

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



ميدان: علوم المادة
فرع: الفيزياء
تخصص: فيزياء نظرية

كلية: العلوم
قسم: الفيزياء
رقم: Ph/TH/07/2020

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي
إعداد الطالبة: مجناح وردة

تحت عنوان

دراسة فينومينولوجية لإنتاج البوزون w عن طريق تفاعل

Drell-Yan في التصادم بروتون - بروتون

تمت المناقشة يوم 24 / 09 / 2020 أمام اللجنة المكونة من:

| | | |
|---------------|---------------|-------------------------|
| مناقشا | جامعة المسيلة | الأستاذ: بعجي بن |
| مشرفة و مقررة | جامعة المسيلة | الأستاذة: رضوان صالح أ. |
| مناقشة | جامعة المسيلة | الأستاذة: بوشلاغم ف. |

السنة الجامعية: 2020/2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر وعرّفان

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء و المرسلين نبينا
مُحَمَّدٍ وعلى اله وصحبه أجمعين.

أما بعد:

فإنني أشكر الله تعالى وافر الشكر أن وفقني و أعانني على إتمام هذا العمل
المتواضع راجية أن يعود بالنفع و الفائدة ، فالحمد لك ربي حتى ترضى و إذا
رضيت وبعده الرضا .

ثم أتقدم بالثناء و العرفان بالجميل إلى الأستاذة المشرفة 'أ. رضوان صالح'
على وهبها لي دفعا جديدا لإنجاز هذا العمل مع توجيهاتها ونصائحها
المستمرة.

كما أتوجه بشكري إلى أساتذة قسم الفيزياء وأخص بالذكر أساتذة الفيزياء
النظرية الذين رافقونا طيلة السنوات الدراسية الجامعية.

كما لا يفوتني أن أتقدم بجزيل الشكر لكل من مد لي يد العون في انجاز هذا
العمل من قريب أو بعيد.

إهداء

الحمد لله حتى يبلغ الحمد منتهاه ...

أهدي ثمرة جهدي المتواضعة إلى من حصدا الأشواك عن دربي ليمهدا لي طريق العلم والنجاح إلى من سهر الليالي وضحيا بالنفس والنفيس حتى أصل هذه اللحظة ، إلى نورا حياتي وبهجتها إلى من كانا عوننا لي وسندا أينما أحل ، إلى من منحنا لي العزيمة والقوة لمواصلة الدرب وزيناه لي بشموع الفرح ، إلى والدي الكريمين الغاليين حفظهما الله .

إلى الذين شاركوني أفراحي وأحزاني إخوتي وأخواتي .

إلى صغار العائلة : عبد الرحمان ، روضة ، مريم آلاء الرحمان .

إلى من علموني الأبجدية وعرسوا في نفسي حب العلم والمعرفة أساتذتي الأجلاء عبر كل المراحل التعليمية من الابتدائية إلى الجامعية .

إلى من جمعني بهم الأقدار يوما فأحببتهم وأحبوني صديقاتي العزيزات .

الفهرس

| | |
|--|---|
| 01 | مقدمة عامة |
| الفصل الأول: مدخل لفيزياء الجسيمات الأولية والمسرات | |
| 04 | I- مقدمة |
| 04 | I-1- الدراسة النظرية |
| 04 | I-1-1- النموذج المعياري والجسيمات الأولية |
| 06 | I-2-1- نظرية الكروموديناميك الكمي (QCD) |
| 07 | I-1-2-1- دالة لاغرانج (Lagrangian) للتفاعلات القوية |
| 09 | I-2-2-1- الحرية المقاربة (Asymptotic freedom) |
| 09 | I-3-2-1- الاحتباس اللوني (colour confinement) |
| 09 | I-4-2-1- ثابت الاقتران α_s (The coupling constant) |
| 11 | I-2- الدراسة التجريبية |
| 11 | I-1-2- تجارب فيزياء الجسيمات الأولية |
| 12 | I-2-2- فيزياء المسرات والمصادمات |
| 12 | I-1-2-2- مبدأ و عملية التسريع |
| 13 | I-2-2-2- أنواع المسرات والمصادمات |
| 13 | I-1-2-2-2- المسرات الخطية (Linear Accelerators) |
| 14 | I-1-1-2-2-2-1- المسرع الخطي LINAC |
| 15 | I-2-1-2-2-2-1- مسرع SLAC |

- 15.....2-2-2-2-I المسرعات الدورانية
- 15.....2-2-2-2-I Cyclotron المسرع الدوراني
- 16.....2-2-2-2-I Synchrotron المسرع الدوراني التزامني
- 19.....3-2-2-I أنواع المصادمات (مصادم الهدف الثابت و مصادم الحزمتين)
- 20.....4-2-2-I الإنارة (Luminosity)
- 22.....5-2-2-I الكواشف (Detectors)
- 22.....1-5-2-2-I كاشف أطلس ATLAS
- 23.....2-5-2-2-I كاشف CMS
- 23.....3-5-2-2-I كاشف LHCb
- 24.....4-5-2-2-I كاشف ALICE

الفصل الثاني: تفاعل Drell -Yan

- 26.....1-II مقدمة
- 26.....2-II تفاعل Drell-Yan وأهميته التاريخية
- 27.....1-2-II حساب المقطع الفعال Drell-Yan لإنتاج زوج لبتوني عند المستوى الأدنى للطاقة
- 27.....1-1-2-II حساب سعة التفاعل
- 34.....2-1-2-II حساب المقطع الفعال البارتنوني
- 36.....3-1-2-II المقطع الفعال الهادروني (الكلي)
- 36.....2-2-II التطبيقات الحديثة لتفاعل Drell -Yan
- 38.....3-2-II دوال توزيع البارتنون (PDF's)

الفصل الثالث : دراسة ومحاكاة تفاعل Drell-Yan في المستوى الأدنى و الأعلى للطاقة

| | |
|----|---|
| 40 | III-1- مقدمة |
| 40 | III-2- دراسة محاكاة للمقطع الفعال البارتنوني لتفاعل Drell-Yan عند المستويين الأدنى و الأعلى للطاقة LO و NLO |
| 41 | III-2-1- برنامج MadGraph |
| 50 | III-3- إنتاج البوزونات الشعاعية والنفائات (jets) في مصادم LHC |
| 51 | III-3-1- ماهي النفائات (jets)؟ |
| 52 | III-3-2- محاكاة التفاعلات رفقة النفائات |
| 56 | III-3-3- التطبيقات الظاهرية (Phenomenological applications) لعمليات W+jet |
| 56 | III-4- المصادم المستقبلي بروتون بروتون عالي الطاقة |
| 58 | الخاتمة |
| 59 | الملحق |
| 61 | قائمة المصادر والمراجع |

الملخص

قائمة الأشكال

- الشكل (1-I): الجسيمات الأولية و أعدادها الكمية 05
- الشكل (2-I) : توضيح لثابت الاقتران α_s بدلالة Q ، وبحساب نظري وفي تفاعلات فيزيائية ذات مقاييس مختلفة 11
- الشكل (3-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الخطي LINAC 14
- الشكل (4-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الدوراني Cyclotron 16
- الشكل (5-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الدوراني Synchrotron 17
- الشكل (6-I) : رسم تخطيطي يوضح هندسة ووظائف أجزاء مسارات LHC 19
- الشكل (7-I) : رسم تخطيطي يوضح نوعي المصادمين الهدف الثابت على اليمين والحزمتين على اليسار 19
- الشكل (8-I) : كاشف ATLAS 22
- الشكل (9-I) : كاشف CMS 23
- الشكل (10-I) : كاشف LHCb 24
- الشكل (11-I) : كاشف ALICE 24
- الشكل (1-II): رسم تخطيطي لآلية إنتاج زوج لبتوني ضخم في تصادمات هادرون – هادرون الذي اقترحه Drell-Yan 27
- الشكل (2-II): معظم التحديدات الدقيقة لكتلة بوزون W من خلال تفاعل Drell-Y 37
- الشكل (3-II) : دوال توزيع البارتنون 38
- الشكل (1- III) : مخطط يوضح كيفية تلقي المعطيات من أجل رسم البيانات باستعمال برنامجي Rivet و YODA 49
- الشكل (2- III): رسم بياني يبين كتلة بوزون W باستعمال برنامج Rivet 50

الشكل (3-III) : النفائات في تجربة CMS لمصادم LHC.....51

الشكل (4-III) : تطور المصادمات مع طاقات التصادم57

قائمة الجداول

- الجدول (1-I) : خصائص الكواركات07
- الجدول (2-I) : خصائص مصادم LHC18
- الجدول (3-I) : المصادمات الأخيرة والمستقبلية حيث تعطى الإنارة بالوحدة $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ والطاقة بـ GeV21
- الجدول (1- III) : أدوات وواجهات برنامج MadGraph41
- الجدول (2- III) : مخططات فاينمان للتفاعلين 1 و 244
- الجدول (3- III) : مخططات فاينمان للتفاعلين 3 و 445
- الجدول (4- III) : مخططات فاينمان للتفاعلين 5 و 646
- الجدول (5- III) : المقاطع الفعالة للتفاعلات الفرعية في إنتاج بوزون W (التفاعلين 1 و 2 و 3)47
- الجدول (6- III) : المقاطع الفعالة للتفاعلات الفرعية في إنتاج بوزون W (التفاعلين 4 و 5 و 6)48
- الجدول (7- III) : مخططات فاينمان للتفاعل 1 رفقة النفاثات53
- الجدول (8- III) : مخططات فاينمان للتفاعل 2 رفقة النفاثات54
- الجدول (9- III) : قيم المقاطع الفعالة للتفاعلات والتفاعلات الفرعية في حضور النفاثات وإسهاماتها في إنتاج بوزون W55

تدرس فيزياء الطاقة العالية في المسرعات المكونات الأولية للمادة والقوى الأساسية المتعلقة بها و تعد فيزياء الجسيمات الأولية احد فروع هذا النوع من مجالات الفيزياء ، قد تم وصف هذه الأخيرة بالنموذج المعياري الذي يعتبر نظرية أساسية لفهم تفاعلات الجسيمات باستثناء قوة الجاذبية.

تقتضي دراسات مجال فيزياء الطاقة العالية تجارب على مستوى مسرعات الجسيمات التي تستوجب طاقات عالية جداً، بالإضافة إلى فرض كواشف ذات حساسية فائقة حيث يمكن من خلال هذه الآليات والأجهزة التجريبية اختبار قوانين الفيزياء، وعلى سبيل المثال نذكر المصادم الهادروني الكبير (LHC) Large Hadron Collider ، الذي تم إطلاقه في سبتمبر 2008 في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (The European Organization for Nuclear Research) أو (CERN).

تهيمن أربع قوى أساسية على الكون والمتمثلة في الجاذبية، القوة الكهرومغناطيسية، القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة ، حيث أن سبب ظهور هذه القوى هو تبادل الفوتونات ، بوزونات W و Z و الغليونات (Gluons) .

نظرية الكروموديناميك الكمي (Quantum Chromodynamic) أو اختصارا QCD هي نظرية تصف التفاعلات القوية بين الكواركات والغليونات في إطار النموذج المعياري ، تمت دراسة QCD انطلاقاً من التشابه المفترض مع نظرية QED ولهذا تم توجب اعتبار نظرية QCD نظرية اضطرابية، يتميز هذا النوع من النظريات بتناظر يدعى الصمود العياري (Gauge invariance) والذي يلعب بدوره دوراً مهماً في المعالجات النظرية لـ QED و QCD كما يستخدم لاستنتاج التفاعلات بشكل مفصل ، ويسمى هذا النوع من النظريات بالنظريات العيارية أو القياسية (Gauge Theories).

تعد بوزونات W أحد أهم الجسيمات الأولية المكتشفة التي ساهمت في إثبات نظرية النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات ناهيك عن المساهمة في النظرية الكهروضعيفة (Electroweak Theory)، يعود اكتشافها من خلال تفاعلات تفككها إلى جسيمات أخرى وقد كان أول تفكك لها إلى جسيمات أولية أخرى : إلكترون و نوترينو الكتروني أو بوزيترون ومضاد نوترينو الكتروني وذلك حسب شحنة W ، تتميز هذه البوزونات بكتلة قدرها 80.4 GeV التي تم رصدها من خلال مصادم بروتون وبروتون مضاد (CERN) و تم تأكيد قياسها من خلال المصادم الأكبر إلكترون بوزيترون التابع لـ CERN رفقة Tevatron، كما تكمن أهميتها باعتبارها كوسيط في التفاعلات الضعيفة ومساهمتها في التفاعلات الكهرومغناطيسية بسبب شحنتها.

يعتبر تفاعل Drell-Yan المقترح من قبل العالمين Sidney Drell و Tung-Mow Yan قبل 45 عامًا تفاعلًا مهمًا و أساسيًا لدوره في اكتشاف العديد من الجسيمات الأولية القوية واقترح هذا التفاعل لوصف تصادم هادرون-هادرون أين يتصادم كوارك وضد كوارك ناتجا عنه زوج متمثل في لبتون ولبتون مضاد ، كما يعتبر هذا التفاعل وسيلة يمكن من خلالها فحص البنيات البارتونية للهادرونات وقد نتج عن دراسة تفاعل Drell-Yan اكتشاف جسيمات أولية جديدة ، حيث أن في السبعينيات تم اكتشاف كل من كوارك charm وكوارك beauty كجيلين آخرين لعائلة الكواركات بعدما كانت تحوي بدورها على كل من Up و Down و Strange ، ويعد ميزون J/ψ أول جسيم يحتوي على كوارك Charm المكتشف من قبل فريق عمل لمختبر SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) ، ثم اكتشاف البوزونين W و Z في الثمانينات في مسرع Linac (Linear Accelerator) في CERN ، كما سيظل هذا التفاعل أداة مهمة للبحث عن الفيزياء الحديثة ، يركز عملنا على الدراسة النظرية والتجريبية للمقطع الفعال لتفاعل Drell-Yan .

تم تنظيم المحتوى الرئيسي لهذا العمل في ثلاثة فصول ؛ حيث أن الفصل الأول سيتم فيه التطرق إلى مدخل حول فيزياء الطاقة العالية المندرجة بجانبها النظري والتجريبي في إطار نظرية النموذج المعياري مع التركيز على نظرية الكروموديناميك الكمي (QCD) .

أما بالنسبة إلى الفصل الثاني سيكون اهتمامنا يتمحور حول تفاعل Drell-Yan ، حيث سنشير إلى الأهمية التاريخية و التطبيقات الحديثة للتفاعل ، مع حساب المقاطع الفعالة في الإطار النظري ، وأيضا سنتطرق من خلاله إلى كتلة بوزون W بالإضافة إلى دوال توزيع البارتون (Parton Distribution Function) ، كما سنذكر الأبحاث الجديدة الفيزيائية مع Drell-Yan كخاتما لهذا الفصل .

في الفصل الثالث من هذه المذكرة ستتم دراسة المقطع الفعال البارتوني Drell-Yan المفصل للتفاعل المدروس في المستوى الأدنى و الأعلى للطاقة محاكاةً ببرنامج MadGraph5_aMC@NLO، مشيرين بذلك إلى دراسة إنتاج النفاثات (Jets) و بوزونات شعاعية في LHC، ختاماً للفصل الأخير سنتطرق لمصادم مستقبلي بروتون بروتون عالي الطاقة .

الفصل الأول :

مدخل لفيزياء الجسيمات
والمسرعات

I-مقدمة:

في هذا الفصل سنتطرق إلى مدخل حول فيزياء الجسيمات الأولية بكلتا الجانبين النظري والتجريبي حيث أننا سنناقش كدراسة نظرية النموذج المعياري في إطار ما يسمى بمجال فيزياء الجسيمات الأولية مشيرين بذلك إلى بعض المفاهيم الفيزيائية التي تنطوي وتنحسر في هذا المجال ، مع التركيز على نظرية الكروموديناميك الكمي التي تركز بدورها على دراسة التفاعلات القوية ذات التناظر اللوني ، أما الجانب التجريبي سيكون مرتكزا بالدرجة الأولى على المصادمات والمسرات الفيزيائية التي تخضع لها الجسيمات .

I-1- الدراسة النظرية

I-1-1- النموذج المعياري والجسيمات الأولية :

النموذج المعياري (Standard Model) هو احد الاكتشافات المهمة التي اكتشفت أساسا لفهم تركيب وبناء المادة ومختلف الجسيمات الأولية المكونة لها والتي تحكمها أربع قوى أساسية ، كما يعتبر هذا النموذج نظرية ذات أسس تجريبية متينة مساعدة على فهم كيفية عمل هذه الجسيمات . استنادا على شكلية رياضية ، تم إعطاء بنية لنظريات الحقول الكمية في إطار النظريات المعيارية (Gauge theories) و ارتكازا على زمر التناظر المحلية (Local symetries) التي تأخذ شكل زمر Lie ، لذلك فالنموذج المعياري تم تطويره انطلاقا من زمرة Gauge التالية :

$$SU(3)_C \otimes SU(2)_I \otimes U(1)_Y$$

و هذا بعد المرور بعدة مراحل انطلاقا من QED الذي يصف الكهرومغناطيسية وفي إطار النظرية المعيارية التبادلية مع الزمرة U(1)، ومرورا بالتفاعل الضعيف الموصوف بـ SU(2) تم تطويره الى التفاعل الكهروضعيف (electroweak) الموصوف بزمرة Gauge التالية :

$$SU(2)_I \otimes U(1)_Y$$

و أخيرا إدخال QCD عن طريق الزمرة SU(3)_C (التفاعل القوي).

فيزياء الجسيمات الأولية هي المجال الذي يدرس كيفية بناء المادة بالإضافة أنه يفسر مكوناتها بكل صورها في المسرات ، وانطلاقا من النموذج المعياري الذي تنبأ لنا بمعرفة الجسيمات الأولية فهي منقسمة إلى شطرين عائلة الفرميونات ذات Spin نصف صحيح والتي تحوي بدورها على مجموعتين اللبتونات و الكواركات بحيث كل مجموعة تحتوي على ستة من نفس النوع معطية بذلك العدد الإجمالي للفرميونات

والمكون من اثنا عشر فرميونا ، بالإضافة إلى العائلة الثانية المسماة عائلة البوزونات ذات Spin الصحيح والتي تحوي أيضا على اثنا عشر بوزونا حاملا للقوة الأساسية ، كما هو موضح في الشكل أدناه (1-I).

| QUARKS | | | GAUGE BOSONS | |
|--|--|---|--|--|
| UP mass 2,3 MeV/c ² charge 2/3 spin 1/2 u | CHARM 1,275 GeV/c ² 2/3 1/2 c | TOP 173,07 GeV/c ² 2/3 1/2 t | GLUON 0 0 1 g | HIGGS BOSON 126 GeV/c ² 0 0 H |
| DOWN 4,8 MeV/c ² -1/3 1/2 d | STRANGE 95 MeV/c ² -1/3 1/2 s | BOTTOM 4,18 GeV/c ² -1/3 1/2 b | PHOTON 0 0 1 γ | |
| LEPTONS | | | Z BOSON 91,2 GeV/c ² 0 1 Z | |
| ELECTRON 0,511 MeV/c ² -1 1/2 e | MUON 105,7 MeV/c ² -1 1/2 μ | TAU 1,777 GeV/c ² -1 1/2 τ | W BOSON 80,4 GeV/c ² ±1 1 W | |
| ELECTRON NEUTRINO <2,2 eV/c ² 0 1/2 ν_e | MUON NEUTRINO <0,17 MeV/c ² 0 1/2 ν_μ | TAU NEUTRINO <15,5 MeV/c ² 0 1/2 ν_τ | | |

الشكل (1-I): الجسيمات الأولية و أعدادها الكمية [1]

اللبتونات : هي جسيمات أولية خفيفة تابعة لعائلة الفرميونات وسميت خصوصا بهذا الاسم نظرا لكتلتها الصغيرة التي هي نسبيا ضعيفة ما يتعقب عنه صعوبة في رصدها والكشف عنها ، حيث أن هذا النوع من الجسيمات يخضع لإحصائيات فارمي ديراك لكونها تتميز ب Spin ذو العدد نصف الصحيح ، وتعرف بثلاث عائلات كل منها تظهر على شكل زوجين وتحتوي بدورها على :

$$\begin{pmatrix} \nu_{e-} \\ e^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_{\mu} \\ \mu \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_{\tau} \\ \tau \end{pmatrix}$$

الكواركات : جسيمات أولية وتعتبر إحدى المكونات الأساسية للمادة حسب نظرية النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات رفقة اللبتونات ، ومن المعروف أنها تتأثر وتدخل في التفاعلات الثلاث كما انه من المستحيل أن تكون بشكل حر في الطبيعة بل تبدو بشكل مترابط .

الهادرونات : مجموع الجسيمات الثقيلة المنشطرة إلى مجموعتين : يدعى النوع الأول بالميزونات (MESONS) التي هي جسيمات سلمية ذات Spin المنعدم ما يرجع بهذا لكونها تتكون من كوارك و كوارك مضاد \bar{q} و q مثل : البيونات π ، أما بالنسبة للنوع الثاني فيدعى الباربيونات (BARYONS)

وتتكون من ثلاثي كواركات qqq مما يكسبها الطبيعة الفرميونية ومثالا على هذا : البروتون (proton) التي ستقوم عليه دراستنا بالدرجة الأولى .

من بين الخصائص التي تختص بها الهادرونات أنها تتفاعل في التفاعلات القوية كما أنها تحمل شحنة كهربائية صحيحة، إضافة إلى هذا فإنها تتكون رفقة الكواركات من بحر غليونات حيث أن هذه الأخيرة تعد حاملة للقوى النووية القوية مع حبسها وحصرها للكواركات داخل الهادرون.

I-1-2- نظرية الكروموديناميك الكمي (QCD) :

الكروموديناميك الكمي أو ما يسمى بـ QCD هي نظرية تصف التفاعلات القوية في النموذج المعياري كما يعود نشأة هذه النظرية إلى لملمة كم هائل من المعلومات والنتائج والأفكار التجريبية ، وتعد أنها القوة الرابطة بين الكواركات و الكواركات المضادة رفقة الغليونات داخل الهادرون ، و تتميز هذه النظرية بخاصيتين هما الاحتباس أو الحصر اللوني والحرية المقاربة ، وهي نظريات عيارية لأنها صامدة بتحويلات عيارية [2] ، ويعد هذا الأخير انه صمود غير تبديلي ما يجعل QCD نظرية عيارية غير تبديلية بحتة رفقة زمرة اللون $SU(3)$ ، موفية بالشروط الآتية :

- ❖ عدد درجات الحرية للون هي ثلاثة : وهذا ما يفسر إن الكواركات منتمية إلى التمثيل الثلاثي من الزمرة .
- ❖ الباريونات و الميزونات جسيمات عضوية للزمرة .
- ❖ الحالات ذات الشكل qq أو $q\bar{q}$ للكواركات ليست ضمن أعضاء الزمرة (كذلك الحالات $qqqq$ ، ...).
- ❖ مضادات الكواركات تختلف عن الكواركات : وهذا ما يوحي إلى وجوب كون التمثيل الثلاثي مركبا .

تعد مكونات المادة الهادرونية والمتمثلة في الكواركات كبنية أساسية ترتكز عليها نظرية الكروموديناميك الكمي و للكواركات خصائص معروفة مدرجة في الجدول (I-1) :

| Quark | Charge | Mass | Baryon Number | Isospin |
|-------|----------------|------------------------|---------------|----------------|
| u | $+\frac{2}{3}$ | $\sim 4 \text{ MeV}$ | $\frac{1}{3}$ | $+\frac{1}{2}$ |
| d | $-\frac{1}{3}$ | $\sim 7 \text{ MeV}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{2}$ |
| c | $+\frac{2}{3}$ | $\sim 1.5 \text{ GeV}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 |
| s | $-\frac{1}{3}$ | $\sim 135 \text{ MeV}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 |
| t | $+\frac{2}{3}$ | $\sim 175 \text{ GeV}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 |
| b | $-\frac{1}{3}$ | $\sim 5 \text{ GeV}$ | $\frac{1}{3}$ | 0 |

الجدول (1-I): خصائص الكواركات [3]

1-2-1-I- دالة لاغرانج (Lagrangian) للتفاعلات القوية :

في نظرية QCD يستوجب أي حساب اضطرابي اللجوء إلى قواعد فاينمان لكونها تصف تفاعلات الكواركات و الغليونات حيث أن هذه القواعد مشتقة ومستنتجة من كثافة لاغرانج ، لهذا سنعطي موجز قصير عن أهم الحدود اللازمة مع التعريف الرياضي بالحقول والموترات التابعة لعبارة كثافة لاغرانج ،تعطى هذه الأخيرة في QCD بالعلاقة التالية :

$$\mathcal{L}_{QCD} = \mathcal{L}_{gluon} + \mathcal{L}_{quarks} + \mathcal{L}_{gauge-fixing} + \mathcal{L}_{ghost}$$

مع :

$$\mathcal{L}_{gluon} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F_a^{\mu\nu} \quad \diamond$$

$$\mathcal{L}_{quarks} = \bar{\psi}_j(x)(iD_{ij} - m)\psi_i \quad \diamond$$

$$\mathcal{L}_{gauge-fixing} = -\frac{1}{2\xi} (\partial_\mu A_a^\mu)^2 \quad \diamond$$

$$\mathcal{L}_{ghost} = \partial_\mu \eta^{a+} (D_{ab}^\mu \eta^b) \quad \diamond$$

وبتعويض هذه الحدود في العبارة الكلية :

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{QCD}(x) = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a(x) F_a^{\mu\nu}(x) + \bar{\psi}_j(x)(iD_{ij} - m)\psi_i - \frac{1}{2\xi} (\partial_\mu A_a^\mu(x))^2 \\ & + \partial_\mu \eta^{a+} (D_{ab}^\mu \eta^b) \end{aligned}$$

حيث تمثل كل من :

- μ و ν مؤشرات لورنتز (spinor indices)
- $\bar{\psi}_j$ حقل الكواركات (Dirac spinor)

- المؤشرات (i,j= 1,2,3) : تمثيلات ثلاثية الألوان
{
 - Red** أحمر
 - Green** أخضر
 - Blue** أزرق

- $F_{\mu\nu}^a$ موتر قوة الحقل المشتق من حقل الغليونات A_a^μ وتعطى عبارته كالاتي :

$$F_{\mu\nu}^a = \partial_\mu A_\nu^a - \partial_\nu A_\mu^a + gf^{abc} A_\mu^b A_\nu^c$$

✓ A_a^μ حقل الغليون (The gluon field) .

✓ $f^{abc}(a, b, c=1, \dots, 8)$ ثوابت بنية الزمرة SU(3) .

✓ a, b, c درجات الحرية اللونية لحقل الغليون .

(The eight colour degrees of freedom of the gluon field)

✓ η^b حقل عددي مركب يتبع إحصاء فيرمي (Fermi-statistics) .

❖ المشتق التغايري (Covariant Derivative) :

يعرف كما يلي :

$$\begin{cases} D_{ij}^\mu = \partial^\mu \delta_{ij} + ig(T^c)_{ij} A^{c\mu} \\ D_{ab}^\mu = \partial^\mu \delta_{ab} + ig(F^c)_{ab} A^{c\mu} \end{cases}$$

حيث :

المصفوفات T هي عبارة عن مولدات في التمثيل الأساسي SU(3) .

(generators in the fundamentele representation SU(3))

المصفوفات F هي عبارة عن مولدات في التمثيل المساعد SU(3) .

(generators in the adjointe representation SU(3))

I-1-2-2-2- الحرة المقاربة (Asymptotic freedom):

يعد هذا المفهوم احد خصائص نظرية QCD في الطاقات العالية ، يعتبر كخطوة أولى لشرح وتفسير ضرورة استخدام نظرية الاضطراب في مجال الطاقات العالية ، وعندما تكون الطاقة منخفضة ينتج عنه تفاعلا قويا ما بين الكواركات و الغليونات يؤدي إلى حبسها داخل الهادرونات المركبة وهذا هو سبب عدم إمكانية فصل الكوارك عن بقية الكواركات .

I-1-2-3- الاحتباس اللوني (color confinement):

تعتبر هذه الخاصية وفي إطار نظرية QCD أصلا لوجود جسيمات الهادرونات وهي إحدى الخواص المميزة للجسيمات ذات الشحنة اللونية حيث لا يمكن أن تكون هذه الأخيرة معزولة ولا يمكن أن تلاحظ إلا برفقة جسيمات أخرى محققة قانون إجمالي الشحنة يساوي الصفر أي معدوما .

للتفاعل القوي دورا مهما في تركيب هذا المفهوم (الاحتباس اللوني) حيث أن بفعل هذه التفاعل وبتزايد طرديا مع المسافة يمكن لنظام كواركات أن يجذب آخر إلى غاية إفناء الشحنة اللونية ما يمكنه بذلك بتشكيل حالات مستقرة : الهادرونات ، وكما أشرنا سابقا بأن الكواركات لا يمكن تواجدها في الحالة الحرة ، فالأنظمة الهادرونية مستقرة كانت أو غير مستقرة يستوجب أن تكون شحنتها اللونية معدومة ' وهذا ما يسمى بالاحتباس اللوني .

I-1-2-4- ثابت الاقتران (The coupling constant) α_s :

هو مقدار يميز شدة التفاعلات القوية و يتناسب تناسبا عكسيا مع الطاقة بحيث يأخذ قيمة كبيرة عند طاقة منخفضة (Low Energy) ويكون صغيرا عند طاقة عالية (High Energy).

وفي تطرق وجيز وانطلاقا من معادلة β function يمكن تحديد الثابت α_s بدلالة Q انطلاقا من إعادة تقنين مجموع المعادلات مع النشر الاضطرابي للدالة β من الدرجة الثالثة وفي نظرية QCD [3] :

$$Q^2 \frac{\partial \alpha_s}{\partial Q^2} = \beta(\alpha_s)$$

مع :

$$\beta(\alpha_s) = -b\alpha_s^2(1 + b'\alpha_s + b''\alpha_s^2 + O(\alpha_s^3))$$

أين :

$$b = \frac{(11C_A - 2n_f)}{12\pi} = \frac{(33 - 2n_f)}{12\pi}$$

$$b' = \frac{(17C_A^2 - 5C_An_f - 3C_A)}{2\pi(11C_A - n_f)} = \frac{(153 - 19n_f)}{2\pi(33 - 2n_f)}$$

$$b'' = \frac{(2857C_A^3 + (54C_F^2 - 615C_FC_A - 1415C_A^2)n_f + (66C_F + 79C_A)n_f^2)}{288\pi^2(11C_A - 2n_f)}$$

$$= \frac{(77139 - 15099n_f + 325n_f^2)}{288\pi^2(33 - 2n_f)}$$

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{\alpha_s(\mu^2)}{1 + \alpha_s(\mu^2)bt} , \quad t = \ln \frac{Q^2}{\mu^2}$$

مع:

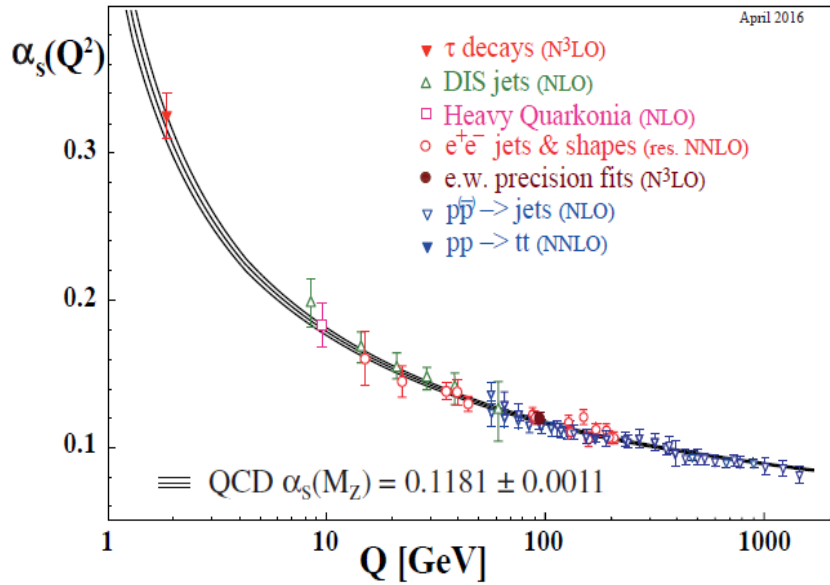
Q : مقياس الطاقة (Energy scale) .

n_f : عدد النكهات الخفيفة النشطة (The number of active light flavours) .

C_A ، C_F : الثوابت اللونية للكواركات والغلونات .

تعطي العبارة الأخيرة العلاقة بين $\alpha_s(Q^2)$ و $\alpha_s(\mu^2)$ إذا كان كلاهما في المنطقة المضطربة .

إذا تقلل و اقترب ثابت الاقتران من الصفر فمن الواضح أن t يصبح جد كبير وهذه هي خاصية الحرية المقاربة [3].



الشكل (2-I) : توضيح لثابت الاقتران α_s بدلالة Q ، وبحساب نظري وفي تفاعلات فيزيائية ذات مقاييس مختلفة [1]

2-I- الدراسة التجريبية

1-2-I- تجارب فيزياء الجسيمات الأولية :

الرغبة في فهم الجسيمات الأولية واكتشاف الطبيعة كانت دافعا لان تكون التجارب المنطوية في مجال فيزياء الجسيمات الأولية تستوجب ثلاث حدودا [4] :

- **حد الطاقة (Energy Frontier)** : يستخدم المصادمات في طاقة عالية من أجل اكتشاف جسيمات جديدة والتحقق المباشر من هندسة القوى الأساسية .
- **حد الشدة (Intensity Frontier)**: يستخدم حزم جسيمات شديدة الطاقة و عديمة الشحنة و الكواشف ذات الكتلة و الحجم .
- **الحد الكوني (الحدود الكونية) (Cosmic Frontier)**: يستخدم التجارب تحت الأرض والتلسكوبات لدراسة النوترينو و المادة والطاقة المظلمتين ، واستخدم الجسيمات الكونية عالية الطاقة للبحث عن الظواهر الجديدة .

I-2-2 - فيزياء المسرعات والمصادمات :

تتميز معظم تجارب فيزياء الطاقة العالية باستنادها على المسرعات كونها تسرع وتساهم في اكتشاف الجسيمات كما أنها تعتبر آلات يتم من خلالها تصادم ذرات بذرات أو بجسيمات أخرى دون الذرية بغية اكتشاف بنية هذه الأجسام ويحدث التصادم عادة عند سرعة تقارب سرعة الضوء يرافقه خلق جسيمات جديدة رفقة إطلاق إشعاعات تساعد على فهم بنية المادة مع دراسة النواتج من خلال الكواشف (Detectors) ، ويعد التقدم النظري والتجريبي في الظواهر الأساسية سببا رئيسا في تطور مسرعات الجسيمات المشحونة ومبادئها الأساسية [5]. وعلى سبيل الذكر نخص ثلاث أنواع من المسرعات والمتمثلة في المسرعات الدورانية: السنكروترونات (Synchrotrons) و السيكلوترونات (cyclotrons)، إضافة إلى المسرعات الخطية (Linear accelerators).

I-2-2-1 -مبدأ و عملية التسريع :

يتكون المسرع من ثلاثة أجزاء رئيسية والمتمثلة في :

1/ مصدر الجسيمات المشحونة أو مصدر الأيونات .

2/ آلية التسريع والتي يتم من خلالها تسريع وتوجيه وتركيز الجسيمات المشحونة حتى تصل إلى الطاقة المطلوبة و التي صمم المسرع من اجلها.

3/ منطقة التجربة : المنطقة التي يتم فيها الاستفادة من هذه الجسيمات المشحونة وتختلف طبيعة هذه المنطقة فمن الممكن أن تكون مادة معدنية أو منطقة غازية وقد تكون أيضا جسيمات أخرى مسرعة من مكان آخر أو من مسرع آخر.

تكميلا، وإضافة لهذا تفريغ المسرع، بمعنى أن هذه الجسيمات المشحونة لو أنتجت في المصدر الأيوني فإنها لن تستطيع الانتقال سنتمترا واحدا، لذلك من الضروري وضع كل هذا التركيب داخل أنابيب خاصة، وهذا الأنبوب يفترض أن يتم تفريغ الهواء من داخله إلى اقل حد ممكن، بحيث أن هذه الجسيمات المشحونة يمكن أن تتحرك بحرية وتنتقل من نقطة البداية إلى نقطة النهاية، دون أن تتصادم مع ذرات الغاز مثلا، لذلك تقنيات التفريغ مهمة جدا في موضوع المسرعات ولا يوجد أي مسرع في العالم إلا ومعه مضخات خاصة تقوم بتفريغ الهواء من داخل هذه الأنابيب التي نسميها غرف التفريغ أو cavities.

تعتبر الأجزاء الثلاثة المذكورة سالفا هي الأجزاء الأساسية في أي مسرع مهما اختلف حجمه ونوعه، إضافة إلى هذه الأجزاء يوجد أدوات مكملة لمعرفة الجسيمات الخاضعة لعملية التسريع مع توصيلها الطاقة

المطلوبة من عدم وكمية الجسيمات التي وصلت والتي فقدت أثناء هذه العملية مع تحديد مسارها، بالإضافة إلى إمكانية انتقالها إلى منطقة الهدف بالمواصفات المطلوبة من ناحيتي العرض و الحجم أو كمية ما وصل منها غير كاف لإجراء التجربة هذا كله يعرف بأدوات تشخيص الحزمة الأيونية .

تقتضي عملية التسريع ضرورة كون الجسيمات مشحونة (موجبة أو سالبة) وقد تكون هذه الجسيمات الكترونات أو بروتونات أو أي ذرة مؤينة (أي ذرة مجردة أو مكتسبة إلكترون، أو أكثر) .

تعد قوة التسريع قوة مؤثرة على شحنة كهربائية تتحرك في حقل كهربائي، أو حقل مغناطيسي وهي ما تسمى بقوة لورنتز والتي هي عبارة عن جمع اتجاهي بين قوتين و تعطى بالعلاقة التالية:

e : الشحنة، V : السرعة

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = e(\vec{E} + \vec{V} \wedge \vec{B})$$

مع : E : الحقل الكهربائي

B : الحقل المغناطيسي

تستخدم الحقول الكهربائية لغرض تسريع الجسيمات والزيادة في الاندفاع أما المغناطيسية فتستخدم لحني مسارها ويكون اكبر كلما ارتفعت قيمة الطاقة .

I-2-2-2 - أنواع المسرات والمصادمات :

تنقسم المسرات إلى فرعين رئيسيين إحداهما مسرات خطية ما يعني أن الجسيمات يتم تسريعها في خط مستقيم والأخرى دائرية أي أن الجسيمات يتم تسريعها في مسار دائري ، وقد يمكن الدمج بين هذين النوعين أي قد يكون هناك مخبر يتكون منهما الاثني الخطي والدائري معا .

I-2-2-2-1 - المسرات الخطية (Linear Accelerators) :

يختص هذا النوع من المسرات بالجسيمات المشحونة فقط كالإلكترونات أو البروتونات ، ويعد فقدان الطاقة للمصادمات التزامنية عبر الإشعاع السينكروني عائقا رئيسا في كون المسرات الدورانية غير الأنسب مقارنة بالمسرات الخطية ما جعل التفكير في هذه الأخيرة يكون أنجع الحلول و أنجحها من حيث العمل (احتفاظ الجسيمات بطاقتها) والتكلفة ، كما تظهر مركبة من سلسلة أنابيب اسطوانية مفرغة من الهواء ومزودة بالكترودات اسطوانية الشكل وخضوع هذه الأخيرة لمصدر جهد متناوب ، و يتم بذلك تسريع الجسيمات المشحونة .

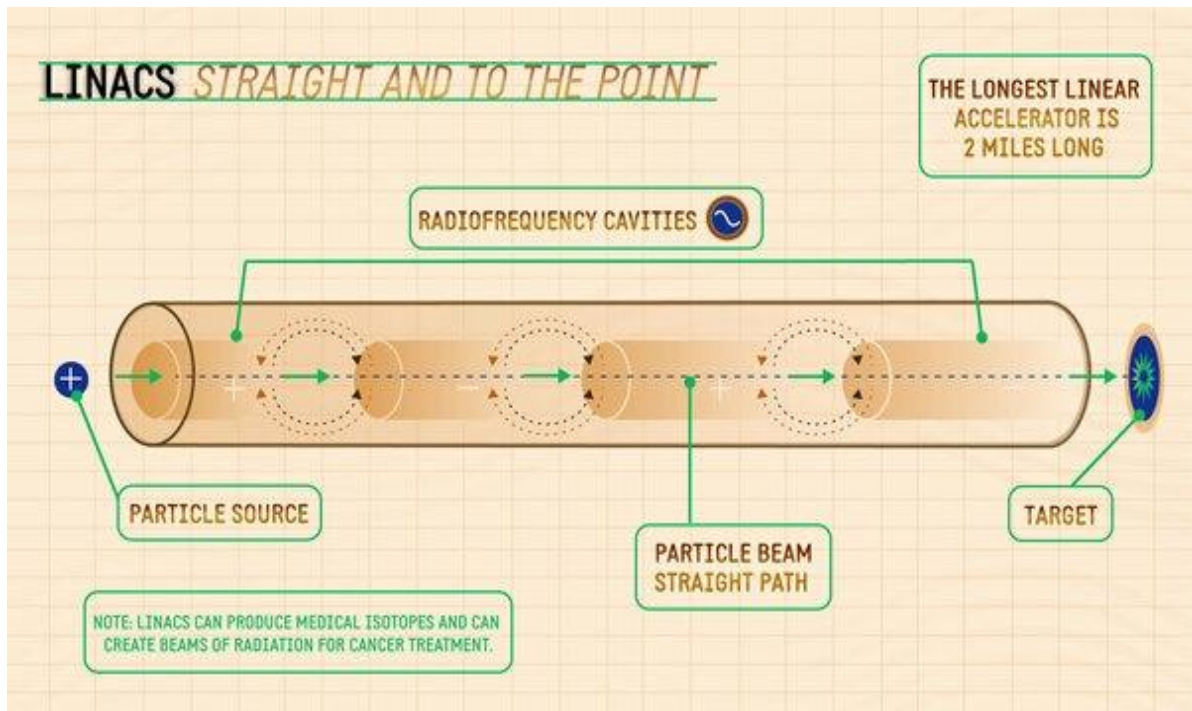
1-1-2-2-2-I - المسرع الخطي LINAC :

يدعى المسرع الخطي باسم LINAC ويرتكز مبدأ عمله على التزامن بين السرعة التي يكتسبها الجسيم المشحون بين الأسطوانات مع المجال الكهربائي المتناوب المسلط عليها، ويظهر على شكل أنبوب اسطواني مفرغ من الهواء يتركب من سلسلة الكترودات ترتبط ببعضها بواسطة مصدر جهد متناوب ، ما يعود هذا الأخير إلى اكتساب الجسيمات المسرعة طاقة وبالتالي اندفاعها داخل الأسطوانة تحت تأثير قوة الجذب الاكتروستاتيكي خلال فترة من الزمن تساوي نصف الزمن الدوري لفرق الجهد المتناوب ، إلى حين أن تتغير قطبية الأسطوانة التي تليها .

يزداد طول الاكترود كلما زادت سرعة الجسيمة ويتناقص كلما تناقصت سرعتها ويعبر على هذا التناسب بالعلاقة التالية :

$$l = \frac{v}{2f}$$

مع : v تمثل سرعة الجسيمات ، f التردد



الشكل (3-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الخطي LINAC [6]

2-1-2-2-2-I - مسرع SLAC :

يعد SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) مسرعا خطيا للجسيمات الأولية يعمل على تسريع الالكترونات و البوزيترونات بهدف إحداث عملية تصادمها ، يصل طوله إلى 3.2 km ، وتم على مستواه تجربة الانتشار غير المرن بين إلكترون و هادرون لأول مرة والتي تعتبر الفكرة الأساسية لنموذج البارتنون .

2-2-2-2-2-I - المسرعات الدورانية :

المسرعات الدورانية هي عبارة عن أجهزة في شكل حلقات ضخمة ووراء هذه الحلقات تكمن فكرة هذا النوع من المسرعات حيث أنها تحوي مجالين : مغناطيسي وكهربائي ؛ الأول يعمل على احناء الجسيمات والثاني يستخدم لتسريعها .

2-2-2-2-2-I -1- المسرع الدوري Cyclotron :

يعد مسرع الجسيمات الدائري Cyclotron من أقدم المسرعات الدورانية ، ويتركب من تجويفان معدنيان نصف دائريين متقابلين يأخذان شكل الحرف D بغية تكوينهما دائرة تتمركزها فجوة صغيرة و يتوضع هذا التركيب بين قطبين شمالي وجنوبي لمغناطيس كهربائي وذلك بغية جعل الجسيمات تدور حول الجزء المنحني بينما يعمل المجال الكهربائي الموضوع في الفجوة على تسريعها ، وبعد تسريع الجسيمات تندفع على نحو حلزوني وتتزايد سرعتها لكن الفترات الزمنية الفاصلة بين مرات عبورها الفجوة تظل ثابتة [7].

وفي لمحة رياضية :

الحقل الكهربائي داخل التجويف يكون منعدما لذلك فان معادلة الحركة تكتب على النحو التالي [8] :

$$\frac{dp}{dt} = \gamma m \frac{d}{dt} v = qv \times B$$

السرعة v ثابتة ، ومن أجل حقل منتظم وثابت ، إذا السرعة الابتدائية تكون عمودية على اتجاه B فان المسار سيكون دائري بينما يبقى في المستوى العمودي على B لان :

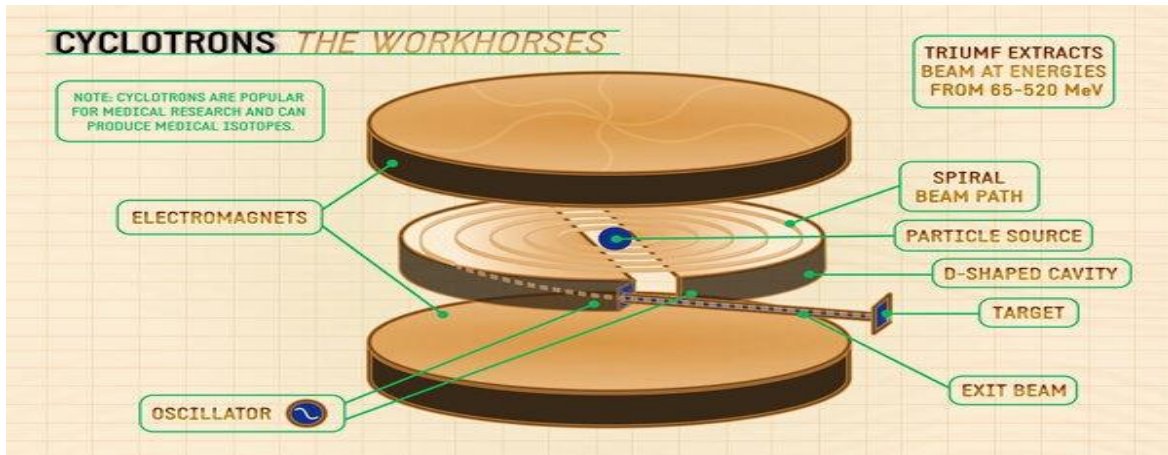
$$B \cdot \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} (B \cdot p) = B \cdot (qv \times B) = 0$$

نصف قطر المسار بين التجويفان اللذان على شكل D هو:

$$\omega = \frac{|q||B|}{\gamma m} \quad \text{مع التردد :} \quad \rho = \frac{\gamma m |v|}{|q||B|} = \frac{|p|}{|q||B|}$$

تعد القيود المفروضة على أبعاد الجهاز ومقدار الحقل المغناطيسي المطلوب سببا في ندرة وصول Cyclotron لسرعات نسبية ، أما في حالة السرعة الغير نسبية $\gamma = 1$ ، و ω لا تتعلق بـ v :

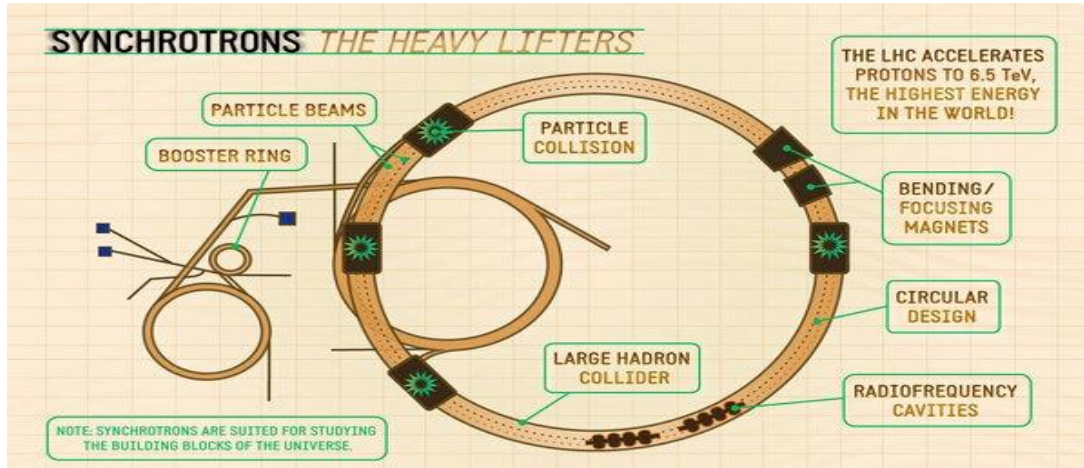
$$\omega = \frac{|q||B|}{m}$$



الشكل (4-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الدوراني Cyclotron [6]

2-2-2-2-2-I - المسرع الدوراني التزامني Synchrotron :

تعد السينكروترونات نوعا خاصا من المسرات الدائرية و أساسها في تسريع الجسيمات الكبرى ، تكمن فكرة عملها في تزامن تطبيق الحقول المغناطيسي والكهربائي مع حزمة الجسيمات المتحركة وتعمل على تسريع الجسيمات في مسار دائري إلى أن تصل لسرعة تقارب سرعة الضوء ، تتركب من مسرات خطية مصغرة رقيقة مغناط متعددة الأقطاب ثنائية منها ورباعية كما أن احتواءها على المغناط يتسبب في جعل الجسيمات تتحرك بشكل دائري كمثال على هذا النوع من المسرات : Tevatron ، LHC .



الشكل (5-I) : رسم تخطيطي يوضح تركيب المسرع الدوراني Synchrotron [6]

✓ **تيفاترون (Tevatron):** إن اكتشاف الكواركات داخل البروتونات أدى إلى الرغبة في الوصول إلى طاقات عالية جدا ولهذا تم تصنيع مغناط أقوى ووضعها في حلقة قطرها يزيد على الكيلومتر وهذا ما مكن مختبر فيرميلاب ' Fermilab ' (Fermi National Accelerator Laboratory) قرب شيكاغو من الوصول إلى طاقة 1000 Gev أي ما يعادل 1 Tev ومنها عرف ما يسمى بتيفاترون ثاني أكبر مسرع جسيمات في العالم بعد LHC والمختص في تصادم بروتونات وضد البروتونات .

✓ **LHC (Large Hadron Collider):** إن الحاجة لإنتاج الكثير من الطاقة والتعرف على العديد من الجسيمات كـ بوزون هيغز كانت سببا في ظهور أكبر وأقوى مصادم في العالم المعروف بمصادم الهادرونات الكبير ، و تكمن فكرة عمله أساسا على تصادم الملايين من البروتونات عند نقطة معينة ومراقبة كمية الطاقة الناتجة عن هذا التصادم .

تعتمد عملية التصادم على حزمتي بروتونات متضادة في اتجاه الدوران ، لكل منها طاقة مقدارها 7 Tev ، تتحرك هذه الحزم حول حلقة LHC داخل فراغ مستمر موجه بمغناط فائقة التوصيل والتي يتم تبريدها بواسطة نظام تبريد ضخم ، تنتقل الحزم في أنبوبين مفرغين منفصلين ، و تتصادم في أربع نقاط رئيسية تمثل كواشف التجارب ، تراقب هذه الكواشف بعناية في حين طاقة البروتونات المتصادمة تتحول بشكل سريع إلى مجموعة كبيرة من الجسيمات .

| | | |
|---|-----------|-------------------------------|
| Circumference C | 26659 | m |
| Energy E | 7 | TeV |
| Dipole field B | 8.4 | T |
| Bunch spacing s | 25 | ns |
| Bunch population N | 10^{11} | |
| Bunch radius $\sigma_x = \sigma_y$ | 16 | μm |
| Bunch length σ_s | 75 | mm |
| Beam-beam parameter ξ | 0.0034 | |
| Luminosity L | 10 | $\text{nb}^{-1}\text{s}^{-1}$ |
| Full crossing angle Φ | 200 | μr |
| Distance to nearest quadrupole ℓ_Q | ± 23 | m |
| Events/crossing n_c | 19 | |

الجدول (2-I) : خصائص مصادم LHC [9]

• أهم إنجازات مصادم الهادرونات الكبير : [10]

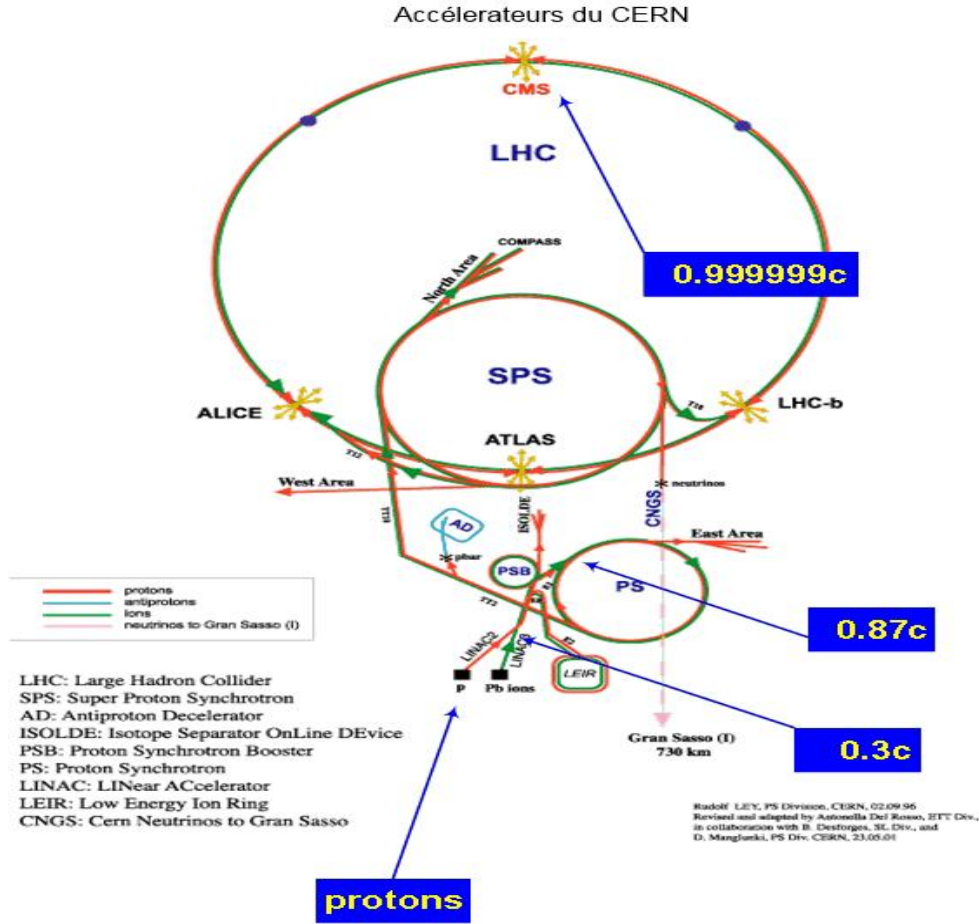
2008 : أول حزمة في LHC .

2009 : أول التصادمات في LHC ، رقم قياسي للطاقة بواسطة حزمة 1,8 Tev ، رقم قياسي للتصادمات ذات الطاقة 2.36 Tev و حجم مهم للمعطيات المسجلة.

2010 : أول حزم ذات طاقة 3.5 Tev و أول تصادمات عالية الطاقة 7 Tev ، أول حزم لأيون الرصاص في LHC .

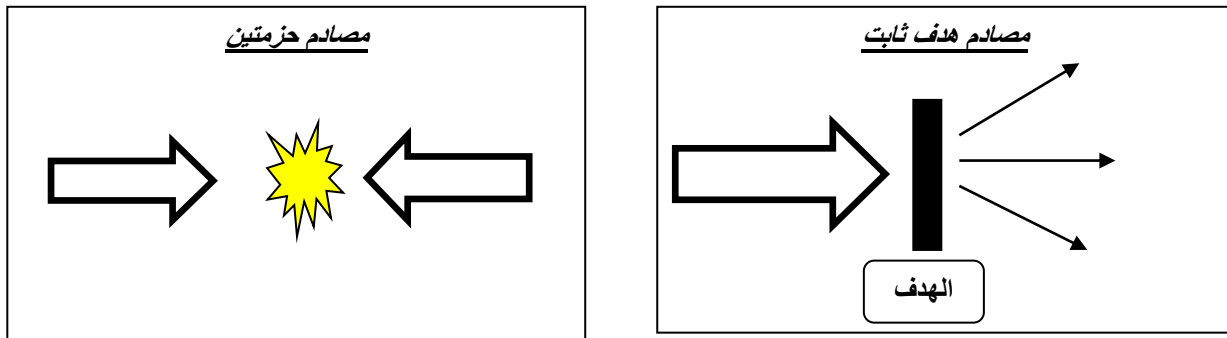
2012 : أول تصادمات ذات طاقة 8 Tev ، الإعلان عن اكتشاف جسيم ذو الخصائص المطابقة لبوزون الهيغز في مختبر CERN .

2013 : استخراج آخر الحزم من الجهاز ، تحصل العالمان François Englert و Peter Higgs على جائزة نوبل في الاكتشاف النظري للآلية المساهمة في فهمنا أصل كتلة الجسيمات دون الذرية والمؤكدة حديثاً من طرف الاكتشاف من خلال تجارب ATLAS و CMS في LHC(CERN) للجسيم الأساسي الذي تنبأت به هذه النظرية .



الشكل (6-I): رسم تخطيطي يوضح هندسة ووظائف أجزاء مسرعات LHC [8]

3-2-2-I- أنواع المصادمات (مصادم الهدف الثابت و مصادم الحزمتين) :



الشكل (7-I) : رسم تخطيطي يوضح نوعي المصادمين الهدف الثابت على اليمين والحزمتين على

اليسار .

❖ **مصادم الهدف الثابت** : إن التقاء جسيم 1 من حزمة عالية الطاقة مع جسيم 2 في الهدف الثابت (Stationary target) ينتج عنه طاقة كلية في إطار مركز الكتلة وتعطى كالتالي :

$$E_{CM} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 m_2} \approx \sqrt{2E_1 m_2}$$

m_2 هي الكتلة الكبيرة المستهدفة وعادة ما يكون الهدف نواة ، لذلك فإن E_{CM} يزيد فقط مع الجذر التربيعي لـ E_1

❖ **مصادم الحزمتين**: عند التقاء واصطدام جسيم 1 من حزمة واحدة مع الجسيم 2 من الحزمة الأخرى التي تتحرك في الاتجاه المعاكس تصبح معادلة الطاقة كالتالي :

$$E_{CM} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 E_2 + 2p_1 p_2} \approx \sqrt{4E_1 E_2}$$

E_1, E_2, p_1, p_2 تمثل اندفاعي وطاقتي الحزمتين على التوالي .

ولأن E_{CM} تزيد خطيا مع طاقات الحزمة لكونهما يزدادان معا يعد هذا النوع الأفضل من ناحية توفير مسار اقل تكلفة .

I-2-2-5- الإنارة (Luminosity) :

تعد الإنارة إحدى خصائص المسرات كما أن العمل على التسريع باستمرار يساهم في زيادة إنارة المصادم وتعتبر كمية قدرة مسرع الجسيمات على إنتاج العدد اللازم من التفاعلات وهي عامل التناسب بين عدد الأحداث في الثانية dR / dt والمقطع الفعال σ :

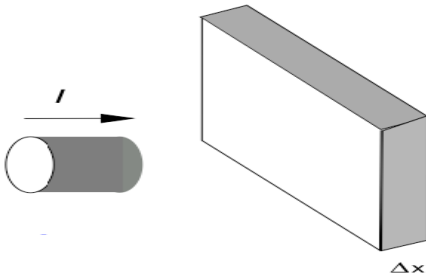
$$\frac{dR}{dt} = \sigma \cdot \mathcal{L}$$

• في معلم المختبر: تعرف الإنارة بالعلاقة

$$\mathcal{L} = nI = \rho \Delta x I$$

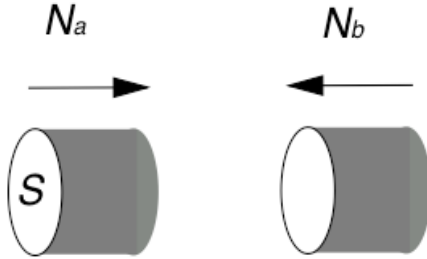
ρ : الكثافة السطحية، n : الكثافة الحجمية

I : كثافة الحزمة، Δx : السمك



- في معلم مركز الكتلة : تعطى عبارة الإنارة في هذا المعلم ومن أجل حزمتين متصادمتين كآلاتي :

$$\mathcal{L} = \frac{N_a N_b f}{S}$$



N_a و N_b : عدد جسيمات الحزمتين

f : تردد الحزم

S : مساحة المقطع العرضي للحزمة

| Name | Place | Beams and Energies | E_{cm} | \mathcal{L} |
|----------|----------------------|---|------------------|-------------------|
| DCI | Orsay | e^+e^- 1.7 × 1.7 | 3.4 | $2 \cdot 10^{30}$ |
| BEPC | Beijing | " 2.2 × 2.2 | 4.4 | 10^{31} |
| SPEAR | Stanford | " 4 × 4 | 8 | 10^{31} |
| DORIS | Hamburg | " 5.6 × 5.6 | 11 | $3 \cdot 10^{31}$ |
| VEPP 4 | Novosibirsk | " 6 × 6 | 12 | $5 \cdot 10^{31}$ |
| CESR | Cornell | " 6 × 6 | 12 | $3 \cdot 10^{32}$ |
| PEP | Stanford | " 15 × 15 | 30 | $6 \cdot 10^{31}$ |
| PETRA | Hamburg | " 23 × 23 | 46 | $2 \cdot 10^{31}$ |
| TRISTAN | Tsukuba | " 32 × 32 | 64 | $4 \cdot 10^{31}$ |
| SLC | Stanford | " 50 × 50 | 100 | 10^{30} |
| LEP I | CERN | " 55 × 55 | 110 | 10^{31} |
| LEP II | CERN (1996) | " 95 × 95 | 190 | 10^{31} |
| CLIC | CERN (?) | " 1000 × 1000 | 2000 | 10^{33} |
| HERA | Hamburg | ep 30 × 820 | 315 | $2 \cdot 10^{31}$ |
| LHC | CERN (?) | " 50 × 7000 | 1200 | $2 \cdot 10^{32}$ |
| SPS | CERN | $p\bar{p}$ 315 × 315 | 630 | $6 \cdot 10^{30}$ |
| TEVATRON | FNAL | $p\bar{p}$ 1000 × 1000 | 2000 | 10^{31} |
| ISR | CERN | pp 32 × 32 | 63 | 10^{31} |
| UNK | Serpukhov (?) | pp 400 × 3000 | 2200 | 10^{33} |
| LHC | CERN (2003?) | pp 7000 × 7000 | $1.4 \cdot 10^4$ | 10^{34} |
| SSC | USA (cancelled 1993) | pp $2 \cdot 10^4 \times 2 \cdot 10^4$ | $4 \cdot 10^4$ | 10^{33} |

الجدول (3-I) : المصادمات الأخيرة والمستقبلية حيث تعطى الإنارة بالوحدة $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ و الطاقة

→ [11] Gev

I-2-2-6- الكواشف (Detectors):

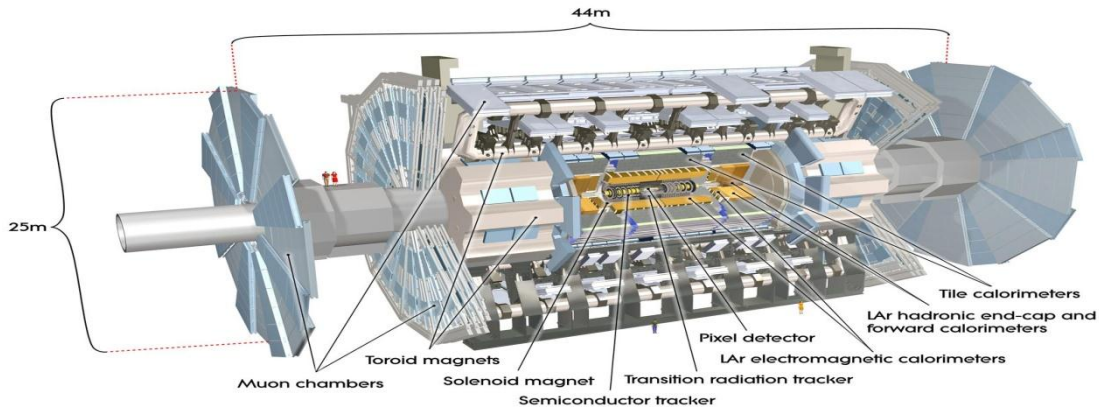
إن وجود عملية الكشف يستوجب وجود تفاعل وبناء على هذا تستخدم الكواشف لدراسة خصائص الجسيمات الموجودة في التفاعل ، ويمكن للكواشف أداء العديد من الوظائف خلال هذه العملية ك :

- وصف مسار الجسيمات
- تحديد الاندفاع والشحنة الكهربائية للجسيمات .
- التعرف على كتلة كل جسيم .
- قيام أجهزة الكشف باختيار الأحداث وتجنب تراكم الغير ضرورية منها .

يتكون مصادم الهادرونات الكبير من أربعة كواشف (تجارب) توجد على طول المصادم وتحديث على مستواها عمليات التصادم وهي ALICE ، ATLAS ، CMS و LHCb.

I-2-2-6-1- كاشف أطلس ATLAS:

يعد أطلس من أكبر كواشف مصادم LHC وتعود اختصار تسميته إلى العبارة (A Toroidal LHC ApparatuS) ، يبلغ طوله 44 مترا و أما ارتفاعه وعرضه فيبلغان كل منهما 25 مترا في حين يزن 7000 طن ، يوجد في باطنه كاشف داخلي لنتبع المسار (Inner Detector) وخارجا توجد أجهزة لقياس السرعات بما فيها المسعر الكهرومغناطيسي (Electromagnetic calorimeter) والمسعر الهادروني (Hadronic calorimeter) بالإضافة إلى مطياف الميونات (Muon spectrometer).

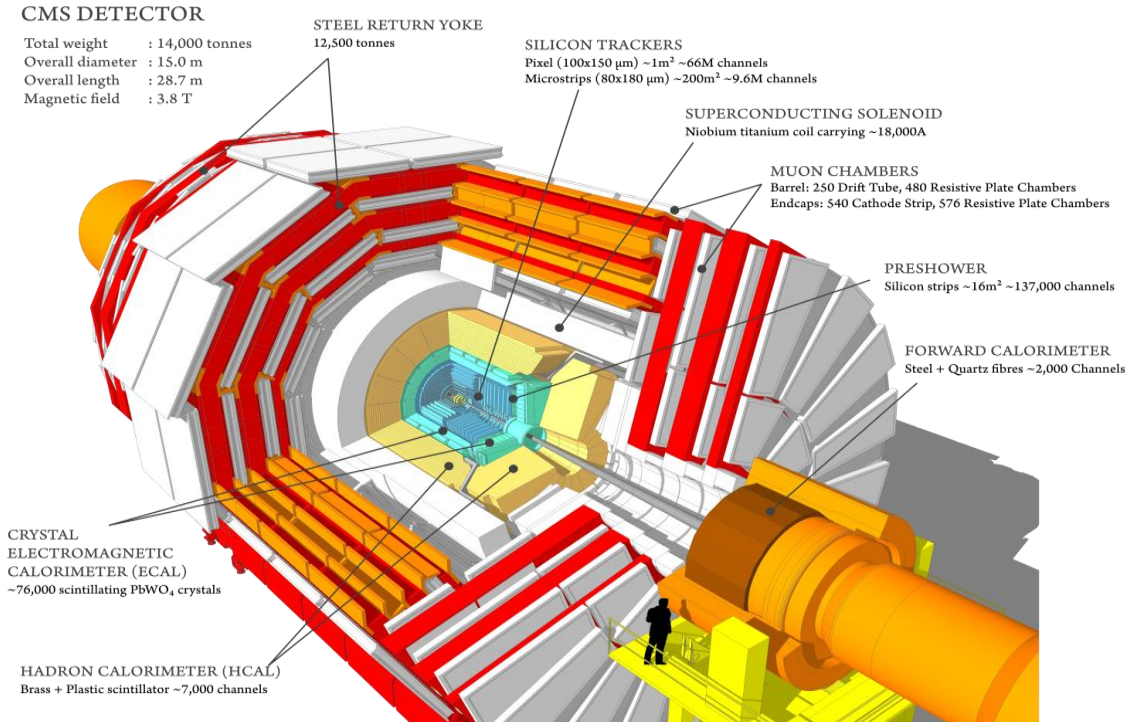


الشكل (8-I): كاشف ATLAS [10]

I-2-2-6-2- كاشف CMS:

هو كاشف متعدد الاستخدامات وسمي بهذا الاسم اختصاراً للعبارة

(Compact Muon Solenoid) وقد صمم لمراقبة أي ظواهر فيزيائية جديدة قد يكشف عنها المصادم LHC بالإضافة للكشف عن الميونات بدقة عالية ، يبلغ وزنه 14000 طن ، ويتكون من عدة طبقات متحدة المركز وهي نفسها طبقات كاشف ATLAS مع احتواءه على أقوى مغناطيس لولبي.

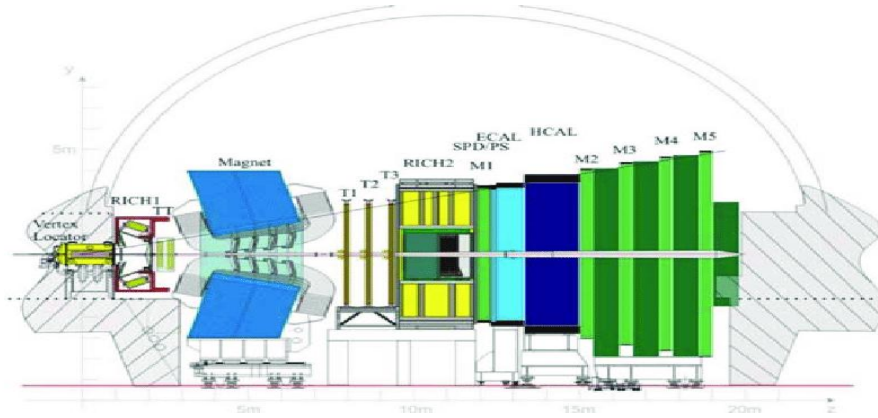


الشكل (9-I) : كاشف CMS [10]

I-2-2-6-3- كاشف LHCb:

هو احد النقاط الأربعة الأساسية للتصادم في LHC وتعود تسميته المختصرة إلى العبارة Large Hadron Collider beauty) ومن بين الدراسات المصمم لأجلها :

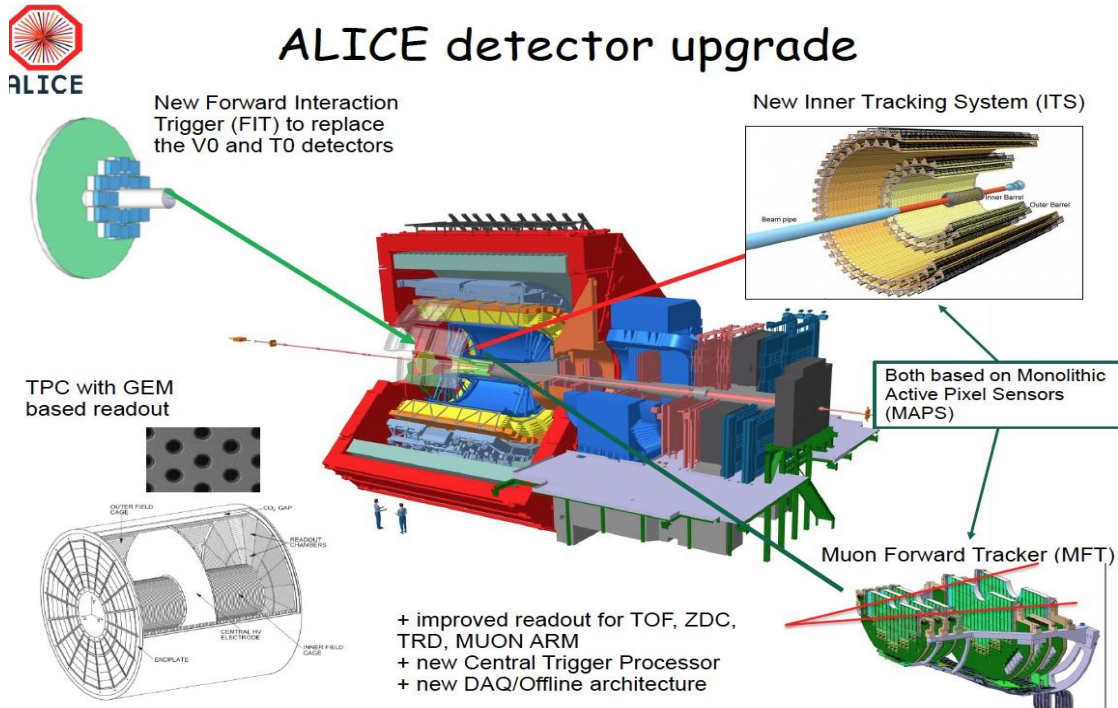
- دراسة جسيم كوارك b (beauty) و الميزون الثقيل .
- الكشف عن الفروقات بين المادة وضد المادة .
- دراسة تفككات التفاعل الضعيف و انتهاك التناظر CP الناتج عنه.



الشكل (10-I) : كاشف LHCb [12]

I-2-2-4-ALICE كاشف:

إن وجود طور للمادة يدعى بلازما الكوارك و الغلونات استوجب تصميم كاشف لدراسة أشكال الحالة وهو ALICE اختصارا للتسمية (A Large Ion Collider Experiment) و هو عبارة عن كاشف الأيونات الثقيلة ، وتتم الدراسة من خلال اصطدام الأيونات الثقيلة (Pb-Pb) .



الشكل (11-I) : كاشف ALICE [10]

الفصل الثاني :

تفاعل DRELL-YAN

II-1- مقدمة :

في هذا الفصل سنتطرق لتفاعل Drell-Yan مشيرين من خلاله إلى أهميته التاريخية مع حساب المقطع الفعال للتفاعل المدروس كدراسة نظرية كما سنتطرق أيضا إلى التطبيقات الحديثة الناجمة عنه انطلاقا من التطرق لكتلة بوزون W ودوال توزيع البارتون وصولا إلى الأبحاث الجديدة الفيزيائية بخصوص هذا التفاعل .

II-2- تفاعل Drell-Yan وأهميته التاريخية:

تم اقتراح تفاعل Drell-Yan عام 1970 [13] ، وهو عبارة عن تفاعل كهرومغناطيسي بسيط يتم من خلاله وصف بنيات الهادرونات انطلاقا من تصادم كوارك من الهادرون الأول مع كوارك مضاد من الهادرون الثاني عاليي الطاقة وإنتاج أزواج من اللبتونات ويمكن التعبير عليه بالمعادلة الآتية [14] :

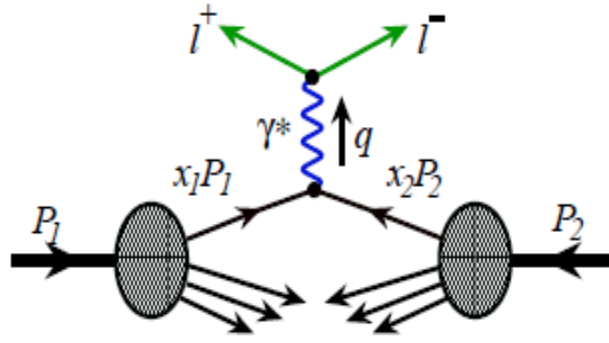
$$P_A + P_B \rightarrow l^+ + l^- + anything$$

يعد إنتاج هذه اللبتونات المشحونة مسعى هذا التفاعل من خلال إيجاد المقطع الفعال لها ويعتبر احد أهم الاختبارات لنظرية QCD كما ساعد في التعرف على جسيمات أولية جديدة ، وتعد الدراسات النظرية و التجريبية له موضوعا نشطا في حيز البحث .

قد أشار العالم Yan أن تفاعل Drell-Yan لا يقتصر فقط على تبادل الفوتون الافتراضي بل يمكن أن يعمم إلى تبادل بوزونات مثل W^\pm و Z و بوزون هيغز.

وتظهر أهميته في كونه ساعد على اكتشاف كواركين جديدين في حقبة السبعينيات هما charm و beauty ناهيك أيضا عن اكتشاف ميزون J/ψ من قبل فريق مختبر SLAC ثم اكتشاف البوزونين W و Z في الثمانينات في المسرع LINAC ، بالإضافة إلى كون تفاعل Drell-Yan المعمم لإنتاج W^\pm يوفر مصدرا ممتازا للمعلومات حول فصل نكهة الكوارك وذلك لأن التفاعلات الفرعية لـ QCD

$$[15] \left\{ \begin{array}{l} u\bar{d} \rightarrow W^+ \\ d\bar{u} \rightarrow W^- \\ q\bar{q} \rightarrow Z \end{array} \right. \text{ في تصادمات البروتون والبروتون والمضاد حساسة للنكهة :}$$

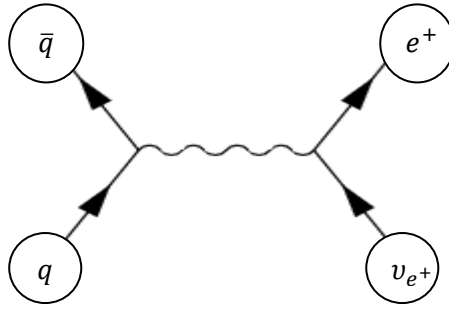


الشكل (1-II) : رسم تخطيطي لآلية إنتاج زوج لبتوني ضخم في تصادمات هادرون – هادرون الذي اقترحه Drell-Yan [15]

II-2-1- حساب المقطع الفعال Drell-Yan لإنتاج زوج لبتوني عند المستوى الأدنى للطاقة :

سنقوم بحساب المقطع الفعال لإنتاج زوج لبتوني للتفاعل التالي :

$$\bar{q} + q \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_{e^+}$$



II-2-1-1- حساب سعة التفاعل :

لحساب السعة نستخدم قوانين فاينمان التي تسمح بكتابتها :

$$M = \bar{v}(p_2) \left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}} \gamma^\mu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) \right) u(p_1) \frac{i}{(q^2 + M_w^2)} \times$$

$$\left[-g_{\mu\nu} + \frac{q_\mu q_\nu}{M_w^2} \right] \bar{u}(p_4) \left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}} \gamma^\nu \left(\frac{1 - \gamma^5}{2} \right) \right) v(p_3)$$

(II-1)

- $u(p_1)$ سينيور كوارك وارد .
- $\bar{v}(p_2)$ سينيور كوارك مضاد وارد.
- $\bar{u}(p_4)$ سينيور لبتون مضاد صادر.
- $v(p_3)$ سينيور لبتون صادر.
- $\left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}}\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)\right)$ و $\left(-\frac{g_w}{\sqrt{2}}\gamma^\nu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)\right)$ قمتي التفاعل .
- $\frac{i}{(q^2+M_W^2)}\left[-g_{\mu\nu}+\frac{q_\mu q_\nu}{M_W^2}\right]$ وسيط انتشار W ، نهمل الحد $\frac{q_\mu q_\nu}{M_W^2}$ لأن الكتلة M_W كبيرة مقارنة مع $q_\mu q_\nu$.

ومنه :

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

(II-2)

$v(p, s), u(p, s)$ ثنائيات المغزل لديراك ، رمزه الأصلي $v(p, s), u(p, s)$

نحسب مربع السعة :

$$|M|^2 = MM^+ \quad (\text{II-3})$$

إذن مرافق السعة :

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

(II-4)

باستعمال خواص جبر Clifford التالية :

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

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

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

$$\left[\bar{v}(p_2)\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)u(p_1)\right]^+ = \bar{u}(p_1)\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)v(p_2) \quad (\text{II-5})$$

$$v^+(p_3)\gamma^0 = \bar{v}(p_3)$$

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

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

$$\left[\bar{u}(p_4)\gamma^v\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)v(p_3)\right]^+ = \bar{v}(p_3)\gamma^v\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)u(p_4) \quad (\text{II-6})$$

ومنه تصبح عبارة مرافق السعة كالآتي:

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

وبالتالي تكون عبارة مربع السعة من الشكل التالي :

$$|M|^2 = \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} \left[\bar{v}(p_2)\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)u(p_1)\bar{u}(p_1)\gamma^v\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)v(p_2) \right] \\ \times \left[\bar{u}(p_4)\gamma_\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)v(p_3)\bar{v}(p_3)\gamma_\nu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)u(p_4) \right] \quad (\text{II-8})$$

باستخدام خصائص ثنائيات المغزل (Dirac spinor):

$$\sum_{spin} u(p)\bar{u}(p) = p + m \quad (\text{II-9})$$

$$\sum_{spin} v(p)\bar{v}(p) = p - m \quad (\text{II-10})$$

$$\begin{aligned} \sum \bar{v}(p_2)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_1)\bar{u}(p_1)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_2) \\ = (p_2 - m)\gamma^\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) (p_1 + m)\gamma^\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) \end{aligned} \quad (\text{II-11})$$

$$\begin{aligned} \sum \bar{u}(p_4)\gamma_\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) v(p_3)\bar{v}(p_3)\gamma_\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) u(p_4) \\ = (p_4 - m)\gamma_\mu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) (p_3 + m)\gamma_\nu \left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right) \end{aligned} \quad (\text{II-12})$$

بالجمع على spin واللون لكل مكونات التفاعل :

$$|\bar{M}|^2 = \sum_{spin} \sum_{color} |M|^2 \quad (\text{II-13})$$

$$\begin{aligned} |M|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} \\ &\times \text{Tr}[(p_2 - m)\gamma^\mu (1 - \gamma^5)(p_1 + m)\gamma^\nu (1 - \gamma^5)] \\ &\times \text{Tr}[(p_4 - m)\gamma_\mu (1 - \gamma^5)(p_3 + m)\gamma_\nu (1 - \gamma^5)] \end{aligned}$$

وباستعمال الخاصية:

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

نتحصل على :

$$\begin{aligned} |M|^2 &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} \text{Tr}[(p_2 - m)\gamma^\mu (p_1 + m)\gamma^\nu] \times \\ &\text{Tr}[(p_4 - m)\gamma_\mu (p_3 + m)\gamma_\nu] \end{aligned} \quad (\text{II-14})$$

يمثل المقدار $\left(\frac{1}{3}\right)$ متوسط معامل اللون الكوارك والكوارك المضاد الابتدائيين .

مع إهمال الكتلة m أمام الطاقة وتطبيق خواص الأثر التالية:

$$Tr[\gamma^\mu \gamma^\nu] = 4g^{\mu\nu}$$

$$Tr[\gamma^\alpha \gamma^\beta \gamma^\mu \gamma^\nu] = 4[g^{\alpha\beta} g^{\mu\nu} + g^{\alpha\nu} g^{\beta\mu} - g^{\alpha\mu} g^{\beta\nu}]$$

وبتبسيط العبارات الفرعية :

$$p = p_\alpha \gamma^\alpha: \text{ لدينا}$$

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

(II-15)

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

(II-16)

بضرب المعادلتين (II-15) و (II-16) نجد:

$$\begin{aligned} Tr[p_2 \gamma^\mu p_1 \gamma^\nu] * Tr[p_4 \gamma_\mu p_3 \gamma_\nu] &= 4[p_2^\mu p_1^\nu + p_1^\mu p_2^\nu - g^{\mu\nu} (p_1 p_2)] \\ &* 4[p_{4\mu} p_{3\nu} + p_{3\mu} p_{4\nu} - g_{\mu\nu} (p_3 p_4)] \\ &= 16[(p_2 p_4)(p_1 p_3) + (p_2 p_3)(p_1 p_4) + (p_1 p_4)(p_2 p_3) \\ &+ (p_1 p_3)(p_2 p_4)] \\ &= 32[(p_2 p_4)(p_1 p_3) + (p_2 p_3)(p_1 p_4)] \end{aligned} \quad \text{(II-17)}$$

إذن تصبح عبارة مربع السعة :

$$|\bar{M}|^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} 32[(p_2 p_4)(p_1 p_3) + (p_2 p_3)(p_1 p_4)] \quad (\text{II-18})$$

نستخدم متغيرات Mandelstam :

$$\hat{s} = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2 \cong 2p_1 p_2 \cong 2p_3 p_4 \quad (\text{II-19})$$

$$\hat{t} = (p_1 - p_3)^2 = (p_2 - p_4)^2 \cong -2p_1 p_3 \cong -2p_2 p_4 \quad (\text{II-20})$$

$$\hat{u} = (p_1 - p_4)^2 = (p_2 - p_3)^2 \cong -2p_1 p_4 \cong -2p_2 p_3 \quad (\text{II-21})$$

القيم : \hat{s} ، \hat{t} ، \hat{u} معطاة في مركز كتلة التفاعل .

ومنه فان :

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

لتصبح عبارة مربع السعة بدلالة المتغيرات من الشكل :

$$|\bar{M}|^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 3 \left(\frac{1}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{g_w^4}{4(q^2 + M_w^2)^2} 8(\hat{t}^2 + \hat{u}^2) = \frac{1}{24} \frac{g_w^4}{q^4} (\hat{t}^2 + \hat{u}^2) \quad (\text{II-22})$$

واستنادا لعبارة ثابت البنية الدقيقة :

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

والخاصية التالية :

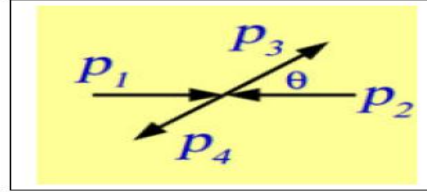
$$q^2 = (p_1 + p_2)^2 = (p_3 + p_4)^2 = \hat{s}$$

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

نتحصل على :

$$|\bar{M}|^2 = \frac{2}{3} \pi^2 \alpha^2 \left[\frac{\hat{t}^2 + \hat{u}^2}{\hat{s}^2} \right] \quad (\text{II-23})$$

في نظام مركز الكتلة :



$$p_1 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, 0, 0, 1) \quad (\text{II-24})$$

$$p_2 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, 0, 0, -1) \quad (\text{II-25})$$

$$p_3 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, \sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (\text{II-26})$$

$$p_4 = \frac{\sqrt{\hat{s}}}{2} (1, \sin \theta, 0, -\cos \theta) \quad (\text{II-27})$$

$$\begin{cases} \hat{t} \cong -2p_1 p_3 = \frac{-\hat{s}}{2} (1, 0, 0, 1)(1, \sin \theta, 0, \cos \theta) \\ \hat{u} \cong -2p_1 p_4 = \frac{-\hat{s}}{2} (1, 0, 0, 1)(1, \sin \theta, 0, -\cos \theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \hat{t} \cong -2p_1 p_3 = \frac{\hat{s}}{2} (1 - \cos \theta) \\ \hat{u} \cong -2p_1 p_4 = \frac{-\hat{s}}{2} (1 + \cos \theta) \end{cases} \quad (\text{II-28})$$

نقوم بتعويض هذه القيم في العبارة السابقة لمربع السعة :

$$\begin{aligned} \hat{t}^2 + \hat{u}^2 &= \left[\frac{\hat{s}}{2} (1 - \cos \theta) \right]^2 + \left[\frac{-\hat{s}}{2} (1 + \cos \theta) \right]^2 \\ &= \frac{\hat{s}^2}{4} [1 - 2 \cos \theta + \cos^2 \theta + 1 + 2 \cos \theta + \cos^2 \theta] \end{aligned}$$

$$= \frac{\hat{s}^2}{2} [1 + \cos^2 \theta] \quad (\text{II-29})$$

فنحصل على العبارة النهائية لمربع السعة كما يلي :

$$|\bar{M}|^2 = \frac{1}{3} \pi^2 \alpha^2 [1 + \cos^2 \theta] \quad (\text{II-30})$$

II-2-1-2- حساب المقطع الفعال البارونوني :

من أجل حساب المقطع الفعال نستند لقاعدة فيرمي الذهبية والتي تعتبر جداء مربع السعة وفضاء الأطوار وتعطى عبارتها من الشكل التالي :

$$d\sigma = \frac{|M|^2}{F} d\varphi \quad (\text{II-31})$$

$$F = |v_1 - v_2| 2E_1 2E_2 = 4\sqrt{(p_1 p_2)^2 + m_1^2 m_2^2} \quad (\text{II-32}) \quad \text{مع :}$$

$$E_1^2 E_2^2 = p_1^2 p_2^2 - m_1^4 m_2^4 \rightarrow E_1 E_2 = p_1 p_2 = \frac{\hat{s}}{2} \quad (\text{II-33})$$

بالإضافة إلى فضاء الطور لجسيمين $d\varphi$ المعطى كالآتي :

$$d\varphi = (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_1 + p_2 - p_3 - p_4) \frac{d^3 p_3}{(2\pi)^3 2E_3} \frac{d^3 p_4}{(2\pi)^3 2E_4} \quad (\text{II-34})$$

$$= \frac{d \cos \theta}{16\pi} \quad (\text{II-35})$$

بذلك يمكن تعميم عبارة $d\sigma$ كما يلي :

$$d\sigma = (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_f - p_i) \frac{1}{|v_1 - v_2| 2E_1 2E_2} \left(\prod_f \frac{d^3 p_f}{(2\pi)^3 2E_f} |M|^2 \right) \quad (\text{II-36})$$

• نقوم بحساب المقطع الفعال لتفاعلنا المدروس :

بعد الوصول إلى العبارة التالية :

$$d\hat{\sigma} = \frac{1}{4E_1 E_2} |M|^2 d\varphi = \frac{1}{2\hat{s}} |M|^2 d\varphi \quad (\text{II-37})$$

يمكننا تعويض قيمة مربع السعة وفضاء الطور للمعادلة (II-35) في المعادلة (II-37) نجد:

$$d\hat{\sigma} = \frac{1}{2s} \frac{1}{3} \pi^2 \alpha^2 [1 + \cos^2 \theta] \frac{d \cos \theta}{16\pi} \quad (\text{II-38})$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\pi \alpha^2}{96s} \int_{-1}^1 [1 + \cos^2 \theta] d \cos \theta \quad (\text{II-39})$$

نكامل هذا الطرف: $\int_{-1}^1 [1 + \cos^2 \theta] d \cos \theta$

$$d \cos \theta = (\cos \theta)' d\theta = -\sin \theta d\theta \quad (\text{II-40})$$

من أجل:

$$\begin{cases} \cos \theta = -1 \rightarrow \theta = \pi \\ \cos \theta = 1 \rightarrow \theta = 0 \end{cases} \quad (\text{II-41})$$

$$\int_{-1}^1 = - \int_0^\pi$$

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1 \rightarrow \cos^2 \theta = 1 - \sin^2 \theta$$

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 [1 + \cos^2 \theta] d \cos \theta &= - \int_0^\pi [2 - \sin^2 \theta] (-\sin \theta d\theta) \\ &= +2 \int_0^\pi \sin \theta d\theta - \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta \quad (\text{II-42}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta &= - \int_0^\pi (1 - \cos^2 \theta) \sin \theta d\theta = - \left[-[\cos \theta]_0^\pi + \frac{1}{3} [\cos^3 \theta]_0^\pi \right] \\ &= - \left[-\frac{8}{3} \right] = \frac{8}{3} \end{aligned}$$

$$(\text{II-43})$$

إذن:

$$\int_{-1}^1 [1 + \cos^2 \theta] d \cos \theta = \frac{8}{3} \quad (\text{II-44})$$

ومنه نتحصل على العبارة النهائية للمقطع الفعال:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{36} \frac{\pi \alpha^2}{s} \quad (\text{II-45})$$

II-2-1-3- المقطع الفعال الهادروني (الكلي) :

يمكن الحصول على عبارة المقطع الفعال الهادروني الكلي بدلالة دوال توزيع البارتون والمقطع الفعال البارتوني ، يتم استخراج PDF's من ملائمة معطيات الانتشار غير المرن باستخدام معادلات تطور DGLAP ، تسمح نظرية العوامل (factorization theorem) بتفكيك المقطع الفعال إلى جداء يدعى : (\otimes : convolution product) وتعطى عبارة التفاعل الهادروني من الشكل الآتي [16]:

$$\sigma = \sum_{i,j} \int dx_i \int dx_j f_j(x_j, Q^2) f_i(x_i, Q^2) \hat{\sigma}(x_i, x_j, Q^2) \quad (\text{II-46})$$

مع :

x : العزم الجزئي للبارتون (Parton momentum fraction) .

Q^2 : مقياس الطاقة (Energy scale) .

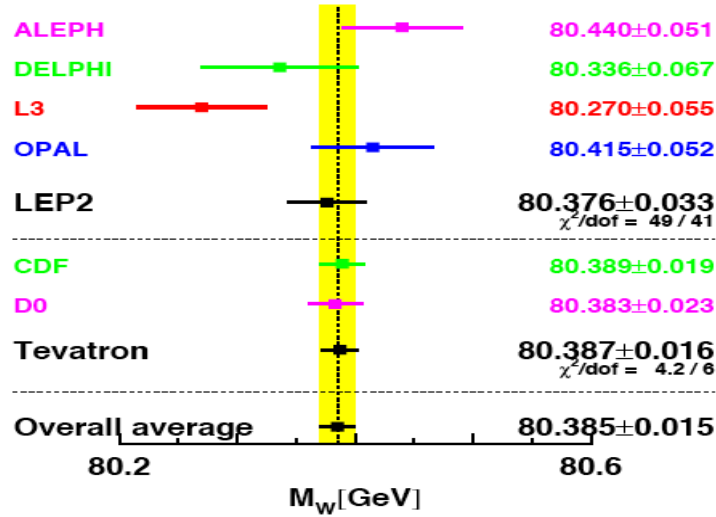
$\hat{\sigma}(x_i, x_j, Q^2)$: المقطع الفعال البارتوني .

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

II-2-2- التطبيقات الحديثة لتفاعل Drell –Yan :

إن تفاعل Drell –Yan طريقة اكتشاف مهمة في مجال فيزياء الطاقة العالية، خاصة في البحث عن بوزونات W و Z ، وتطبيقاته في دراسة نماذج ما بعد النموذج المعياري .

تتمثل تطبيقات Drell –Yan الحديثة من خلال قياس كتلة بوزون W و دوال توزيع البارتون (PDF's) التي تزود عنها هذا التفاعل كم هائل من المعلومات في كل من طاقات المصادم وطاقات الهدف الثابت.



الشكل (2-II) : معظم التحديدات الدقيقة لكتلة بوزون W من خلال تفاعل Drell-Yan [17]

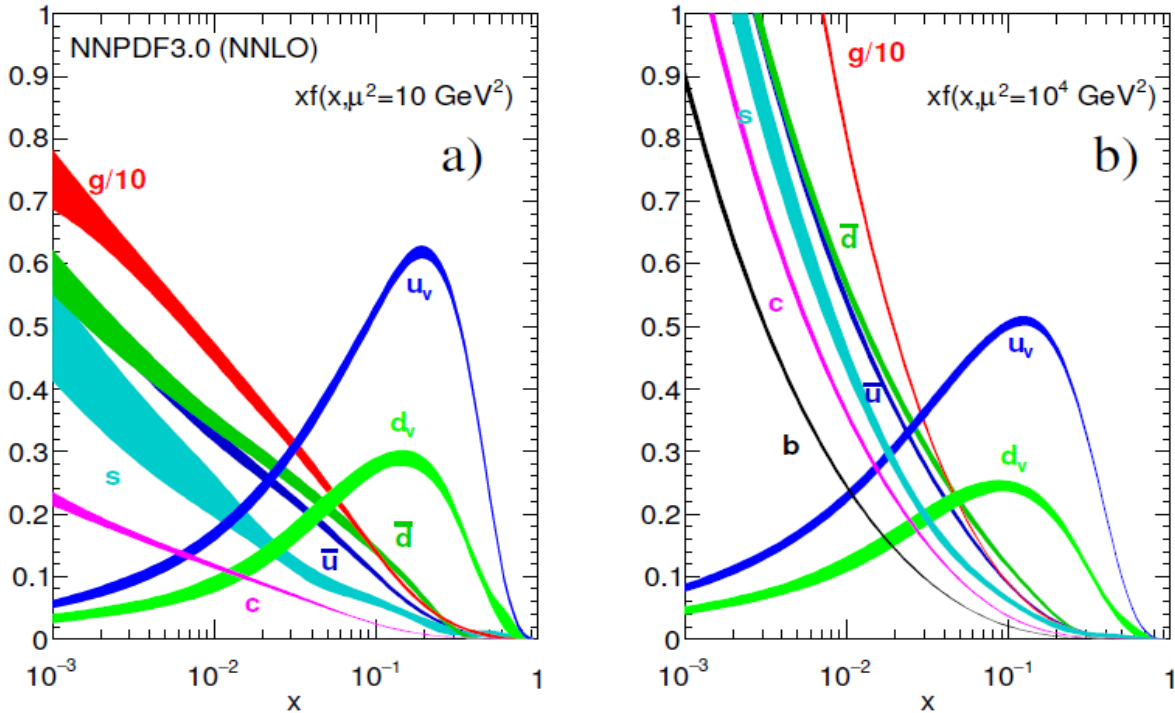
- إن Drell –Yan لعب دوراً أساسياً في فهم البروتون انطلاقاً من النموذج المعياري وصولاً إلى الطاقة العالية للـ LHC، ويبقى مستمراً هذا التفاعل في فحص دوال توزيع البارتون للبروتون ما ينتج عنه توفير معلومات قيمة عن كواركات التكافؤ لـ PDF، ويستعمل هذا التفاعل أيضاً لقياس الضوابط الأساسية الكهروضعيفة لكتلة بوزون W وعرضه والزوايا المختلطة الضعيفة (The weakmixing angle) [19].
- ويعد تفاعل Drell –Yan آلية إنتاج رائدة في اكتشاف W^\pm و Z، علاوة على هذا فإن الكشف عن بنيات الرنين في أطيف كتلة الديلبتون في تصادمات نواة-بروتون أدى إلى اكتشاف كل من كوارك Beauty و Charm أما الكوارك العلوي (Top) اكتشف في تصادم البروتون والبروتون المضاد.
- بالإضافة إلى جسيمات النموذج القياسي، يمكن أن تكون عملية Drell-Yan أيضاً قناة مثالية لاكتشاف جسيمات جديدة ثقيلة اللون محايدة تتجاوز النموذج القياسي. على وجه الخصوص، تعتبر حالات ديليبتون النهائية حساسة للغاية لمجموعة واسعة من الظواهر الجديدة التي تنبأت بها بعض النماذج الجديدة مع الفيزياء خارج النموذج القياسي. و يتم إجراء عمليات بحث حساسة عن Z التي تم إنتاجها في عملية تشبه Drell-Yan في LHC [15].
- في حين اعتبار بوزون Z كفوتون ثقيل اشتد الاهتمام بالبحث عن الفوتون المظلم الذي يفترض أنه بوزون Gauge في قطاع المادة المظلمة، و من خلال آلية "المزج الحركي" يمكن للفوتون المظلم أن يقترن بجسيمات النموذج القياسي. على وجه الخصوص، في عملية شبيهة بـ Drell-Yan، يمكن إنتاج فوتون مظلم بدلاً من الفوتون الافتراضي العادي، مما يؤدي إلى

ذروة الرنين في طيف كتلة ديلبيتون المكتشف ، وقد تم اقتراح تجارب للبحث عن الفوتون المظلم باستخدام عملية تشبه Drell-Yan في تفرغ حزمة البروتون [15].

2-II -2-4 -2 دوال توزيع البارتون (PDF's) :

يتم الحصول على PDF's عن طريق ملاءمة التنبؤات النظرية لمجموعات مختلفة من القياسات التجريبية استنادا إلى مجموعة من دوال توزيع البارتون pdf التي تم تحديدها بمعلماتها (ضوابطها) على "مقياس بدء" ، وتطورت إلى أي مقياس عبر معادلات تطور DGLAP (اختصارا لأسماء مؤلفو معادلات تطور QCD) [18].

إن قياسات Drell-Yan على أهداف نووية متنوعة في فصل نكهات بحر الكواركات اختبرت (probes) الاختلافات في دوال توزيع البارتون لبحر الكواركات .



الشكل (3-II) : دوال توزيع البارتون [1]

الفصل الثالث :

دراسة ومحاكاة تفاعل

Drell-Yan

في المستوى الأدنى والأعلى
للطاقة

III -1- مقدمة :

في هذا الفصل سنقوم بدراسة المقطع الفعال البارتنوني لتفاعل Drell-Yan في المستوى الأدنى والأعلى للطاقة باستخدام المحاكاة ببرنامج MadGraph5_aMC@NLO مشيرين بذلك أيضا إلى إنتاج النفاثات (Jets) و البوزونات الشعاعية في LHC وختاما للفصل الأخير سنتطرق لمصادم مستقبلي بروتون بروتون عالي الطاقة.

III -2- دراسة محاكاة للمقطع الفعال البارتنوني لتفاعل Drell – Yan عند المستويين الأدنى والأعلى للطاقة LO و NLO لـ QCD:


سنقوم بمحاكاة التفاعل باستخدام برنامج MadGraph5_aMC@NLO الذي سيوفينا بدوره بالقيم الرقمية للتفاعل استنادا إلى معطيات تجريبية بالإضافة إلى مخططات فاينمان المحتملة مع مخططات بيانية تختص بالتفاعل ككتلة البوزون W .

الخطوات :

1 / تثبيت نظام Linux .

2 / تحميل و تثبيت برنامج MadGraph5_aMC@NLO:

تم تحميله من صفحة الويب التالية : <https://cp3.irmp.ucl.ac.be/projects/madgraph/>



Welcome to the MadGraph5_aMC@NLO Wiki

This wiki is dedicated to the MadGraph5_aMC@NLO project.

MadGraph5_aMC@NLO is a framework that aims at providing all the elements necessary for SM and BSM phenomenology, such as the computations of cross sections, the generation of hard events and their matching with event generators, and the use of a variety of tools relevant to event manipulation and analysis. Processes can be simulated to LO accuracy for any user-defined Lagrangian, and the NLO accuracy in the case of QCD corrections to SM processes. Matrix elements at the tree- and one-loop-level can also be obtained.

MadGraph5_aMC@NLO is the new version of both MadGraph5 and aMC@NLO that unifies the LO and NLO lines of development of automated tools within the MadGraph family. It therefore supersedes all the MadGraph5 1.5.x versions and all the beta versions of aMC@NLO.

The standard reference for the use of the code is:

J. Alwall et al, "The automated computation of tree-level and next-to-leading order differential cross sections, and their matching to parton shower simulations", [arXiv:1405.0301 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1405.0301).

A fuller list of papers, tailored to specific needs, will be given later.

Download:

The latest stable release can be downloaded as a tar.gz package at <http://launchpad.net/madgraph5>, or through the Bazaar versioning system, using bzr branch lp:madgraph5

Installation:

MadGraph5_aMC@NLO needs Python version 2.6 or 2.7 ; gfortran/gcc 4.6 or higher is required for NLO calculations/simulations.

Getting started:

Run bin/mg5_aMC and type "help" to learn how to run MadGraph5_aMC@NLO using the command interface, or run the interactive quick-start tutorial by typing "tutorial". Some third-party packages can be installed using the MG5_aMC shell command "install". LO generation can also be done directly online at: <http://madgraph.phys.ucl.ac.be> or <http://madgraph.hep.uiuc.edu>

يحتوي هذا الموقع على العديد من الإصدارات و التحديثات للبرنامج ، أما عن مذكرتنا استعملنا إصدارين :

الإصدار الأول : MG5_aMC_v2.7.0.tar.gz استعنا به في رسم مخططات فاينمان و نظرا لتلقي بعض المشاكل في حساب المقاطع الفعالة استخدمنا إصدار آخر هو : MG5_aMC_v2.6.3.2.tar.gz .
3/ إتباع تعليمات خاصة و متسلسلة لتنصيب البرنامج و أدواته بشكل صحيح.

III -2- 1 - برنامج MadGraph :

يعتبر MadGraph برنامج رقمي لتوليد الأحداث (Event Generator) يستخدم لغرض محاكاة تصادم الجسيمات في الفيزياء عالية الطاقة ، التي يتم من خلالها توفير العناصر اللازمة لظواهر النموذج المعياري وما بعده (SM و BSM) [20]:

- حساب المقاطع الفعالة.
 - توليد الأحداث الصعبة و مطابقتها مع مولدات الأحداث .
 - استخدام مجموعة متنوعة من الأدوات ذات الصلة بمعالجة الأحداث و تحليلها.
- هذه الأحداث هي ببساطة مجموعة من مواقع و طاقات جميع الجسيمات الناتجة عن اصطدام بروتونين [21].

| واجهاته (Interfaces) | أدواته (Tools) |
|----------------------|-------------------------|
| Herwig Interface | BRIDGE |
| MadGraph Interface | FeynRules |
| Pythia Interface | MadWeight |
| MadAnalysis5 | Reweight module |
| | Systematics computation |
| | MadSpin |
| | Convolution of PDF |

الجدول (III- 1) : أدوات وواجهات برنامج MadGraph [22]

يستخدم برنامج MadGraph طريقة الحساب مونت كارلو (Monte Carlo simulation) لمحاكاة عمليات التصادم ، وتعد نوعا من طرق التقريب العددي للعثور على توزيع احتمالي عن طريق المحاولات العشوائية المتكررة [20].

```

matsonxp@MXB:~/Bureau/MG5_aMC_v2.7.0/MG5_aMC_v2.7.0$ ./bin/mg5_aMC
*****
*
*           W E L C O M E to
*           M A D G R A P H 5 _ a M C @ N L O
*
*
*           *           *
*           *   *   *
*           * * * * 5 * * * *
*           *   *   *
*           *           *
*
*           VERSION 2.7.0           2020-01-20
*
*           The MadGraph5_aMC@NLO Development Team - Find us at
*           https://server06.fynu.ucl.ac.be/projects/madgraph
*           and
*           http://amcatnlo.web.cern.ch/amcatnlo/
*
*           Type 'help' for in-line help.
*           Type 'tutorial' to learn how MG5 works
*           Type 'tutorial aMCatNLO' to learn how aMC@NLO works
*           Type 'tutorial MadLoop' to learn how MadLoop works
*
*****
load MG5 configuration from input/mg5_configuration.txt
fastjet-config does not seem to correspond to a valid fastjet-config executable (v3+). We will use fjcore instead.
Please set the 'fastjet' variable to the full (absolute) /PATH/TO/fastjet-config (including fastjet-config).
MG5_aMC> set fastjet /PATH/TO/fastjet-config

lhpdf-config does not seem to correspond to a valid lhpdf-config executable.
Please set the 'lhpdf' variable to the (absolute) /PATH/TO/lhpdf-config (including lhpdf-config).
Note that you can still compile and run aMC@NLO with the built-in PDFs
MG5_aMC> set lhpdf /PATH/TO/lhpdf-config

Using default eps viewer "evince". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Using default web browser "firefox". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Loading default model: sm
INFO: Restrict model sm with file models/sm/restrict_default.dat .
INFO: Run "set stdout_level DEBUG" before import for more information.
INFO: Change particles name to pass to MG5 convention
Defined multiparticle p = g u c d s u~ c~ d~ s~
Defined multiparticle j = g u c d s u~ c~ d~ s~
Defined multiparticle l+ = e+ mu+
Defined multiparticle l- = e- mu-
Defined multiparticle vl = ve vm vt
Defined multiparticle vl~ = ve~ vm~ vt~
Defined multiparticle all = g u c d s u~ c~ d~ s~ a ve vm vt e- mu- ve~ vm~ vt~ e+ mu+ t b t~ b~ z w+ h w- ta- ta+

```

التطبيق الأول : القيم الرقمية للمقاطع الفعالة للتفاعل مع مخططات فاينمان :
تعطى معادلة التفاعل عموما كالتالي :

$$p + p \rightarrow W \rightarrow l + \nu_l$$

التفاعلات الفرعية المحتملة التي تحقق هذا التفاعل:

التفاعل 1 :

$$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$$

التفاعل 2 :

$$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

التفاعل 3:

$$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

التفاعل 4:

$$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

التفاعل 5:

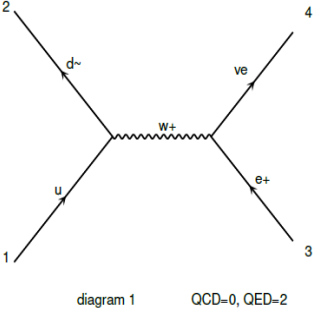
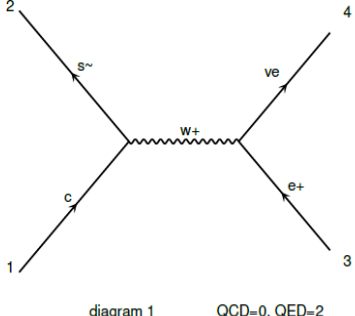
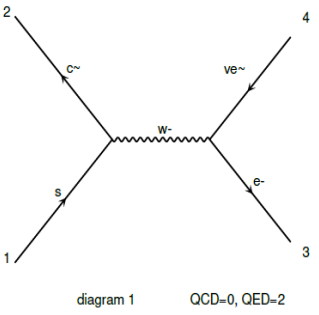
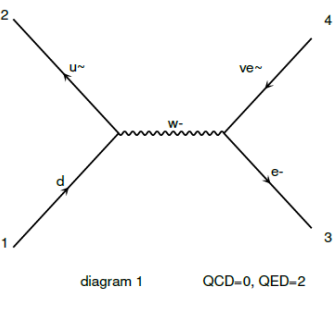
$$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$$

التفاعل 6:

$$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$$

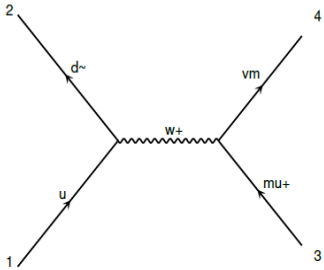
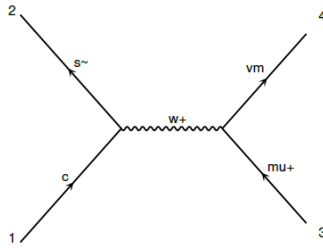
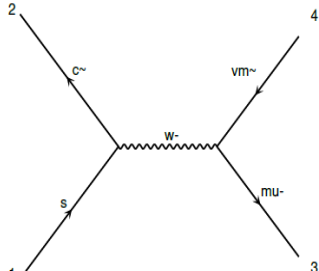
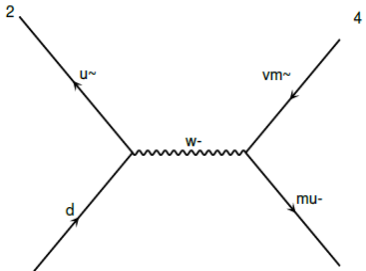
تمثل الجداول الآتية مخططات فاينمان لكل تفاعل :

التفاعل 1 و 2 :

| التفاعل | مخططات فاينمان | |
|---|---|---|
| $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ | <p>1.1 :</p> $\mu + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>1.2 :</p> $c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |
| $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$ | <p>2.1 :</p> $s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>2.2 :</p> $d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |

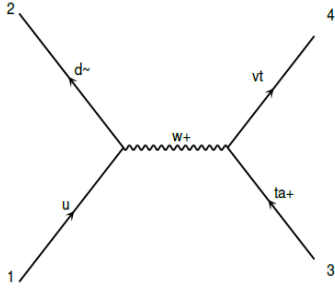
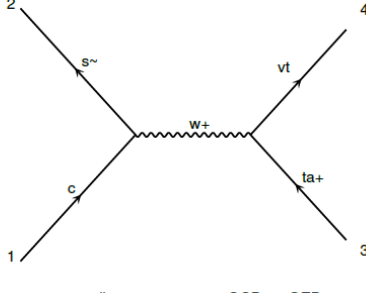
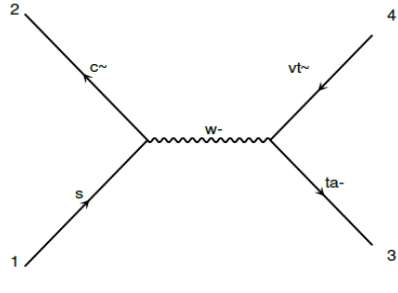
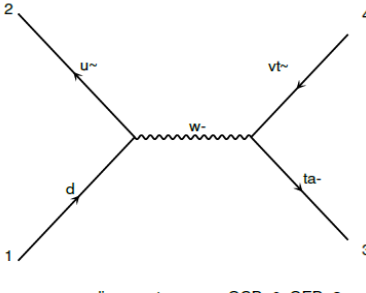
الجدول (III - 2): مخططات فاينمان للتفاعلين 1 و 2

التفاعل 3 و 4 :

| التفاعل | مخططات فاينمان | |
|---|---|---|
| $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ | <p>3.1 :</p> $u + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>3.2 :</p> $c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |
| $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ | <p>4.1 :</p> $s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>4.2:</p> $d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |

الجدول (III- 3): مخططات فاينمان للتفاعلين 3 و 4

التفاعل 5 و 6 :

| التفاعل | مخططات فاينمان | |
|---|---|--|
| $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$ | <p>5.1 :</p> $\mu + \bar{d} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>5.2 :</p> $c + \bar{s} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |
| $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$ | <p>6.1 :</p> $s + \bar{c} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> | <p>6.2 :</p> $d + \bar{u} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau$  <p>diagram 1 QCD=0, QED=2</p> |

الجدول (4- III) :مخططات فاينمان للتفاعلين 5 و 6

يلخص الجدولين التاليين قيم المقاطع الفعالة و الخطأ الإحصائي للتفاعلات المدروسة مع تثبيت في كل مرة عدد الأحداث وتغيير قيمة الطاقة .

عدد الأحداث المولدة : ثابت 10000، قيمة الطاقة : متغيرة

| رقم التفاعل | الطاقة (GeV) | المقطع الفعال (Pb) | الخطأ الإحصائي (Pb) |
|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|
| 1.1 و 1.2 | 3500 × 3500 | 3638 | 7.9 |
| | 4000 × 4000 | 4050 | 7.8 |
| | 6500 × 6500 | 5922 | 15 |
| 2.1 و 2.2 | 3500 × 3500 | 1990 | 4.5 |
| | 4000 × 4000 | 2286 | 5.6 |
| | 6500 × 6500 | 3750 | 9.8 |
| 3.1 و 3.2 | 3500 × 3500 | 3638 | 7.9 |
| | 4000 × 4000 | 4050 | 7.8 |
| | 6500 × 6500 | 5922 | 15 |

الجدول (III - 5) : المقاطع الفعالة للتفاعلات الفرعية في إنتاج بوزون W (التفاعلين 1 و 2 و 3)

| رقم التفاعل | الطاقة (GeV) | المقطع الفعال (Pb) | الخطأ الإحصائي (Pb) |
|-----------------|--------------|--------------------|---------------------|
| 4.1 و 4.2 | 3500 × 3500 | 1990 | 4.5 |
| | 4000 × 4000 | 2286 | 5.6 |
| | 6500 × 6500 | 3750 | 9.8 |
| 5.1 و 5.2 | 3500 × 3500 | 3632 | 7.9 |
| | 4000 × 4000 | 4047 | 8.8 |
| | 6500 × 6500 | 5919 | 15 |
| 6.1 و 6.2 | 3500 × 3500 | 1989 | 4.5 |
| | 4000 × 4000 | 2286 | 5.8 |
| | 6500 × 6500 | 3751 | 9.1 |

الجدول (III - 6) : المقاطع الفعالة للتفاعلات الفرعية في إنتاج بوزون W (التفاعلين 4 و 5 و 6)

مناقشة النتائج :

- من خلال هذه النتائج التي تحصلنا عليها في المستوى الأدنى للطاقة نلاحظ أن قيم المقاطع الفعالة للتفاعلات تتناسب مع الطاقة تناسباً طردياً وذلك راجع لتعلق المقطع الفعال بقيم انتقال الاندفاع العرضي P_T وقد تطرقنا في الحساب السابق لتفاعل Drell - Yan للفصل الثاني للعلاقة الرابطة بينهما وبالتالي كلما زادت قيمة الاندفاع العرضي تزداد قيمة المقطع الفعال .

- من خلال المقاطع الفعالة للتفاعلات المدروسة و مخططات فاينمان الخاصة بها لاحظنا أن التفاعلات 1 و 3 و 5 متقاربة في النتائج ونفس الشيء بالنسبة للتفاعلات 2 و 4 و 6 وهذا راجع إلى طبيعة إنتاج البوزون W بغض النظر عن تحله فيما بعد إلى لبتون ولبتون مضاد مهما اختلفت نكهتيهما كما هو موضح في المعادلتين التاليتين :

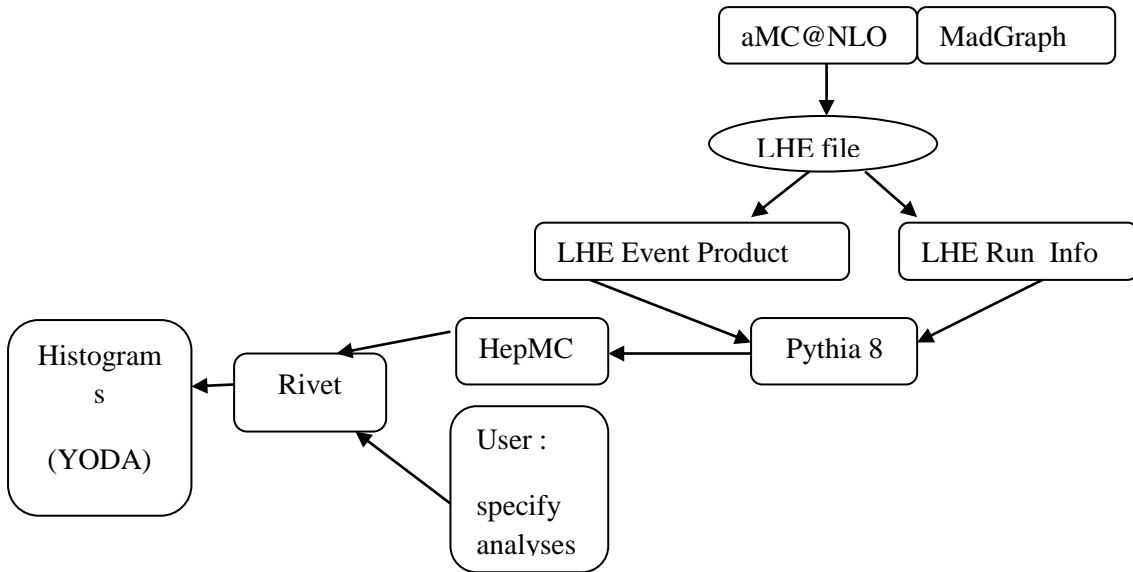
$$q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \bar{l} + \nu_l \quad \leftarrow \text{انتاج بوزون } W^+ \quad \leftarrow 1, 3, 5$$

$$q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow l + \bar{\nu}_l \quad \leftarrow \text{انتاج بوزون } W^- \quad \leftarrow 2, 4, 6$$

- من خلال مخططات فاينمان السابقة نلاحظ غياب الكواركين Top و beauty وهذا راجع لكتلتيهما الكبيرة ، أكبر بكثير من الطاقة المتوفرة عند إنتاج البوزون W .

التطبيق الثاني : دراسة كتلة البوزون W في التفاعل $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$

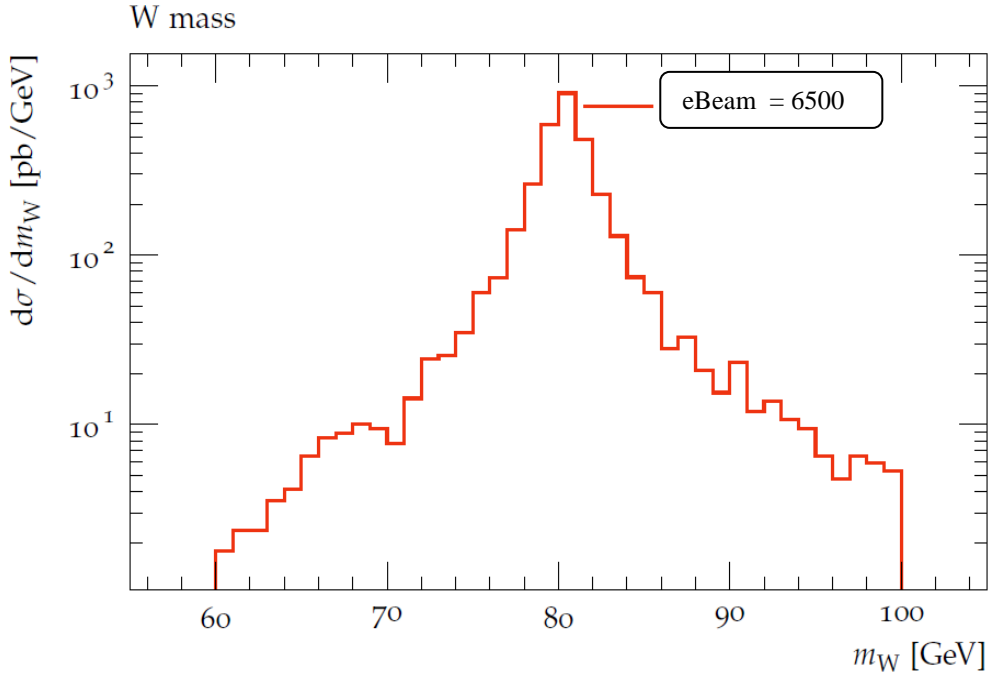
في هذا التطبيق سنقوم بدراسة كتلة البوزون W باستخدام برنامج Rivet ، الذي يعتبر مجموعة من الأدوات من بينها ملفات LHE (Les Houche file : LHE) و التي تعمل كنظام للتحقق من نتائج مولدات الأحداث MadGraph لحساب المقطع الفعال و Pythia لتوليد شلال البارتونات (Parton Shower)، ثم نستعين ببرنامج YODA من أجل الحصول على رسومات بيانية تراكمية (Histograms) انطلاقا من البيانات التي حصلنا عليها من خلال دراسة التفاعل $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ والمخزنة على شكل ملفات HepMc التي يمكن استخدامها حسب الحاجة كما هو موضح في الشكل أدناه .



الشكل (III- 1) : مخطط يوضح كيفية تلقي المعطيات من أجل رسم البيانات باستخدام برنامجي

YODA و Rivet

بعد المحاكاة باستخدام برنامجي Rivet و YODA وتزويدهما بالمعطيات اللازمة تمكنا من الوصول إلى رسم بياني يعبر عن كتلة البوزون W :



الشكل (III- 2) : رسم بياني يبين كتلة بوزون W باستعمال برنامج Rivet

من خلال الرسم البياني نلاحظ أن كتلة بوزون W تتواجد داخل المجال [80 Gev – 83 Gev] وهذا ما ينطبق على القيمة النظرية والتجريبية لها في إطار النموذج المعياري .

III-3- إنتاج البوزونات الشعاعية والنفاثات (jets) في مصادم LHC:

لقد أعتبر تاريخياً أن إنتاج البوزونات الشعاعية في تصادمات الهادرون التطبيق الأول لأفكار نموذج البارتنون ، وتعد دراسة قياسات إنتاج البوزونات الشعاعية بالاقتران مع النفاثات (jets) موضوعاً هاماً كونها توفر معلومات مهمة للفهم الجيد للتفاعلات القوية، كما تختبر هذه القياسات تنبؤات QCD الاضطرابي باستخدام (Monte Carlo(MC) .

تجرى قياسات إنتاج البوزونات الشعاعية بدقة عالية مع إنتاج نفاثات في مصادم LHC، و تحدد المقاطع الفعالة للبوزونات W و Z ، علماً أن النفاثات في تفاعل Drell-Yan تنتج عن اشعاعات الحالة الابتدائية للكواركات (Initial state Radiation) ، هذه العمليات $V + j$ ($V=W,Z$) ترتبط بالعديد من إشارات فيزياء ما بعد النموذج المعياري (BSM) ، مثل SUSY والمادة المظلمة.

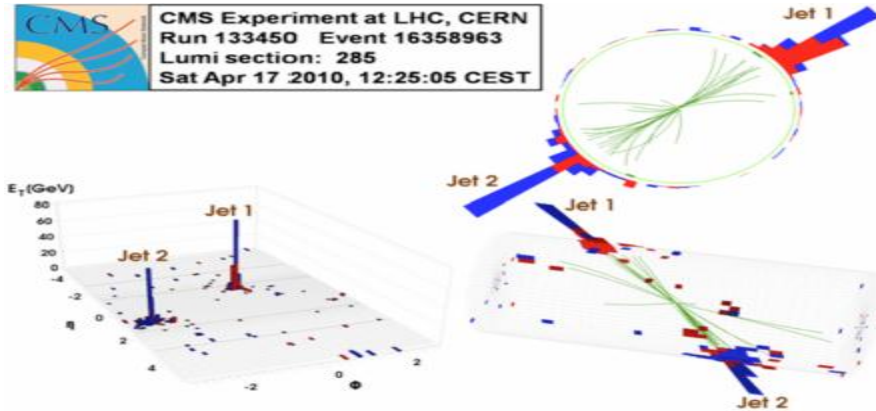
و يتم تنفيذ قياسات البوزونات الشعاعية الثقيلة مع الكواركات : $Z+b$ ، $W+b$ ، $W+c$ للتحقق من حسابات QCD الاضطرابي (pQCD) ، هذه العمليات حساسة لمحتوى البروتون من الكواركات و تهدف إلى تحسين المعرفة الحالية لدوال توزيع البارتون PDF من اجل السماح بالتنبؤات للمقطع الفعال الأكثر دقة [23] .

III-3-1- ما هي النفاثات (jets) ؟ :

النفاثات هي جسيمات ناتجة عن الشلالات البارتونية (Partonic showers) و تتكون من من كواركات و غليونات، تعتبر أداة مهمة في فيزياء الهادرونات وتلعب دورا بارزا في المصادم الهادروني عالي الطاقة LHC وتأتي من خلال تجسيد الطاقة (The materialization of energy) على شكل جسيمات و جسيمات مضادة متسلسلة والتي بدورها تكون النفاثة .

توفر الخوارزميات النفاثة مجموعة من القواعد لتجميع الجسيمات في نفاثات ، عادةً ما تشتمل على واحدة من المعطيات أو أكثر للإشارة إلى مدى قرب جسيمين قبل أن يتم دمجهما في نفاثة، وتعد الخصائص المهمة التالية ما يجب أن يحققها تعريف النفاثة [17] :

- 1/ سهولة التنفيذ في تحليل تجريبي .
- 2/ سهولة التنفيذ في الحسابات النظرية .
- 3/ تُعرف على أي رتبة لنظرية الاضطراب .
- 4/ نتائج محدودة لمقاطع فعالة على أي رتبة لنظرية الاضطراب .
- 5/ تنتج مقطع فعال نسبي غير حساس للعملية الهادرونية .



الشكل (3-III) : النفاثات في تجربة CMS لمصادم LHC [17]

III-3-2- محاكاة التفاعلات رفقة النفاثات :

بعد دراسة التفاعلات السابقة في المستوى الأدنى للطاقة قمنا بدراستها في المستوى الأعلى للطاقة أي في حضور النفاثات للتأكد من دقة دراسة المقطع الفعال .

التطبيق الثالث :

- مخططات فاينمان الخاصة بالتفاعلات المدروسة في حضور النفاثات :

| مخططات فاينمان للتفاعل: $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + j$ | |
|--|--|
| <p>$g c \rightarrow e^+ \nu_e s$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> | <p>$c s^- \rightarrow e^+ \nu_e g$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> |
| <p>$g s^- \rightarrow e^+ \nu_e c^-$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> | <p>$g d^- \rightarrow e^+ \nu_e u^-$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> |
| <p>$u d^- \rightarrow e^+ \nu_e g^0$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> | <p>$g u \rightarrow e^+ \nu_e d$</p> <p>diagram 1 $QCD=1, QED=2$ diagram 2 $QCD=1, QED=2$</p> |

الجدول (III-7): مخططات فاينمان للتفاعل 1 رفقة النفاثات

| مخططات فاينمان للتفاعل: $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + j$ | |
|---|---|
| <p>$g c^- \rightarrow e^- \nu_e^- s^-$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> | <p>$d u^- \rightarrow e^- \nu_e^- g$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> |
| <p>$g s^- \rightarrow e^- \nu_e^- c^-$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> | <p>$g d^- \rightarrow e^- \nu_e^- u^-$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> |
| <p>$s c^- \rightarrow e^- \nu_e^- g$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> | <p>$g u^- \rightarrow e^- \nu_e^- d^-$</p> <p>diagram 1 QCD=1, QED=2 diagram 2 QCD=1, QED=2</p> |

الجدول (III-8): مخططات فاينمان للتفاعل 2 رفقة النفقات

ملاحظة : في الجدولين السابقين اكتفينا بمخططات فاينمان للتفاعلين $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + j$

و $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + j$ لكونها تتكرر بالنسبة للتفاعلات الأخرى : $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + j$

، $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau + j$ ، $q + \bar{q} \rightarrow W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + j$ ، $q + \bar{q} \rightarrow W^+ \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau + j$

قيم المقاطع الفعالة : عدد الأحداث : 10000 ، الطاقة : 6500×6500

| رقم التفاعل | طبيعة النفاثة | المقطع الفعال للتفاعلات الفرعية (Pb) | الخطأ الإحصائي للتفاعلات الفرعية (Pb) | نسبة المساهمة (%) | المقطع الفعال الكلي (Pb) | الخطأ الإحصائي (Pb) |
|-------------|---------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | كوارك | 1147 | 5.72 | 71.46 | 1605 | 6.3 |
| | غليون | 457.6 | 2.59 | 28.51 | | |
| 2 | كوارك | 826.6 | 3.33 | 75.48 | 1095 | 3.7 |
| | غليون | 268.1 | 1.54 | 24.48 | | |
| 3 | كوارك | 1147 | 5.72 | 71.46 | 1605 | 6.3 |
| | غليون | 457.6 | 2.59 | 28.51 | | |
| 4 | كوارك | 826.6 | 3.33 | 75.48 | 1095 | 3.7 |
| | غليون | 268.1 | 1.54 | 24.48 | | |
| 5 | كوارك | 1144 | 5.5 | 71.41 | 1602 | 6.2 |
| | غليون | 458.1 | 2.86 | 28.59 | | |
| 6 | كوارك | 829.3 | 3.38 | 75.59 | 1097 | 3.7 |
| | غليون | 267.7 | 1.44 | 24.40 | | |

الجدول (III- 9) : قيم المقاطع الفعالة للتفاعلات والتفاعلات الفرعية في حضور النفاثات وإسهاماتها

في إنتاج بوزون W

مناقشة النتائج :

- من خلال القيم المتحصل عليها نلاحظ أن النسبة الكبيرة للمساهمة في إنتاج النفاثة تعود للكواركات الخفيفة عن طريق إشعاع الحالة الابتدائية على حساب الغليونات وهذا راجع لكون الكواركات أساسية في تفاعل Drell- Yan عند الحالة الابتدائية .
- بعد أن قمنا بعملية المقارنة بين الدراسة في المستوى الأدنى والأعلى للطاقة وجدنا أن قيم المقاطع الفعالة في المستوى الأدنى للطاقة LO أكبر من قيمتها في المستوى الأعلى للطاقة NLO على عكس ما يتوقع الحصول عليه في تفاعلات QCD ، ويعود هذا التناقص إلى النفاثة التي تستهلك طاقة في تكوينها بالإضافة إلى عدم أخذ تفاعل Drell- Yan بعين الاعتبار النفاثة في حساب المقطع الفعال على عكس تفاعلات QCD .

III -3-3- التطبيقات الظاهرية (Phenomenological applications) لعمليات $W+jet$:

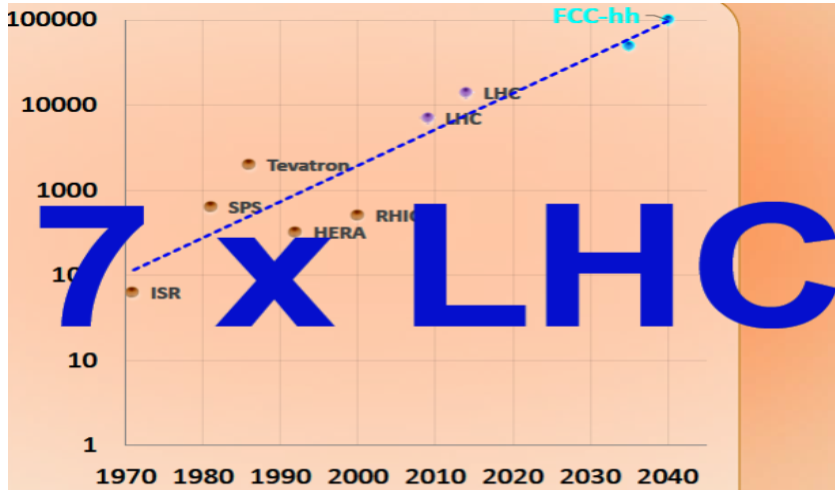
يعتبر إنتاج البوزونات الشعاعية W^{\pm} بالاقتران مع النفاثات ($W+jets$) أمرا مهما في اختبار وتحليل العديد من الدراسات [24]:

- اختبار نظرية QCD .
- أحداث $W + jets$ عمليات مهمة لدراسات Higgs boson وفيزياء الكوارك العلوي .
- الحالات النهائية اللبثونية ذات الشحنة اللبثونية المعزولة لـ W^{\pm} مع اندفاع عرضي عال (P_T) تقدم دراسة تجريبية اين يكون انتاج W^{\pm} تحدد نفسها مقياسا واضحا للطاقة .

III -4- المصادم المستقبلي بروتون بروتون عالي الطاقة :

تسعى الدراسات الحديثة إلى تطوير تصميمات مختلفة لبناء مصادم جسيمات عالي الأداء ،الذي من الممكن أن يكون خلفا لمصادم الهادرونات الكبير (LHC) ، لذلك تم اقتراح المصادم الدائري المستقبلي FCC (Future Circular Collider) والذي هو مسرع جسيمات يتمتع بطاقة عالية تفوق طاقة المصادمات الدائرية السابقة (LHC, Tevatron, SPS) حيث أجرى مختبر «CERN» دراسة حول FCC للبحث في جدوى هذه التصميمات بهدف زيادة الطاقة و الإنارة (Luminosity) بدرجة كبيرة مقارنة بالمصادمات الحالية.

تتمثل مهمة هذا المصادم في التصدي لحدود الطاقة وشدة مصادمات الجسيمات بشكل كبير والهدف هو تحقيق طاقات تصادم تبلغ 100 تيرا إلكترون فولت من منظور البحث عن فيزياء جديدة ، و تقترح دراسة هذا المصادم المستقبلي ثلاثة أنواع مختلفة من تصادمات الجسيمات: تصادم الهادرون (بروتون - بروتون والأيونات الثقيلة) ، كما هو الحال في LHC ، تصادم الإلكترون و البوزيترون ، كما في LEP القديم ، وتصادم البروتون والإلكترون ويقوم العلماء بدراسات على الفيزياء و الكواشف لكل خيار [10].



الشكل (4-III) : تطور المصادمات مع طاقات التصادم [25]

في ختام عملنا القائم أساساً على دراسة تصادم بروتون بروتون وإنتاج بوزون W يمكن أن نحصل لبعض النقاط التي نجمت عن هذه الدراسة ، حيث تم من خلالها دراسة تفاعل Drell-Yan نظرياً ثم محاكاته في المستويين الأدنى والأعلى للطاقة باستخدام برنامج MadGraph الذي أبدى فعاليته الكبيرة في إفادتنا بمخططات فاينمان والقيم الرقمية للمقاطع الفعالة لمختلف التفاعلات وغيرها من المعلومات المهمة الذي يحويها هذا البرنامج الرقمي ، ثم القيام بعملية المقارنة بين الدراستين النظرية والتجريبية مع التحكم في المعطيات الفيزيائية وفقاً لشروط معينة ومحاولة إيجاد أوجه التقارب بينهما والأدق من خلال النتائج ، كما تم التوصل إلى بعض الاستنتاجات التي من بينها:

الدور الفعال لتفاعل Drell –Yan في فيزياء الجسيمات بشكل عام حيث تم من خلاله اكتشاف العديد من الجسيمات الأولية كـ بوزون W الناتج عن تصادم هادرون – هادرون ، يعتبر إنتاج البوزونات الشعاعية من خلال هذا التفاعل عملية مهمة في دراسة فيزياء النموذج المعياري وما بعد النموذج المعياري . علاوة على هذا ، توفيره المعلومات القيمة حول دوال توزيع البارتون.

توصلنا من خلال دراستنا لتفاعل Drell-Yan في المستوى الأعلى للطاقة أن المساهمة الكبيرة كانت لجسيمات الكواركات بنسبة تفوق % 70 على عكس الغليونات . كما توصلنا من خلال مناقشة قيم المقاطع الفعالة في LO و NLO أنها تختلف قد تزيد أو تنقص على حسب المعطيات الأولية للتفاعل المدروس مع أخذ بعين الاعتبار المقاربة التي نستخدمها لتفسير النتائج في إطار نظريتي QED و QCD.

من خلال مناقشة مخططات فاينمان في المستويين الأدنى و الأعلى للطاقة التي أفادنا بها البرنامج تمكننا من معرفة غياب الكواركين Top و Beauty عن التفاعل ويعود هذا إلى عدم تواجدهما داخل البروتون المسرع بسبب كتلتهما الكبيرة كما هو موضح في مخطط دوال التوزيع البارتوني PDF في حين مشاركة بقية الكواركات .

في الأخير ، يمكن القول أن للمحاكاة دوراً هاماً في دراسة الظواهر المعقدة والمختلفة التي ربما يصعب تطبيقها في الواقع كونها تسمح بملاحظة التغيرات التي تطرأ على هذه الظواهر مع مقارنة النتائج المتحصل عليها مع النتائج النظرية ومحاولة إيجاد أوجه التقارب بينهما لفهم أدق للظاهرة المدروسة .

ملحق :

1- نموذج البارتون Parton model :

هو نموذج اقترح من طرف ريتشارد فاينمان لوصف بنية الهادرونات و نمذجة التفاعلات معها من خلال وصف المقطع الفعال لتشتتها العالي الطاقة مع جسيم آخر وانطلاقاً من هذا النموذج تم التوصل إلى البارتونات .

تم تحديد طبيعة البارتونات من خلال فكرة وصف النيكلون و من خلال التجارب تبين أنها عبارة عن كواركات مرتبطة ، لكن اكتشف أنها ليست المكون الوحيد للنيكلون بل ظهر أن بمعيتها جسيمات أخرى ، فعلى سبيل المثال نأخذ البروتون فبالإضافة إلى كواركات التكافؤ المكونة له ، قد يكون هناك "بحر" من الكواركات المكونة من أزواج الكواركات المضادة للكوارك ($q \bar{q}$) التي يسمح وجودها بمبدأ اللايقين (الارتياب) لهايزنبرغ، لوحظ أن "بحر" الجسيمات هذا لا يمكن أن يؤثر على الأعداد الكمومية للنيكلون حيث يتم تحديدها بواسطة كواركات التكافؤ، تم العثور على الجسيمات المسؤولة عن القوى بين الكواركات و هي الغلوونات ، أيضاً في النوكليون .

تتميز المعاملات الهادرونية في المقاطع الفعالة بدوال البنية (structure functions) ويعبر نموذج البارتون على هذه الأخيرة من خلال دوال توزيع البارتون (parton distribution function) التي تعطي توزيع الزخم الطولي للأجزاء في الهادرون المحدد .

تعود تسمية دوال توزيع البارتون بـ PDF's إلى العبارة Parton Distribution Function ' scale' يرمز لها بـ $f_{i/A}(x, Q^2)$ ، وقد تم تقديمها سنة 1969 من قبل Feynman في نموذج البارتون ، لشرح مقياس Bjorken في بيانات التشتت العميق غير المرن ويكون هذا التفسير عبارة عن توزيعات احتمالية ، وهي عبارة عن مدخلات غير مضطربة ضرورية لحساب المقاطع الفعالة لتفاعلات التشتت التي تنطوي على الهادرونات في الحالة الأولية.

2- معادلات DGLAP (دراسة مثال) $g \rightarrow qq$:

دراسة تحلل غليون لكواركين :

تعطى علاقة Callan –Gross كالآتي :

$$2xF_1(x) = F_2(x)$$

التي تربط بين دوال Bjorken (*Bjorken's scaling functions*) .

مع ، $F_1(x)F_2(x)$ دوال البنية .

$$F_2(x, \mu_F^2) = x \sum_q Q^2 f_q(x, \mu_F^2)$$

. كثافات البارتنون : $f_q(x, \mu_F^2)$

. μ_F : مقياس العوامل (Factorization scale)

$$f_q(x, \mu_F^2) = f_q(x) + \frac{\alpha_s}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} f_q(y) P_{qq} \left(\frac{x}{y} \right) \left(\log \frac{\mu_F^2}{\mu^2} + C \left(\frac{x}{y} \right) \right)$$

. الحد : $C \left(\frac{x}{y} \right)$ يعتمد على مخطط العوامل .

انطلاقاً من دراسة تطور $f_q(x, \mu_F^2)$ نجد:

$$\frac{\partial f_q(x, \mu_F^2)}{\partial \log \mu_F^2} = \frac{\alpha_s}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} f_q(y, \mu_F^2) P_{qq} \left(\frac{x}{y} \right)$$

$$\frac{\partial f_q(x, \mu_F^2)}{\partial \log \mu_F^2} = \frac{\alpha_s}{2\pi} \int_x^1 \frac{dy}{y} f_q(y, \mu_F^2) P_{qq} \left(\frac{x}{y} \right) + f_g(y, \mu_F^2) P_{qg} \left(\frac{x}{y} \right)$$

$$\mu_F^2 = \mu_R^2 = Q^2$$

و منه معادلة تطور PDF's :

$$\frac{\partial f_q(x, Q^2)}{\partial \log Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \left[[f_q \otimes P_{qq}](x, Q^2) + [f_q \otimes P_{qg}](x, Q^2) \right]$$

وباعتبار القمة الثلاثية (triple vertex) للغليون ، فإن معادلة كثافة الغليون :

$$\frac{\partial f_g(x, Q^2)}{\partial \log Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \left[[f_g \otimes P_{gg}](x, Q^2) + [f_q \otimes P_{gq}](x, Q^2) \right]$$

- [1] Web page of Particle Data Group PDG : <https://pdg.lbl.gov/index.html>
- [2] B.R. Martin and G.Shaw, Particle physics THIRD EDITION ,A John Wiley and Sons, Ltd, Publication,2008
- [3] R.K.ELLIS ,W.J.STIRLING AND B.R.WEBBER , QCD and Collider Physics, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS ,2003 ,pages(2 ,24,26)
- [4] Cours Détecteurs et Accélérateurs , E. Redouane-Salah, Université de M'sila ,December 12th, 2018
- [5] Helmut Wiedemann ,Particle Accelerator Physics, Fourth Edition, Springer, 2015 corrected publication 2019, pages(3,7) .
- [6] Web page of Symmetry Magazine : <https://www.symmetrymagazine.org/>
- [7] فرانك كلوس ، ترجمة محمد فتحي خضر ،فيزياء الجسيمات ،مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة ، 2014 ، الصفحة 56.
- [8] L. Marleau, Introduction à la physique des particules, Département de physique ,de génie physique et d'optique, Université Laval, Québec, Canada, pages(94,105,824)
- [9] Eberhard Keil , The CERN Large Hadron Collider LHC, the 34-th Eloisatron Workshop, Erice, Italy, 4-13 November 1996
- [10] Web page of CERN : <https://home.cern/fr>
- [11] Vernon D. Barger ,Roger J. N. Phillips, Collider Physics Updated Edition, December 1996, Addison-Wesley Publishing Company , page 27
- [12] B G Siddi , Measurement of $R(D^*)$ with hadronic τ decays, IOP Publishing,2018

- [13] Drell, S.D.; Yan, T.-M. (1970). Massive Lepton-Pair Production in Hadron-Hadron Collisions at High Energies. *Physical Review Letters* **25** (5): 316–320.
- [14] I R Kenyon , The Drell-Yan process, 1982 Rep. Prog. Phys. 45 1261,1982 , page1274
- [15] Jen- Chieh Peng and Jiah-Wei Qiu ,The Drell-Yan Process, Popular Science Article THE UNIVERSE Vol. 4, No. 3 July-September 2016
- [16] Jiyeon Han, The Differential Cross Section Distribution of Drell-Yan Dielectron Pairs in the Z Boson Mass Region, Doctoral thesis, University of Rochester, New York 2008
- [17] Radja 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
- [18] O.Tibella and all ,Cosmic Ray Origin – Beyond the Standard Models, *Nuclear Physics B - Proceedings Supplements, ELSEVIER* ,November / December 2014
- [19] Stefano Camarda and all , fast predictions for Drell–Yan processes, *Eur. Phys. J. C*, 2020
- [20] Tor Djarv and all , LHC, the Higgs particle and physics beyond the Standard Models, Bachelor Thesis, Chalmers University of Technology,2014
- [21] Emily Smith, Guide to Installing and Using MadGraph, Undergraduate Researcher Department of Physics and Astronomy The University of Kansas,2016
- [22] Web page of MadGhraph : <https://cp3.irmp.ucl.ac.be/projects/madgraph/>
- [23] Lea Caminada, Measurements of vector bosons plus jets production with the ATLAS detector at the LHC , published by EDP Sciences, 2013

[24] Marisa Sandhof, Measurements of the production of jets in association with a W or Z boson with the ATLAS detector, XXIV International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects 11-15 April, 2016 DESY Hamburg, Germany

[25] Michael Benedikt and All, Future Circular Colliders succeeding the LHC, Nature Phys. 16 (2020)

الملخص

في هذا العمل تطرقنا لبعض مفاهيم QCD الكمي الاضطرابي في إطار نظرية النموذج المعياري، مع الدراسة النظرية (حسابيا) لتفاعل Drell-Yan لتصادم بروتون بروتون ، بالإضافة إلى المحاكاة الرقمية باستعمال برنامج MadGraph ، كما تمت الإشارة لأهمية دراسة بوزون W في إثبات نظرية النموذج المعياري وأهميته كجسيم أولي بالدرجة الأولى.

الكلمات المفتاحية : النموذج المعياري ، الكروموديناميك الكمي الاضطرابي ، نموذج البارتون ، تفاعل Drell-Yan ، المقطع الفعال البارتوني ، بوزون W .

Résumé

Dans ce travail, tout d'abord, nous avons abordé quelques concepts qui font partie dans le domaine de la QCD perturbative . Ensuite ,nous avons étudié le processus de Drell-Yan pour une collision de proton- proton théoriquement (calculation). De plus, nous avons fait la simulation numérique en utilisant le programme de MadGraph ,au fur et à mesure , nous avons signalé l'importance d'étude boson W dans la preuve de la théorie de modèle standard et comme une particule élémentaire.

Les mots clés : Le modèle standard , QCD perturbative , modèle du parton ,processus de Drell-yan ,section efficace partonique , boson W.

Abstract

In this work , we talked by about some concepts which contain in the theory of perturbative QCD . Also , we studied the Drell-Yan process of proton-proton collision theoretically (calculation) . Then we performed a computing simulation by using MadGraph software .Moreover , we refered to the importance of W boson study to proof standard model theory and its importance as an elementary particle.

Key words :standard model , perturbative QCD ,Parton model, Drell-Yan process, Partonic cross section ,W boson

