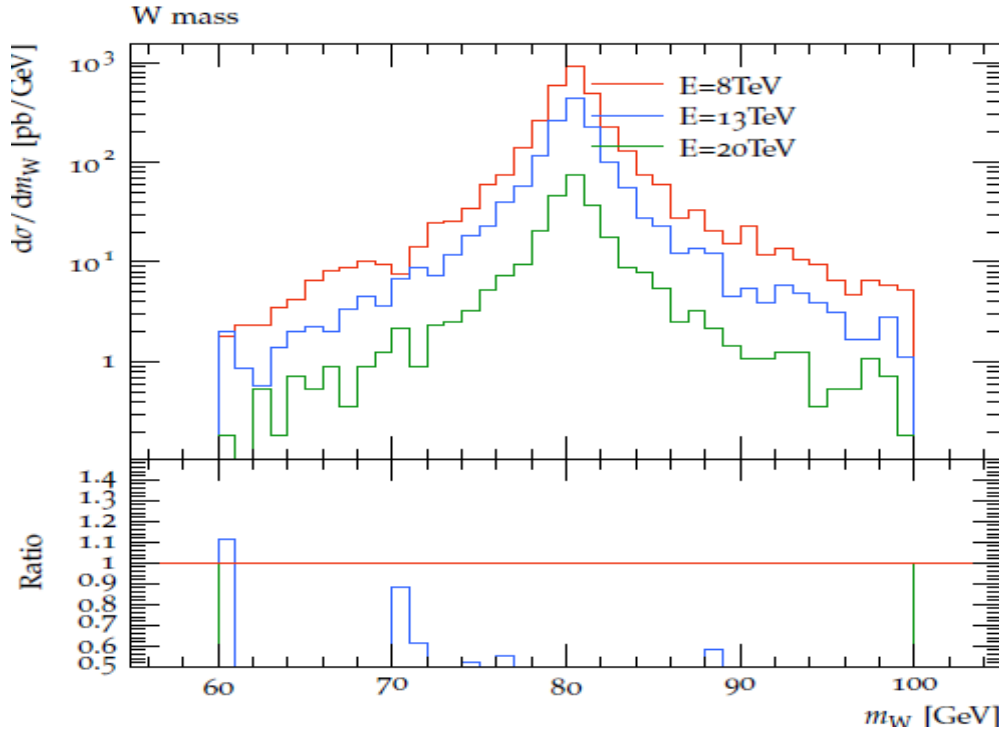
الشكل (III - 7): رسم بياني يبين كتلة بوزون W بإستعمال برنامج Rivet عند الطاقة 8TeV.



الشكل (III – 8): رسم بياني يبين كتلة بوزون W بإستعمال برنامج Rivet عند الطاقة 13TeV.



الشكل (III – 9): رسم بياني يبين كتلة بوزون W بإستعمال برنامج Rivet عند الطاقة 20TeV.



الشكل (III – 10): رسم بياني مقارن يوضح كتلة البوزون W عند طاقات مختلفة.

من خلال الرسوم البيانية المتحصل عليها نلاحظ أن كتلة البوزون W متواجدة في المجال [80-83], مهما كانت طاقة الحزم المتصادمة عند مركز الكتلة, وهذا ما يتناسب مع الدراسة النظرية والتجريبية في إطار النموذج المعياري. كما يجب التنويه اننا حاولنا محاكاة الكتلة اللامتغايرة في المصادم المستقبلي FCC عند الطاقة 100TeV, ولكن حال دون ذلك ضخامة البيانات التي لا يمكن معالجتها في الكمبيوتر الشخصي, بحيث يتطلب ذلك محطة حساب ذات قدرة سرعة حسابية عالية, ولذا اکتفينا بحساب الكتلة اللامتغايرة عند الطاقة 20TeV كحد اقصى, كما هو موضح في الشكل (III – 9) كل النتائج المتحصل عليها تتوافق مع القيمة النظرية و القيمة المقاسة تجريبيا للكتلة اللامتغايرة للبوزون W.

خاتمة:

في هذا العمل قمنا بدراسة ظواهرية للتفاعلات الأساسية لكل من المصادمين LHC و FCC, حيث قدمنا وصف عام للتفاعلات القوية ذات التناظر اللوني بين البارتونات وفقا لنظرية الكروموديناميك الكمي الاضطرابي عند الطاقات العليا, قدمنا عرض حال للمصادم المستقبلي FCC و أهميته في الكشف عن فيزياء ما بعد النموذج المعياري, وأعطينا كمثال على ذلك المادة المظلمة والنيوترينو.

كما قمنا بدراسة تفاعل Drell-Yan عن طريق انتاج بوزون W الذي تكمن أهميته في ارتباطه الوثيق بالنيوترينو, والذي يمكن ان يكون مرشحا قويا لتفسير مكونات المادة المظلمة, حيث قمنا بحساب المقطع تحليليا عبر حساب السعة وفضاء الطور ثم حسابيا باستخدام برامج مولدات الاحداث Pythia, Rivet, MadGraph من أجل التأكد من القيمة النظرية للكتلة اللامتغايرة لبوزون W, حسب ما تنبأ به النموذج المعياري مع تغيير طاقة مركز الكتلة و الإنارة كما هو وارد في الدراسات النظرية في المصادمين FCC و LHC .

حيث بينت المحاكاة التي قمنا بها أن التغيير في طاقة التصادم لكل حزمة لا تؤثر على حساب الكتلة اللامتغايرة للبوزون الافتراضي W ولكن تؤثر على ارتيابات القياس .

في الأخير نستنتج أن المعطيات الفيزيائية وشروط التجربة تأثر مباشرة على القياسات وكذلك على المحاكاة التي بدورها تستند إلى بيانات حقيقية ولكنها بالتأكيد لا تؤثر على الخصائص الذاتية للجسيمات مثل الكتلة اللامتغايرة للبوزون W, الشحنة, السبين... إلخ. كما نستنتج أن المحاكاة والحساب الرقمي جد فعالة للتعامل مع المصادمات بسبب كثرة المتغيرات ووفرة البيانات وهي تعطي نتائج مرضية عموما وتتوافق مع النظرية المثبتة تجريبيا.

قائمة المصادر و المراجع

- [1] J.L.Lopes, Gauge Field Theories, An Introduction, Pergamon Press (1981)
- [2] M.Thomson, Modern particle physics. Cambridge University Press (2013)
- [3] E.Redouane-Salah, Cours Détecteurs et Accélérateurs ,Université de M'sila ,December 12th, 2018
- [4] T.P.Cheng and L. F. Li, Gauge Theory Of Elementary Particle Physics,Oxford, Uk , Clarendon (1984) P 536 (Oxford Science Publications) J. F. Donoghue, E. Golowich and B. R. Holstein, Dynamics of the standard model,Cambridge Monographies on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology 2 (1992) 1.
- [5] L.Buonocore, M.Grazzini, S.Kallweit, C.Savoini, & F. Tramontano (2021) Mixed QCD-electroweak corrections to $p p \rightarrow l \nu l^+ X$ at the LHC. Physical Review D, 103(11) 114012.
- [6] T.Schwetz, M.A.Tortola, J.W. F.Valle, New J.Phys. 10, 113011 (2008)
- [7] E.Komatsu et all [WMAP Collaboration] Astrophys. J. Suppl. 192, 18 (2011)
- [8] S.L.Glashow, Nucl. Phys. 22, 579 (1961) A. Salam and J. C. Ward, Phys. Lett. 13 (1964) 168, S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19, 1264 (1967)
- [9] E.S.Abers and B.W.Lee, Phys. Rept. 1 (1973) 1.
- [10] I.J.R.Aitchison and A.J.G.Hey, Gauge Theories In Particle Physics, Bristol,UK : Hilger (1989) p 571, F. Halzen and A. D. Martin, Quarks And Leptons : An Introductory Course In Modern Particle Physics, New York, Usa Wiley (1984) p 396.
- [11] S.Weinberg, Eur. Phys. J.C 34 (2004) 5 [arXiv :hep-ph/0401010].
- [12] D.Y.Bardin and G.Passarino, The standard model in the making: Precision study of the electroweak interactions, Oxford UK, Clarendon (1999)
- [13] Web page <https://fcc.web.cern.ch/Pages/default.aspx>
- [14] M.Kuze (May 2018) Energy-frontier lepton-hadron collisions at CERN: The LHeC and the FCC-eh. In International Journal of Modern Physics: Conference Series (Vol. p 46. 1860081) World Scientific Publishing Company.

- [15] A.Abada, M.Abbrescia, S.S.AbdusSalam, I.Abdyukhanov, J.A.Fernandez, A. Abramov, C.Biscari (2019) FCC-ee, the lepton collider. The European Physical Journal Special Topics, 228(2) 261-623.
- [16] J.C.Peng, J.W.Qiu (2016) The Drell-Yan Process. The Universe, 4(JLAB-THY-16-2409, DOE/OR/23177-4031)
- [17] A.Anisimov et all. Exclusive and Inclusive Decays of the B_c Meson in the Light-Front ISGW Model. arXiv preprint hep-ph/9809249, 1998.
- [18] S.Naseem, S.Nasri, R.Soualah (October 2019) Dark matter searches as new physics at the future circular collider (FCC) In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1258, No. p 1, 012017) IOP Publishing.
- [19] M.Benedikt, A.Blondel, P. Janot, M. Klein, M.Mangano, M.Mc Cullough, F.Zimmermann (2019) Future circular colliders. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 69, 389.
- [20] Web page <https://fcc-cdr.web.cern.ch/>
- [21] N.Bacchetta, J.Blaising, J.E.Brondolin, M.Dam, D.Dannheim, K. Elsener, M.A.Weber (2019) CLD--A Detector Concept for the FCC-ee. arXiv preprint arXiv:1911.12230.
- [22] Web page [https://indico.cern.ch/event/437912/contributions/1938541/attachments/1167957/1684617/Carrazza FCC.pdf](https://indico.cern.ch/event/437912/contributions/1938541/attachments/1167957/1684617/Carrazza_FCC.pdf)
- [23] FCC COLLABORATION et all. FCC-hh: The Hadron Collider: Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 3. European Physical Journal: Special Topics, 2019, 228.4: 755-1107.
- [24] Web page <https://conference.ippp.dur.ac.uk/event/933/contributions/4932/attachments/3978/4570/FCCeh.pdf>
- [25] D.Alva, T.Han, R.Ruiz (2015) Heavy Majorana neutrinos from $W\gamma$ fusion at hadron colliders. Journal of High Energy Physics, 2015(2) 1-42.
- [26] P.Lebrun, L.Tavian (2015) Beyond the Large Hadron Collider: a first look at cryogenics for CERN future circular colliders. Physics Procedia, 67, 768-775.
- [27] MadGraph, [https:// launchpad. net/ mg5amcnlo](https://launchpad.net/mg5amcnlo)

[28] PYTHIA 6.4 Physics and Manual, <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0603175>

[29] MadAnalysis 5, a user-friendly framework for collider phenomenology, <https://arxiv.org/abs/1206.1599>

[30] MadGraph 5: Going Beyond, <https://arxiv.org/abs/1106.0522>

[31] R.Boughezal and all , W-boson production in association with a jet at next-to-next-to-leading order in perturbative QCD, Phys.Rev.Lett, 2015

[32] و.مجناح دراسة فينوميولوجية لإنتاج البوزون w عن طريق تفاعل Drell-Yan في التصادم بروتون بروتون. 2020 Master Thesis.

ملخص:

في هذا العمل سلطنا الضوء على أهمية المصادم المستقبلي Future Circular Collider (FCC) ودوره المحتمل في الكشف عن الفيزياء ما بعد النموذج المعياري وكذلك تدقيق القياسات السابقة لمختلف المقادير الفيزيائية التي تم حسابها في المصادم LHC.

كما تطرقنا إلى دراسة تحليلية وحسابية مفصلة لتفاعل Drell-Yan عن طريق إنتاج بوزون W لارتباطه الوثيق بفيزياء النيوتريينو وإمكانية إجابته على بعض الأسئلة حول المادة المظلمة.

Abstract:

In this work we highlighted the importance of Future Circuller Collider (FCC), and its role in the dedection of new physics beyond standard model and precision mesurrments of standard model already done by LHC.

We also studied the Drell-Yan process throughout the production of the boson W , we have calculated the cross section analytically and numerically, due on its importance in Dark Matter DM researches.

Résumé:

Dans ce travail, nous avons mis en évidence l'importance du Future Circular Cullider (FCC), et son rôle dans la détermination de la nouvelle physique au-delà du modèle standard ainsi que les mesures de précision du modèle standard déjà effectuées LHC.

Nous avons également étudié le processus Drell-Yan pour production du boson W , nous avons calculé la section efficace analytiquement et numériquement, en déduisant la masse invariante du boson W , en raison de son importance dans les recherches sur la matière noire DM.